

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Режимы использования установок
нетрадиционной и возобновляемой энергетики»

Бишкек 2015

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«Режимы использования установок
нетрадиционной и возобновляемой энергетики»

Бишкек 2015

УДК 621.31(076)
Н 57

Рецензент

В. А. Юриков – канд. техн. наук, проф.

Составители:

Ю. П. Симаков, В. П. Пантелеев, А. М. Карих

Рекомендовано к изданию

кафедрой «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии»,
Ученым советом ЕТФ

Н 57 НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: методическое руководство к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Режимы использования установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики» / сост. Ю. П. Симаков, В. П. Пантелеев, А. М. Карих. Бишкек: КРСУ, 2015. 83 с.: ил.

В методическом руководстве дан перечень лабораторных работ по курсу «Режимы использования установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики» для бакалавров специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», который может также выборочно использоваться студентами других специальностей, имеющих в своих рабочих программах обучения курсы, изучающие использование источников нетрадиционной энергетики для электроснабжения локальных потребителей электрической энергии.

В методическом руководстве освещены вопросы описания лабораторных работ по трем видам источников нетрадиционной энергетики: солнце, ветер и вода. Дан перечень лабораторных стендов для проведения лабораторных и исследовательских работ и описание их работы, дано описание приборов обнаружения и контроля вырабатываемой электрической энергии от указанных источников, приведены их технические характеристики и описание работы.

Освещены вопросы техники безопасности при выполнении лабораторных работ, даны рекомендации студентам при самостоятельной подготовке к лабораторным занятиям, краткие указания по оформлению отчетов, организации и проведению исследований и подготовке к лабораторным работам.

Настоящее «Руководство» включает 3 лабораторных работы (с № 1 по № 3) и предназначено для бакалавров, прослушавших курс лекций и имеющих теоретическую подготовку к проведению занятий в лаборатории НВИЭ.

© ГОУВПО КРСУ, 2015

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Ознакомление с заданием и предварительная подготовка к работе

Практические занятия в лаборатории представляют собой один из важнейших этапов изучения курса «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (НВИЭ). Они иллюстрируют большинство положений теории нетрадиционной энергетики, способствуют закреплению знаний, приобретению студентами навыков в обращении с оборудованием НВИЭ и, наконец, что также важно, при вдумчивом и прилежном отношении к работе знакомят их с элементарными правилами организации работ.

Как правило, задание на следующую работу студенты должны получить за неделю до ее выполнения.

Обычно задание на новую работу выдается по окончании предыдущей, а сама работа должна быть описана в «Методическом руководстве к выполнению лабораторных работ».

Предварительная подготовка к выполнению работы состоит в следующем:

По учебнику, приведенному в конце описания лабораторной работы, повторяется теоретический материал, относящийся к выданному заданию.

Затем в рабочие тетради, предназначенные для работ в лаборатории, каждый студент записывает по пунктам план проведения работы, рисует схемы проведения опытов, подготавливает таблицы для записей результатов измерений и записывает формулы, по которым будут производиться расчеты и вычисления.

Для облегчения самоподготовки к каждой работе студент использует конспекты лекций по данному разделу задания и составляет собственный конспект в рабочей тетради для лабораторных работ.

Правильность полученных во время опыта данных проверяется студентами построением на клетчатой бумаге черновых графиков.

Студенты, не имеющие подготовки, к выполнению лабораторной работы не допускаются.

2. Ознакомление с работой на месте и сборка схемы проведения опыта

Допущенные к работе студенты приступают к ознакомлению с рабочим местом:

– знакомятся с оборудованием стенда, составом технического обеспечения проведения лабораторной работы, реостатами, пусковыми и регулировочными приспособлениями. Производят запись технических данных оборудования, щитков электромашин и реостатов, т. е. тип, номер и номинальные значения величин напряжения, тока, мощности, скорости вращения, частоты, КПД, $\cos\phi$, режима работы, схемы включения;

– записывают перечень электроизмерительных приборов с указанием системы приборов, номинальных значений измеряемых величин, класса точности, названия завода-изготовителя и заводского номера.

Каждое место лаборатории оснащено постоянным набором пусковой и регулировочной аппаратуры и электроизмерительных приборов. По запросу руководителя занятиями могут быть предоставлены недостающие приборы и аппараты.

Задача студентов состоит в том, чтобы разобраться, какие приборы следует включать в отдельные цепи принципиальной схемы опыта. Иногда один и тот же стенд служит рабочим местом для нескольких различных работ. Тогда перед студентами стоит более трудная, но и более интересная задача – выбрать из имеющейся аппаратуры именно ту, которая необходима для данной работы.

Приборы следует подбирать так, чтобы значения измеряемых величин находились в пределах 20–95 % шкалы прибора. При измерении мощности в трехфазных цепях по способу двух ваттметров измеряемые токи и напряжения должны быть не ниже 20 % номинальных токов и напряжений применяемых ваттметров.

После этого начинается сборка монтажной схемы по той принципиальной схеме, которая дана в задании. Очень важно, чтобы монтажная схема была, возможно, простой, пусковая и регулировочная аппаратура была доступной для управления и обеспечивала бы максимальную оперативность и безопасность, а электроизмерительные приборы были расположены удобно для быстрых и безошибочных отсчетов. У всех электрических машин, реостатов и электроизмерительных приборов до соединения их в схему следует установить назначение их выводов, а у реостатов, кроме того, выяснить, какие положения рукояток подвижных контактов соответствуют пусковому и рабочему режимам (пуск, ход). Провода по сечению должны соответствовать тем токам, которые будут в них при работе, и иметь необходимую длину (без больших

излишков). Все места соединений проводов с элементами схемы должны иметь хороший контакт и надежно закрепляться («ключиками» наконечников вниз) в зажимах контактных клемм.

Сборку монтажных схем удобнее производить следующим образом:

- Руководствуясь принципиальной схемой, необходимо, начав сборку главной последовательной цепи от одного зажима (клеммы) источника энергии, закончить ее на другом зажиме (клемме) источника. К этой цепи в соответствующих принципиальной схеме местах присоединяются все параллельные цепи.
- Собирать схему должны все студенты – участники проводимых занятий. Это достигается тем, что одну схему собирает один или два студента, а остальные ее проверяют.
- Вторую схему собирают те студенты, которые проверяли первую, а другие проверяют уже ее.
- Каждая собранная схема обязательно должна быть показана преподавателю-руководителю занятий в лаборатории, и только после его разрешения схема может быть включена под напряжение.

3. Включение схемы под напряжение и проведение лабораторной работы

При включении схемы под напряжение необходимо сразу обратить внимание на показания электроизмерительных приборов. Если стрелка прибора не отклоняется, то это указывает или на обрыв цепи, или на неправильное присоединение зажимов прибора.

В первом случае следует проверить соответствующую цепь, а во втором – поменять местами концы присоединенных к прибору проводов.

По показаниям электроизмерительных приборов во многих случаях можно определить неисправность даже в тех цепях тока, в которые эти приборы не включены. Например, большой и не уменьшающийся ток в якоре при пуске электродвигателя параллельного возбуждения указывает на обрыв в цепи обмотки возбуждения и т. п.

Во всех этих случаях машину отключают от источника энергии и устраняют неисправность. Затем схему опять включают под напряжение, производят пробный опыт, не записывая показаний приборов, т. е. проверяют правильность собранной схемы и соответствие электроизмерительных приборов поставленной задаче. После этого производят требуемый опыт и записывают показания приборов в таблицы рабочих тетрадей.

Так как в работе с электрическими машинами приходится делать одновременно отсчеты по нескольким приборам, то для наблюдения за каждым из них требуется один человек, и каждый ведет свою запись.

Отсчеты показаний следует производить очень внимательно, они делаются одновременно, по команде одного из студентов. Для построения графика таких отсчетов необходимо сделать пять–семь отсчетов.

По окончании опыта все записи сводят в общую таблицу, показанную в задании. Записи показаний электроизмерительных приборов производятся в тех единицах, которые нанесены на шкале прибора, т. е. вольт, ампер, ватт, обороты в минуту и т. д.

Когда применяются многопредельные приборы, а также приборы, включаемые через трансформаторы тока и напряжения, то запись производится в делениях шкалы прибора.

По окончании опыта числа делений шкалы переводятся в измеренные единицы умножением числа делений на постоянную измерений C .

Она равна:

$$- \text{ для амперметра } C_a = I_n / N,$$

$$- \text{ для вольтметра } C_v = U_n / N,$$

$$- \text{ для ваттметра } C_{em} = I_n U_n / N,$$

где U_n и I_n – номинальные величины прибора;

N – полное число делений шкалы.

Например: Амперметр с пределом измерения 5 А имеет число делений шкалы 100.

$$\text{Тогда постоянная амперметра равна } C_a = \frac{5}{100} = 0,05.$$

Ваттметр с пределами измерения по току 5 А и по напряжению 300 В имеет число делений шкалы 150.

Тогда

$$C_{em} = \frac{I_n U_n}{N} = \frac{5 \cdot 300}{150} = 10.$$

Пусть при замере стрелка амперметра отклонилась на 55 делений шкалы, а стрелка ваттметра – на 36 делений.

Отсюда

$$\text{измеренный ток } I = 55 \cdot C_a = 55 \cdot 0,05 = 2,75 \text{ А;}$$

$$\text{мощность } P = 36 \cdot C_{em} = 36 \cdot 10 = 360 \text{ Вт.}$$

Если измерительные приборы включены с помощью измерительных трансформаторов, то для:

$$\text{амперметра } C = C_a \cdot K_{т.т.},$$

$$\text{вольтметра } C = C_v \cdot K_{т.н.},$$

ваттметра $C = C_{ам} K_{м.т} K_{м.н.}$,

где $K_{м.т}$ и $K_{м.н.}$ – коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения.

По окончании опыта, не разбирая схемы, проверяют записанные результаты. Для этого на листах клетчатой бумаги строят оси координат и в выбранном масштабе наносят полученные при опыте точки. Координатами этих точек будут цифровые значения величин опыта.

Соединение точек друг с другом плавной линией даст черновик полученной при опыте кривой (характеристики).

Само расположение точек определит качество проведенного опыта.

Если часть точек не располагается на кривой, а резко выпадает, то это указывает или на отсутствие навыка у студента в производстве эксперимента, или на наличие помех во время опыта. Выпавшие точки легко могут быть проверены и график исправлен, пока схема не разобрана.

Результаты опыта должны быть показаны преподавателю – руководителю занятий в лаборатории.

4. Отчет о проделанной лабораторной работе

Каждым студентом представляется индивидуальный отчет о проделанной работе. Отчет составляется на основе записей в рабочей тетради и должен содержать название работы, ее номер и дату выполнения, номинальные данные машин, аппаратов, устройств и электроизмерительных приборов.

В отчете должны быть все таблицы наблюдений опытов, кривые и графики, формулы, по которым производились вычисления, пример вычисления по каждой формуле.

Отчет пишется шариковой ручкой на листах бумаги стандартного формата (лучше в клеточку), для подшивки на листах оставляются поля шириной 3 см слева.

Схемы и графики вычерчиваются чертежным карандашом с помощью чертежных принадлежностей.

Особое внимание следует обратить на выполнение графических работ. Все схемы должны быть выполнены согласно стандартным обозначениям. На графиках, исполненных в карандаше, не допускаются надписи, сделанные шариковой ручкой. Чертеж не должен содержать излишних обозначений и пояснений – хороший чертеж понятен и без них. Не следует чертить схемы цветными карандашами. Допускается при оформлении использовать элементы компьютерной графики. В одних осях координат допускается строить несколько кривых, если их соседство увеличивает наглядность и облегчает сопоставление, например, рабочие характеристики, механические характеристики и т. п. Раз-

меры графиков необходимо выполнять в размере не меньше 10 x 10 см. Для удобства использования и эстетических соображений размеры графика по осям абсцисс и ординат выбираются так, чтобы отношение между ними было не более $1,5 \div 1$.

Масштаб графиков должен быть удобным для построения и использования. Для этого следует брать в одном миллиметре A измеряемых единиц, где A кратно десяти или одному из чисел ряда 1; 2; (2,5); 5.

На чертеже должна быть обязательно нанесена масштабная сетка, облегчающая построение кривых и их практическое использование. Не следует строить график соединением отрезков, которые соединяют отдельные точки графика. При пользовании графиком нужна сама кривая, а не точки, которые получены при опыте.

При нанесенном на осях масштабе можно легко найти значения любой интересующей нас точки графика. Может случиться, что через полученные при опыте точки нельзя провести плавную кривую, т. е. получается зигзагообразная линия. В этом случае все-таки следует провести плавную кривую, захватывающую наибольшее число точек или занимающую среднее положение между ними. Выпадение точек объясняется или помехами во время проведения опыта или недостаточными навыками в работе.

Можно также избежать больших ошибок, если строить кривые в относительных единицах. Этот график имеет неоспоримое преимущество перед графиком, изображенным ломаной линией, так как на нем значительно легче найти точки, отмечающие номинальные значения измеряемых величин. В таком виде приводятся все графики в каталогах и справочниках.

Представление электротехнических величин в процентах или относительных единицах облегчает построение векторных диаграмм, определение процентного изменения напряжения, расчет токов короткого замыкания и т. п. Принимая за единицу номинальное напряжение, ток, мощность, сопротивление, скорость вращения и момент машины, получают их значения в относительных единицах или процентах, пользуясь следующими формулами:

$$U^* = \frac{U}{U_H}; I^* = \frac{I}{I_H}; P^* = \frac{P}{P_H}; i_B = \frac{i_B}{i_{B/H}};$$
$$R^* = \frac{R \cdot I_H}{U_H} = \frac{R}{\frac{U_H}{I_H}} = \frac{R}{R_H}; Z^* = \frac{Z \cdot I_H}{U_H} = \frac{Z}{\frac{U_H}{I_H}} = \frac{Z}{Z_H};$$
$$n^* = \frac{n}{n_H}; M^* = \frac{M}{M_H}.$$

Здесь $R_n = U_n / I_n$ – номинальное сопротивление машины.

В результате всей проделанной работы отчет обязательно должен содержать краткое заключение, сделанное на основании сравнения полученных результатов с данными каталогов машин данного типа.

При подготовке к защите отчета по лабораторной работе необходимо обязательно проработать контрольные вопросы, приведенные в конце каждого описания лабораторной работы.

5. Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ студенты обязаны соблюдать правила техники безопасности. Эти правила изложены в «Инструкции по технике безопасности и пожарной безопасности для студентов в лаборатории НВИЭ». С этой инструкцией студенты обязаны ознакомиться перед началом проведения лабораторных работ.

Все студенты, прибывающие в лабораторию НВИЭ, обязаны пройти инструктаж на рабочем месте и расписаться об этом в «Журнале инструктажа по технике безопасности и пожарной безопасности в лаборатории НВИЭ».

Инструктаж проводит преподаватель – руководитель практических занятий и допускает прошедших инструктаж студентов к проведению лабораторных работ. Об этом он должен сделать соответствующую запись в «Журнале...» и расписаться против фамилии каждого студента, допущенного к проведению лабораторных работ в лаборатории.

Студентам следует помнить о том, что лабораторные стенды относятся к действующим электроустановкам, находящимся под напряжением.

Поражает человека не напряжение, а ток. Прохождение через организм человека тока 50 мА может привести к серьезной электротравме с тяжелыми последствиями, а ток 90–100 мА может вызвать паралич сердца и смерть.

Рабочее напряжение в лаборатории обычно не превышает 220–380 В. Следует помнить, что при неблагоприятных условиях сопротивление тела человека может изменяться от сотен тысяч Ом до 800–600 Ом, и тогда опасное поражение током может произойти уже при напряжении 40–30 В.

Наибольшее сопротивление току оказывает верхний роговой слой кожи. Повреждение этого слоя, увлажнение его сильно снижает его сопротивление. Сопротивление току зависит также от общего состояния организма и его нервной системы.

По этой причине ни в коем случае не следует касаться руками незаизолированных проводов и соединительных контактов, когда электрическая цепь находится под напряжением.

Если в схеме требуется сделать какое-либо пересоединение, то цепь обязательно следует отключить от источника электрической энергии.

Всякое изменение в схеме обязательно должно быть проверено преподавателем – руководителем практических занятий в лаборатории.

Особенно надо быть осторожным с цепями, где имеются катушки с большим числом витков. Не следует размыкать цепи возбуждения машин постоянного тока, находящихся в рабочем состоянии, а также вторичные обмотки трансформаторов тока при наличии тока в первичных обмотках.

При измерении скорости вращения машин и вообще при приближении к вращающимся частям следует соблюдать большую осторожность. Нельзя пытаться тормозить вал или шкив, или соединительную муфту рукой, ногой или ремнем с целью быстрее остановить машину.

Опасно подходить к вращающейся машине, имея свободно повязанный шарф или концы платка, косынки, рукава кофты, повязанной на поясе, так как даже совсем гладкий вал способен «схватывать» все, что к нему может касаться, особенно следует быть внимательным и осторожным при работе вращающегося колеса ветроэнергетической установки (ВЭУ).

При измерении тахометром скорости вращения ветрового колеса необходимо присутствие одного человека, чтобы рядом никого не было. При этом категорически запрещается отвлекать его во время измерения. Надзор за проведением измерения скорости ветроколеса ВЭУ в обязательном порядке проводит руководитель занятий. В его отсутствие измерение скорости производить запрещается.

Литература

1. Правила устройства электроустановок. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Атомиздат, 1989.
3. Николаев С. А. Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам. М.: Энергия, 1969.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ)

Введение

Лабораторная работа по исследованию режимов работы ветроэнергетической установки выполняется студентами энергетических специальностей и предназначена для закрепления теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Режимы использования установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики».

Ветроэнергетическая установка (сокращенно ВЭУ) – устройство для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую.

Ветрогенераторы можно разделить на две категории: промышленные и домашние (для частного использования). Промышленные устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями. Как правило, их объединяют в сети, в результате получается ветряная электростанция. Ее основное отличие от традиционных (тепловых, атомных) – полное отсутствие как сырья, так и отходов. Единственное важное требование для ВЭС – высокий среднегодовой уровень ветра. Мощность современных ветрогенераторов достигает 6 МВт.

1. Теоретическая часть.

Общие сведения о ветроэнергетических установках.

Современные ВЭС и особенности их конструкции

Что же представляют собой ветроэлектростанции, которым отводится серьезное место в энергетике XXI века? Они мало чем напоминают своих древних собратьев – парус и ветряную мельницу, хотя принцип работы ветроагрегатов практически не изменился: под напором ветра вращается колесо с лопастями, передавая крутящий момент другим механизмам, причем, чем больше диаметр колеса, тем больший воздушный поток оно захватывает и быстрее вращается.

Сегодня в мире широко распространены ветродвигатели двух типов: крыльчатые и карусельные. Встречаются еще барабанные и некоторые другие оригинальные конструкции.

Крыльчатые ВЭС – их еще называют ветродвигателями традиционной схемы – представляют собой лопастные механизмы с горизонтальной осью вращения (рис. 1.1). Ветроагрегат вращается с максимальной скоростью, когда лопасти расположены перпендикулярно потоку воздуха.

Поэтому в конструкции предусмотрены устройства автоматического поворота оси вращения: на малых ВЭС – крыло-стабилизатор, а на мощных станциях, работающих на сеть – электронная система управления рысканием. Небольшие крыльчатые ВЭС постоянного тока соединяют с электрогенератором напрямую (без мультипликатора), мощные станции оснащают редуктором.

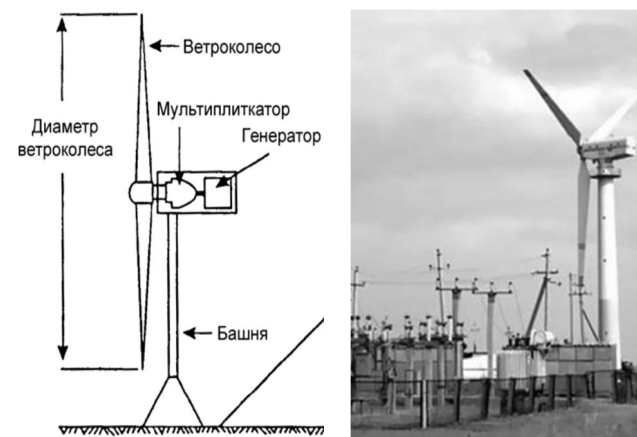


Рис. 1.1. Устройство промышленного ветрогенератора: Фундамент. Силовой кабель. Башня. Электрический генератор. Лопасти

Мощность ВЭС зависит от скорости ветра и размаха лопастей ветроколеса. Коэффициент использования энергии ветра у крыльчатых ВЭС (чаще всего их ветроагрегаты бывают двух- или трехлопастными) намного выше, чем у других ветряков, недаром они занимают более 90 % рынка.

Карусельные или роторные ВЭС с вертикальной осью вращения, в отличие от крыльчатых, могут работать при любом направлении ветра, не изменяя своего положения. Когда ветровой поток усиливается, карусельные ВЭС быстро наращивают силу тяги, после чего скорость вращения ветроколеса стабилизируется. Ветроагрегаты этой группы тихходны, поэтому не создают большого шума. В них используются многополюсные электрогенераторы, работающие на малых оборотах, что позволяет применять простые электрические схемы без риска потерпеть аварию при случайном порыве ветра.

Конструкция лопастных ВЭУ роторной схемы обеспечивает максимальную скорость вращения при запуске и ее автоматическое саморе-

гулирование в процессе работы. С увеличением нагрузки скорость вращения ветроколеса уменьшается, а вращающий момент возрастает. Подобные ветродвигатели с лопастями разной формы строят в США, Японии, Англии, ФРГ, Канаде, Финляндии. Идея карусельного ветродвигателя в виде так называемого роторного паруса была реализована на знаменитом исследовательском судне «Калипсо», построенном по заказу Жака Ива Кусто. По данному типу спроектирована и одна из ВЭС в Белоруссии номинальной мощностью 250 кВт.

Существуют роторные ВЭУ с лопастями того же профиля, что и у крыльев «дозвуковых» самолетов, которые прежде чем опереться на подъемную силу, должны разбежаться. С ветроагрегатами происходит то же самое. Чтобы раскрутить и довести их до определенных аэродинамических параметров, сначала нужно подвести энергию извне, и только после этого ВЭУ начнут работать в режиме генератора. Отбор мощности начинается при скорости ветра около 5 м/с, а номинальная мощность достигается при 14–16 м/с. Предварительные расчеты показывают, что ортогональные установки смогут вырабатывать электроэнергию мощностью от 50 до 20 000 кВт.

Из недавно появившихся оригинальных проектов стоит назвать ВЭС принципиально новой конструкции, состоящую из фундамента, трехопорного несущего основания и смонтированного на нем кольцеобразного генератора со встроенным подшипником и центральным ротором. Кольцо генератора может достигать в диаметре 120 м и более. Другой пример – многомодульная ветроустановка, состоящая из одного – двух десятков небольших ветроагрегатов (см. Наука и жизнь. № 9. 2003. Прим. ред.).

Недостатки ВЭС остаются в прошлом

Ветроэнергетика привлекательна не только тем, что не наносит вреда природе. ВЭС можно достаточно быстро установить там, где других источников энергии нет. Однако приходится констатировать, что работа ветроагрегатов сопровождается некоторыми неприятными явлениями. Главное из них – шум. На уровне оси ветроколеса в непосредственной близости от ВЭС мощностью 850 кВт уровень шума составляет 104 дБ. Система управления углом атаки способна уменьшить его, но очень незначительно. На расстоянии 300 м шум снижается до 42–45 дБ (на оживленной улице наши уши страдают больше). В «тесной» Европе на таком расстоянии от ближайшего жилья ВЭС уже ставят, в России же мы имеем возможность удалить их от застройки на 700–1000 м.

Помимо шума, воспринимаемого человеческим ухом, вокруг ВЭС возникает опасный инфразвук частотой 6–7 Гц, вызывающий вибрацию. От него дребезжат стекла в окнах и посуда на полках. Кроме того, ВЭС могут затруднить прием телепередач. Так было, например, на Оркнейских островах в Англии, когда в 1986 году там установили экспериментальный ветродвигатель. Тут же от жителей ближайших населенных пунктов начали поступать многочисленные жалобы на ухудшение телевизионного сигнала. Оказалось, что помехи создавали стальной каркас лопастей и имеющиеся на них металлические полоски для отвода ударов молний. Сами же лопасти, сделанные из стеклопластика, распространению телесигнала не мешали. В подобных случаях около ВЭС стали возводить ретрансляторы.

На Западе проблемы, связанные с работой ветроэлектростанций, успешно решены еще в середине 1990-х годов. Выпуск лопастей для ветроагрегатов освоили лидер аэрокосмической отрасли – концерн НАСА и один из ведущих производителей самолетов – фирма «Боинг». Конструкторам удалось снизить уровень шума и вибраций подбором скорости вращения ветроколеса и совершенствованием профилей лопастей. Благодаря этим мерам уменьшился срыв концевых потоков, так называемых вихревых шнуров. Был найден способ борьбы с еще одним недостатком ВЭУ: чтобы птицы не попадали под вращающиеся лопасти, ветроколеса стали ограждать сетчатым кожухом.

Новые решения – новые возможности

В современных ВЭС воплощено множество технических идей, отвечающих последним достижениям науки. Вот далеко не полный перечень уникальных систем и механизмов, обеспечивающих эффективную и безопасную работу ветроэлектростанций:

- система динамического изменения угла атаки (изменяет угол заклинивания лопастей, удерживая тем самым нужный угол атаки);
- система динамического регулирования скорости вращения ветроколеса в зависимости от нагрузки и скорости ветра (выбирает оптимальный режим работы);
- система управления рысканием – электронный флюгер (поворачивает гондолу с ВЭУ по особому закону с учетом доминирующего направления ветра, его порывов и турбуленции);
- система оперативного регулирования магнитного скольжения асинхронного генератора (используются усовершенствованные асинхронные генераторы с ротором «беличья клетка»).

Совсем недавно запущена в производство совершенно новая ВЭУ, в которой использован высоковольтный синхронный генератор со статором, имеющим обмотки из кабеля, и многополюсным ротором на постоянных магнитах. Получаемый переменный ток низкой частоты выпрямляется, а затем преобразуется инвертором в переменный ток сетевой частоты. Редуктор генератору не нужен, поскольку он низкооборотный. Такие установки можно использовать на ВЭС мощностью от 500 кВт до 5 МВт и выше.

За состоянием ВЭС и режимами их работы следит бортовой компьютер, куда по модемным каналам поступает вся текущая информация. Если, например, во время работы возникают кратковременные всплески напряжения (так называемый фликкерный эффект), происходящие при коротких, сильных порывах ветра либо при резком изменении нагрузки, их гасят с помощью специальных электронных устройств. Электроника и автоматика надежно защищены от постороннего излучения (в том числе от электромагнитного излучения самой сети и переключающих сетевых устройств) радиотехническим заземлением и экранированием. Важную роль здесь играют современные изоляционные материалы.

Несколько слов о конструкционной безопасности. Ветроагрегаты отключаются и останавливаются при скорости ветра 25 м/с (10 баллов по шкале Бофорта) с помощью двухуровневой тормозной системы. В отключенном виде они выдерживают порывы ветра до 50 м/с. Серьезные аварии практически исключены, поскольку системы дублируют одна другую, а вся механика, особенно лопасти, проходит серьезные испытания на прочность.

Обслуживают станции всего раз в полгода при сроке эксплуатации 20 лет (порядка 180 000 часов). ВЭС известных европейских производителей сертифицированы Международной организацией по сертификации (ISO), а также независимыми экспертными компаниями (государственными и частными).

Системы Ветро-Дизель

В крупных энергосетях неравномерная подача энергии, присущая всем ветроагрегатам, уравнивается их большим количеством. Автономные сети мощностью 0,5–4 МВт тоже могут функционировать надежно, несмотря на неравномерность поступления энергии от ВЭС, если они работают в паре с дизелем. Для систем «ветро-дизель» европейские компании разработали компьютеризированное устройство, распределяющее нагрузку между ветроэнергетической установкой и дизелем. Уже есть оборудование, позволяющее всего за две секунды отключить дизель

или вновь включить его в работу. Благодаря этому увеличивается ресурс дизелей и экономится до 67 % топлива в год.

Капиталовложения в строительство больших ветропарков в Европе сегодня составляют 1000 долларов на 1 кВт установленной мощности. Себестоимость энергии – 3,5–3,8 цента за 1 кВт/ч (10 лет назад было 16 центов). При массовом строительстве ветроэлектростанций можно рассчитывать на то, что в дальнейшем цена одного киловатт-часа существенно снизится и окажется сравнимой со стоимостью электроэнергии, вырабатываемой ТЭС и ГЭС. В подтверждение этого аргумента говорит тот факт, что конструкции ВЭС постоянно совершенствуются: улучшаются их аэродинамика и электрические параметры, уменьшаются механические потери и т. д.

Проекты ВЭС, работающих на сеть для условий, например, очень ветреного Приморья окупаются за 5–7 лет, системы «ветро-дизель» – за 2 года. В дальнейшем сроки окупаемости ветроэлектростанций будут сокращаться.

ВЭС малой мощности

До сих пор речь шла о гигантских ВЭС, работающих на сеть, но ничего не было сказано о бытовых ветроэлектростанциях малой мощности от 250 Вт до 10 кВт. Бытовые ветряки вырабатывают энергию более дорогую, но зачастую они бывают незаменимы, особенно там, где нет других источников энергии. Наиболее перспективными представляются производимые в России ВЭС с генератором постоянного тока напряжением 12–110 В, который заряжает буферные батареи (в последнее время – гелевые) емкостью от 200 до 800 А/ч. Зарядка осуществляется через контроллер, который выдает зарядный ток даже тогда, когда выходное напряжение генератора намного меньше напряжения батарей. Далее ток проходит через конвертор (инвертор), производящий на выходе сетевое напряжение 220 В. Телевизор, чайники и другие электроприборы в доме будут работать от заряженных батарей, пока последние не «сядут». После отключения нагрузки батареи вновь начинают заряжаться. Процесс этот может занять длительное время, все зависит от мощности генератора и силы ветра.

Бытовые ВЭС зарубежного производства пока, к сожалению, слишком дороги. Станция установленной мощностью 1 кВт стоит порядка 2 000 долларов. Даже при хорошем ветре она выдает за год в лучшем случае 40 % от номинальной мощности, то есть не больше, чем бензиновый генератор на 400 Вт. Зачастую такой мощности не хватает, поэтому большим спросом пользуются ВЭС на 3 или на 10 кВт (послед-

ние стоят уже 25 000 долларов). Между тем в России есть более десятка изготовителей малых ВЭС установленной мощностью в несколько киловатт, цена которых не превышает 1500–2000 долларов. Информацию о производителях ВЭС можно найти на сайте Минэнерго www.mte.gov.ru в разделе «Нетрадиционная энергетика».

Перспективы развития ветроэнергетики

Нет сомнения, что большие и малые ВЭС могли бы работать на огромных пространствах России высокоэффективно, ведь страна обладает мощным ветроэнергетическим потенциалом, оцениваемым в 40 млрд кВт ч электроэнергии в год. Такие районы, как Обская губа, Кольский полуостров, большая часть прибрежной полосы Дальнего Востока, по мировой классификации относятся к самым ветреным зонам. Среднегодовая скорость ветра на высоте 50–80 м, где располагаются ветроагрегаты современных ВЭС, составляет 11–12 м/с. (Заметим, что «золотым» порогом ветроэнергетики считается скорость ветра 5 м/с – это связано с окупаемостью станций.)

Существуют также аномальные локальные зоны, в которых ветер значительно сильнее. Это, например, район Владивостока, где воздушные массы устремляются из Приханкайской равнины в разрыв между Северо-Корейскими горами и хребтом Сихотэ-Алинь и далее – по экватории Амурского залива. На островах близ Владивостока среднегодовая скорость ветра на высоте 150 м (50-метровая ВЭС на холме высотой 100 м) не бывает ниже 11 м/с (для континентальной Европы параметр недостижимый).

Несмотря на благоприятные природные условия и большую привлекательность ветроэнергетики, в России до сих пор нет ни огромных ветропарков, ни единичных ВЭС вокруг сельских поселков и дачных участков. Основная причина – отсутствие инвестиций. В Европе в данной отрасли превалирует народный бизнес. ВЭС строят кооперативы и акционерные общества, причем без всяких государственных дотаций. В России же осуществить дорогостоящие проекты под силу только структурам или крупному бизнесу. Предприниматель, отважившийся построить ВЭС или ветропарк в России, неизбежно понесет катастрофические убытки из-за того, что ни на государственном, ни на ведомственном уровне законодательно не определен порядок покупки энергии ВЭС электросетями. Кроме того, возникнут проблемы с землеотводом и многие другие бюрократические преграды.

И все же дело, кажется, сдвинулось с мертвой точки. Сейчас в стране строится несколько ветроэнергетических комплексов, в том

числе и демонстрационных. Последней в ноябре 2002 года начала работать на сеть ВЭС в маловетреной Башкирии (мощность 2,2 МВт). После ввода ее в строй общая установленная мощность всех российских ветроэлектростанций едва превысила 8 МВт – в 1000 с лишним раз меньше, чем в относительно небольшой по площади Германии. Это означает, что российская ветроэнергетика, в свое время задававшая тон в мире, сегодня едва ли не безнадежно отстает от Запада.

2. Практическая часть. Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на лабораторном стенде

Описание используемых приборов на стенде

Ветроэнергетическая лабораторная установка

Устройство лабораторной установки (рис. 1.2):

- Воздуходувка центробежного типа – источник ветровой энергии, напряжением 27 В и током 9 А;
- Приборы контроля амперметр и вольтметр как на лицевой панели стенда, так и переносные в зависимости от испытываемого генератора электроэнергии;
- Переносной тахометр;
- Статические конденсаторы для возбуждения генератора переменного тока от АД.
- Стационарный стенд для питания лабораторного стенда регулируемым напряжением;
- Регулятор напряжения, подводимого к лабораторному стенду.

Технические характеристики испытываемого ветрогенератора:

1. Электрический двигатель постоянного тока с независимым возбуждением $U_H = 27$ В, $I_H = 3,1$ А, $P_H = 85$ Вт, $n_n = 3900$ об/мин. Электродвигатель работает в режиме генератора постоянного тока независимого возбуждения $I_B = 1,0$ А;
2. Ветровое колесо центробежного типа, диаметром 95 мм и шириной $l = 40$ мм, насаженное на вал генератора;
3. Асинхронный 3-х фазный электродвигатель АИР50В4N, 380/220 В, 50 Гц, $P_H = 90$ Вт, 1340 об/мин. $I = 0,37$ А, $\eta = 0,57$ с ветроколесом диаметром 34 мм и шириной $l = 32$ мм.

4. Нагрузочный блок генератора, состоящий из светодиодов в количестве 92 штук, разбитых на 2 секции:
 - 1 секция состоит из 64 светодиодам напряжением 3 В и суммарной мощностью 1,2 Вт;
 - 2 секция состоит из 28 светодиодов напряжением 6 В и суммарной мощностью 0,3 Вт.
5. Воздуходувка:
 - 27 В – номинальное напряжение питания постоянного тока;
 - 6А – номинальный ток.

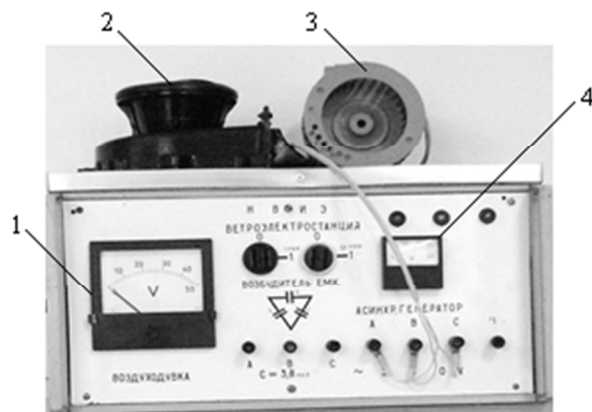


Рис. 1.2. Стенд лабораторной установки ВЭУ:
1 – вольтметр; 2 – воздуходувка; 3 – генератор; 4 – амперметр

Анемометр чашечный МС-13

Анемометр чашечный МС-13 ГОСТ 6376-74 (рис. 1.3) предназначен для измерения средней скорости воздушного потока в промышленных условиях и средней скорости ветра на метеорологических станциях.

Технические характеристики анемометра чашечного МС-13:

- Диапазон измерения средней скорости воздушного потока от 1 до 20 м / с.
- Чувствительность не более 0,8 м / с.
- Основная погрешность не более $\pm(0,3 + 0,05 V)$ м / с, где V – измеряемая скорость воздушного потока.

- Анемометр изготавливается в исполнении У категории 1.1 согласно ГОСТ 15150-69, но для работы при температуре воздуха от минус 45 до плюс 50 °С, относительной влажности воздуха 90 % при температуре 20 °С.
- Срок службы анемометра до списания не менее 8 лет.
- Габаритные размеры не более 170 x 70 x 70 мм.
- Масса не более 0,25 кг.

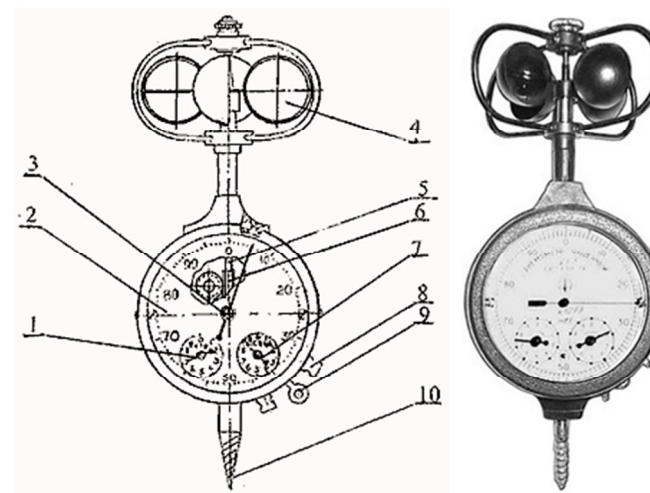


Рис. 1.3. Анемометр чашечный МС-13
1 – стрелка шкалы сотен; 2 – циферблат;
3 – стрелка шкалы единиц; 4 – вертушка;
5 – ось; 6 – червяк; 7 – стрелка шкалы тысяч;
8 – ушки; 9 – арретир; 10 – винт

Устройство анемометра чашечного МС-13

Ветроприемником анемометра МС-13 (рис. 1.3) служит четырехчашечная вертушка 4, насаженная на ось 5, вращающаяся в опорах. На нижнем конце оси нарезан червяк 6, связанный с редуктором, передающий движение трем указывающим стрелкам. Циферблат 2 имеет соответственно шкалы единиц, сотен, тысяч. Червяк 6 через червячное колесо и триб передает движение центральному колесу, на оси которого закреплена стрелка 3 шкалы единиц. Триб центрального колеса через промежуточное колесо приводит во вращение малое колесо, на оси

которого насажена стрелка (шкалы сотен). От малого колеса через второе промежуточное колесо вращение передается второму малому колесу, ось которого несет на себе стрелку шкалы тысяч 7.

Включение и выключение механизма производится арретиром 9, один конец которого находится под изогнутой пластинчатой пружиной, являющейся подпятником червячного колеса. Для выключения счетного механизма арретир 9 поворачивают по часовой стрелке.

Другой конец арретира при этом поднимает пластинчатую пружину, которая, перемещая ось колеса в осевом направлении, выводит червячное колесо из зацепления с червяком 6.

При повороте арретира против часовой стрелки червячное колесо входит в зацепление с червяком и ветроприемник анемометра МС-13 соединяется с редуктором.

Механизм анемометра МС-13 закреплен в корпусе из пластмассы, нижняя часть корпуса заканчивается винтом 10, служащим для крепления анемометра на стойке или шесте. В корпусе анемометра по обе стороны арретира 9 ввернуты ушки 8, через которые пропускается шнур для включения и выключения анемометра, поднятого на стойке (шесте). Шнур привязывается за ушко арретира 9.

Ветроприемник анемометра МС-13 защищен крестовиной из проволочных дужек, служащей также для крепления верхней опоры оси ветроприемника.

Порядок работы с анемометром чашечным МС-13

Перед измерением скорости ветра записывают показания по трем шкалам. В измеряемом воздушном потоке анемометр МС-13 устанавливают вертикально и через 10–15 с одновременно включают арретиром механизм анемометра и секундомер. Экспонирование анемометра в воздушном потоке производят в течение одной или двух минут. По истечении этого времени механизм и секундомер выключают и записывают показания по шкалам анемометра и время экспозиции в секундах. Разность между конечным и начальным отсчетом делят на время экспозиции и определяют число делений шкалы, приходящихся на одну секунду. Скорость ветра определяется по градуировочному графику, приложенному к анемометру (табл. 1.1). На вертикальной оси графика находят число делений шкалы, приходящихся на одну секунду. От этой точки проводится горизонтальная линия до пересечения с прямой графика, а из точки пересечения проводится вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью. Точка пересечения вертикали с горизонтальной осью графика дает искомую скорость воздушного потока в м / с.

Градуировочный график анемометра чашечного МС-13

Делений прибора, д / с	Скорость ветра, м / с			
1,0	1			
5,0		2		
9,2			3	
13,4				4
17,5				5

Анемометр крыльчатый АСО-3

Анемометр крыльчатый АСО-3 (рис. 1.4) предназначен для измерения средней скорости направленного потока воздуха в промышленных условиях (табл. 1.2).

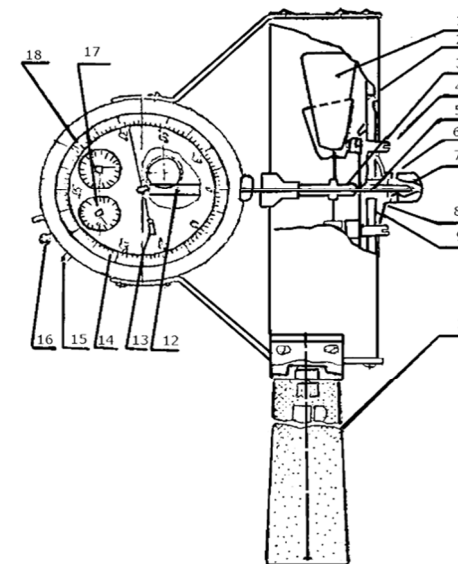


Рис. 1.4. Устройство анемометра крыльчатого АСО-3.

- 1 – крыльчатка; 2 – стержень; 3 – ось трубчатая; 4 – пружина; 5 – ось стальная; 6 – втулка; 7 – гайка; 8 – пружина; 9 – втулка подшипниковая; 11 – ручка; 12 – червяк; 13 – стрелка шкалы единиц; 14 – циферблат; 15 – ушко; 16 – арретир; 17 – стрелка шкалы тысяч; 18 – стрелка шкалы сотен

- Исполнения анемометра:
 - для работы в районах с умеренным климатом – У5;
 - для работы в районах с тропическим климатом – Т5;
- Диапазон измерения, м/с – 0,3–5;
 - Чувствительность, м/с, не более – 0,2;
 - Предел допускаемой погрешности (V – измеряемая скорость потока, м/с) – $\pm (0,1 + 0,5 V)$;
- Условия эксплуатации устройства:
 - температура окружающего воздуха, °С – от –10 до +50;
 - относительная влажность воздуха при температуре + 20 °С, % – 90;
- Габаритные размеры со снятой ручкой, мм, не более – 110×110×105;
- Масса, кг, не более – 0,45;
- Срок службы устройства, лет, не менее – 6;
- Комплект: анемометр крыльчатый АСО-3; футляр; паспорт.

Устройство анемометра крыльчатого АСО-3

Ветроприемником устройства является крыльчатка, насаженная на трубчатую ось с подшипниковыми втулками, втулки вращаются на стальной оси, один конец которой припаян к обойме и закреплен в неподвижной опоре, а второй загнут гайкой во втулке, которая находится в отверстии распорного стержня. Натяжку оси можно осуществить пружиной. Осевой люфт оси регулируется пружиной. На конце трубчатой оси прикреплен червяк, который передает вращение ветроприемника зубчатому редуктору счетного механизма.

Счетный механизм имеет три стрелки, его циферблат имеет соответственно три шкалы: единицы, сотни и тысячи. Счетный механизм анемометра АСО-3 работает следующим образом: червяк через червячное колесо и триб передает движение центральному колесу, на оси которого укреплена стрелка шкалы единиц. Триб центрального колеса через промежуточное колесо приводит во вращение малое колесо, на оси которого насажена стрелка шкалы сотен. От малого колеса через второе промежуточное колесо вращения передается второму малому колесу, ось которого несет на себе стрелку шкалы тысяч.

Градуировочный график анемометра крыльчатого АСО-3

Делений прибора, д / с	Скорость ветра, м / с				
	1,0	1			
2,0		2			
3,0			3		
4,0				4	
5,0					5
6,0	6				
7,0		7			
8,0			8		
9,0				9	
10,0					10
11,0	11				
12,0		12			
13,0			13		
14,0				14	
15,0					15
16,0	16				
17,0		17			
18,0			18		
19,0				19	
20,0					20

Прибор комбинированный цифровой Щ4313

Измерение постоянного тока:

Переключатель в положении «А», щупы подключаются в цепь последовательно. Снятие показаний значений тока производится с учетом переводного коэффициента, значения которого указаны на панели прибора (мА).

Цифровой мультиметр А830L

Измерение постоянного напряжения:

Красный щуп гнездо «VΩmA», черный щуп – гнездо «COMЕ». Переключатель устанавливается в положение V_~. Центральным переключателем «Range» выбираем диапазон измерений (В или мВ). Щупы подключаются параллельно измеряемой цепи.

Цифровой фототахометр-стробоскоп DT-2234A+

Совмещает в себе функции цифрового фототахометра и цифрового стробоскопа и предназначен для измерения частоты вращения частей двигателя, турбин и других объектов бесконтактным способом, а также линейной скорости перемещения деталей в процессах наладки, ремонта механизмов и лабораторных исследований.

Работа с прибором:

Отделите небольшой кусок светоотражающей ленты и полученную метку наклейте на лопасти ветрогенератора (*уже наклеена на лопасть*), частоту вращения которых необходимо измерить. Установите переключатель в положение «Photo RPM» (*крайнее левое положение*). Нажмите кнопку (*находится на торце прибора справа*) включения измерений и направьте световой (*красный*) луч тахометра на метку.

Нагрузочный блок

Нагрузочный блок предназначен для создания тока нагрузки у маломощных источников постоянного тока напряжением до 12 В).

Конструктивно нагрузочный блок выполнен в виде панели, на которой смонтированы несколько групп светодиодов. Пять групп с напряжением 3 В и две группы с напряжением 6 В, переключатель количества светодиодов (количество указано на панели блока), тумблер выбора величины напряжения – 3 или 6 В, клеммы для подключения испытуемого источника постоянного тока, гнезда для осуществления набора различного

количества светодиодов при помощи гибких перемычек со штекерами, вольтметр V контроля напряжения.

При помощи переключателя и перемычек со штекерами, вставляемыми в соответствующие гнезда внизу панели, можно подключить к испытуемому источнику различное количество светодиодов:

- от 4 до 64 штук на напряжение 3 В (по 4, 8, 18, 24 или 34 штуки, табл. 1.3);
- от 12 до 28 штук на напряжение 6 В (по 12, 16 или 28 штук, табл. 1.4).

Это позволяет регулировать ток нагрузки в широком диапазоне. Генератор ветроагрегата или панель солнечной фотоэлектрической батареи подключаются к клеммам ± 3 В или ± 6 В. Напряжение контролируется по вольтметру и фиксируется положением тумблера 3 или 6 В (табл. 1.3, 1.4).

Таблица 1.3

Техническая характеристика нагрузочного блока

Положение тумблера – 3 В					
Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук	Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук
4	4	4	8	8–34	42
4	4–8	12	18	18	18
4	4–18	22	18	18–24	42
4	4–24	28	18	18–34	52
4	4–34	38	24	24	24
8	8	8	24	24–34	34
8	8–4	12	34	34	34
8	8–18	26	34	34–18–8	60
8	8–24	32	34	34–18–8–4	64

Таблица 1.4

Техническая характеристика нагрузочного блока

Положение тумблера – 6 В		
Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук
12	12	12
12	12–16	28
16	16	16
16	16–12	28

Проведение лабораторной работы

Цель работы:

- Изучение методики определения потенциала ветроэнергетической мощности установки и характеристик потока;
- Исследование режимов работы ВЭУ при различных скоростях ветра;
- Исследование режимов работы ВЭУ при различных нагрузках генератора;
- Получение навыков работы с измерительными приборами ветроэнергетических характеристик.

Ход работы:

1. Для проведения анализа определения ветроэнергетического потенциала ветроустановки требуется к силовым проводам подключить прибор комбинированный цифровой Щ4313 для измерения постоянного тока и цифровой мультиметр А830L для измерения постоянного напряжения.

2. Нарисуйте электрическую схему установки.

3. Произведите замер сторон лопатки и диаметра ветроколеса, м.

4. Поставьте ветрогенератор в место наибольшего потока ветра.

Включите ветросиловую установку для создания потока ветра на ветрогенератор. Ветросиловая установка имеет несколько положений скоростей на трех диапазонах (*максимальная, средняя и минимальная скорости ветра*) проводятся следующие измерения:

- скорости ветра;
- числа оборотов ротора генератора;
- напряжения вырабатываемого ветрогенератором;
- силы тока вырабатываемой ветрогенератором.

Результаты занесите в табл. 1.5:

Таблица 1.5

Показания приборов	№ опыта			Примечание
	Сила ветра			
	Максимальная	Средняя	Минимальная	
v , м/с				
n_{xx} об/мин				
U , В				
I , А				
$P_{ЭХХ}$, Вт				

Постройте графики зависимости скорости ветра v и напряжения U от частоты вращения ветрогенератора:

$$U_{xx} = f(n_{xx}) \text{ (график № 1);}$$

$$U_{xx} = f(n_{xx}) \text{ (график № 2);}$$

$$I_{xx} = f(n_{xx}) \text{ (график № 3);}$$

$$P_{ЭХХ} = f(n_{xx}) \text{ (график № 4).}$$

5. Присоедините нагрузку в цепь ветроустановки, изменением положения включенных клавиш (описание нагрузочного блока), и проведите повторные измерения при $v_1(\max) = const$:

- скорости ветра;
- числа оборотов ротора генератора;
- напряжения вырабатываемого ветрогенератором;
- силы тока вырабатываемого ветрогенератором;
- мощности ветрогенератора.

t_{oc} , °С – температура окружающей среды в лаборатории, измеренная термометром.

Вычислите мощность ветроустановки $P_3 = U \cdot I$, Вт.

Результаты занесите в табл. 1.6, 1.7, 1.8:

Таблица 1.6

Показания приборов с нагрузкой при $v_1(\max) = const$	№ опыта		
	Нагрузка (положение клавиш)		Примечание
$v_1(\max) = const, \text{ м/с}$			
n_{xx} , об/мин			
$U, \text{ В}$			
$I, \text{ мА}$			
$t_{oc} = ^\circ\text{C}$			
$P_{Э}, \text{ Вт}$			
$\eta_{\text{вэу}}$			

6. Присоедините нагрузку в цепь ветроустановки и проведите повторные измерения при $v_2(\text{средн}) = const$ (табл. 1.7) и $v_3(\min) = const$ (табл. 1.8):

- Скорости ветра;
 - Числа оборотов ротора генератора;
 - Напряжения вырабатываемого ветрогенератором;
 - Силы тока вырабатываемой ветрогенератором.
- Результаты занесите в табл. 1.7, 1.8.

Таблица 1.7

Показания приборов с нагрузкой при $v_1(\max) = const$	№ опыта		
	Нагрузка (положение клавиш)		Примечание
$v_1(\text{средн.}) = const, \text{ м/с}$			
n_{xx} , об/мин			
$U, \text{ В}$			
$I, \text{ мА}$			
$t_{oc} = ^\circ\text{C}$			
$P_{Э}, \text{ Вт}$			
$\eta_{\text{вэу}}$			

Таблица 1.8

Показания приборов с нагрузкой при $v_1(\max) = const$	№ опыта		
	Нагрузка (положение клавиш)		Примечание
$v_3(\min) = const, \text{ м/с}$			
n_{xx} , об/мин			
$U, \text{ В}$			
$I, \text{ мА}$			
$t_{oc} = ^\circ\text{C}$			
$P_{Э}, \text{ Вт}$			
$\eta_{\text{вэу}}$			

7. Определите КПД действующей ветроустановки ($v_1 = const$) при разных нагрузках (1, 2, 3) с использованием табл. 1.6 и формул для расчета КПД η_B . Формулы для расчета КПД η_B приведены в пункте 10. Найденные значения занесите в табл. 1.6.

8. Определите КПД действующей ветроустановки ($v_2 = const$) при разных нагрузках (1, 2, 3) с использованием табл. 1.7 и формул для расчета КПД η_B .

9. Определите КПД действующей ветроустановки ($v_3 = const$) при разных нагрузках (1,2,3) с использованием табл. 1.8 и формул для расчета КПД η_B . Найденные значения занесите в соответствующие табл. 1.6, 1.7, 1.8.

- Постройте графики зависимости потребляемой мощности от скорости ветра $N_s = f(v)$ при разных нагрузках (1, 2, 3) (табл. 1.6, 1.7, 1.8).
Примечание: на одном графике отобразите все 3 графика.
- Постройте график зависимости частоты оборотов ветродвигателя (n , об/мин) от числа присоединенных потребителей при $v_1(\max)$, $v_2(\text{сред.})$, $v_3(\min)$.
Примечание: на одном графике отобразите все 3 графика.
- Сравните и проанализируйте графики.
- Сделайте выводы по полученным графикам, таблицам и всей работе.

10. Формулы для расчета КПД η_B .

Используя формулы, выразите выражение для определения КПД ветроэнергетической установки η_B (коэффициент использования ветра).
 Ответы запишите в табл. 1.6, 1.7, 1.8.

Мощность реальной ВЭУ

$$P_{взв} = P_0 \cdot \eta_6, \text{ Вт},$$

где P_0 – мощность идеальной ветроэнергетической установки, Вт;
 η_6 – КПД воздуходувки.

$$\eta_6 = \frac{P_{взв}}{P_0},$$

$\eta_{вн} = 0,8$ – номинальный КПД воздуходувки.

η_3 – КПД электрогенератора

$$\eta_3 = \eta_{эп} \cdot K_p,$$

где $\eta_{эп} = 0,75$ – номинальный КПД электрогенератора;
 K_p – коэффициент мощности нагрузки генератора.

$$K_p = \frac{U \cdot I}{U_H \cdot I_H}.$$

Мощность идеальной ветроэнергетической установки

$$P_0 = \frac{m \cdot V^2}{2},$$

где $V = v_{1,2} = const$ – скорость ветра, м/с;

m – масса воздуха, проходящая через воздуходувку, кг/с.

$$m = F \cdot V \cdot \rho, \text{ кг/с},$$

где F – площадь выходного окна воздуходувки перед рабочим колесом ветрогенератора, м² (рис. 1.5);

$$F = a \cdot b,$$

где a – ширина окна, м;

b – высота окна, м;

ρ – плотность воздуха, кг/м³.

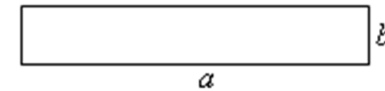


Рис.1.5. Определение площади окна воздуходувки

Тогда

$$m = a \cdot b \cdot V \cdot \rho.$$

Плотность воздуха из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$\rho = \frac{102}{\frac{8,314}{29} \cdot (273 + t \text{ } ^\circ\text{C})}, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

где t – температура окружающей среды в лаборатории, °С.

Мощность реальной ВЭУ, поступающая на вал электрогенератора:

$$P_{взв} = P_0 \cdot \eta_6.$$

11. Сделайте выводы.

Содержание отчета

В отчете должны быть кратко отражены:

1. Задачи проведения работы.
2. Схема и описание установки.
3. Методики замеров параметров.
4. Условия и методика проведения исследований.

5. Журнал наблюдений.
6. Обработка опытных данных.
7. Результаты обработки экспериментов.
8. Графики с характеристиками ветрогенератора.
9. Ответы на контрольные вопросы (для защиты).
10. Выводы по всей работе.

Контрольные вопросы

1. Что включает в себя понятие – «Ветроэнергетическая установка»?
2. Что называют кинетической энергией ветра?
3. Как определяется мощность ветрового двигателя?
4. Что называют коэффициентом мощности ветрового колеса?
5. Как работает поверхность при действии на нее силы ветра?
6. Как определяется коэффициент использования ветрового потока η_B ?
7. Чем отличаются осевые и вертикальные ВЭУ? Преимущества и недостатки.
8. Укажите в лаборатории на вертикальную и осевую ВЭУ.
9. Что называют относительной скоростью ветрового потока?
10. Как устроен анемометр МС-13?
11. Как устроен анемометр АСО-3?
12. Из каких основных элементов состоит стенд лабораторной установки?

Литература

1. Баскаков А. П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Введение в специальность: учеб. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2004.
2. Баскаков А. П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. В 2-х ч. Ч. 1. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2005.
3. Баскаков А. П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. В 2-х ч. Ч. 2. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006.
4. Твайделл Д., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоатомиздат, 1990.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (МИКРОГЭС)

Введение

Лабораторная работа по исследованию режимов работы микрогидроэлектростанции (микроГЭС) выполняется студентами энергетических специальностей и предназначена для закрепления теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Режимы использования установок нетрадиционной и возобновляемой энергетики».

Микрогидроэлектростанции (сокращенно микроГЭС) – устройство для преобразования кинетической и потенциальной энергии воды в электрическую.

Гидроэлектростанции можно разделить на две категории: промышленные и домашние (для частного использования). Промышленные устанавливаются государством или крупными энергетическими корпорациями. Как правило, их объединяют в сети, в результате получается системная электростанция. Ее основное отличие от традиционных (тепловых, атомных) – полное отсутствие, как сырья, так и отходов. Единственное важное требование для микроГЭС – высокий среднегодовой потенциал стока рек. Мощность современных микроГЭС достигает 100 кВт.

1. Теоретическая часть

Вовлечение природных возобновляемых источников энергии в энергетический баланс является одним из приоритетных направлений развития энергетики. В настоящее время обстановку в энергетическом комплексе Кыргызстана иначе как парадоксальной назвать нельзя: обладая значительным потенциалом всех видов возобновляемых энергоресурсов, их составляющая в общем объеме производимой электроэнергии практически равна нулю.

Существенное место по мировым запасам и масштабам использования занимает энергия потоков воды. Объясняется это сравнительно высокой энергетической плотностью потока воды и относительной временной стабильностью режима стока большинства рек.

Как известно, к категории микроГЭС относятся гидроэлектростанции, мощность которых не превышает 100 кВт.

Из истории использования энергии воды прототипом современных гидродвигателей было «водяное колесо» с неподвижными относительно вращающегося цилиндра лопатками.

В начале это были колеса водяных мельниц, которые подразделялись на *наливные*, когда струя воды поступает из подводящего желоба на колесо сверху, как бы наливаясь на него, и *подливные*, когда вода подливается под колесо снизу, т. е. используется кинетическая энергия потока (рис. 2.1).

Гидродвигатели типа «водяное колесо»

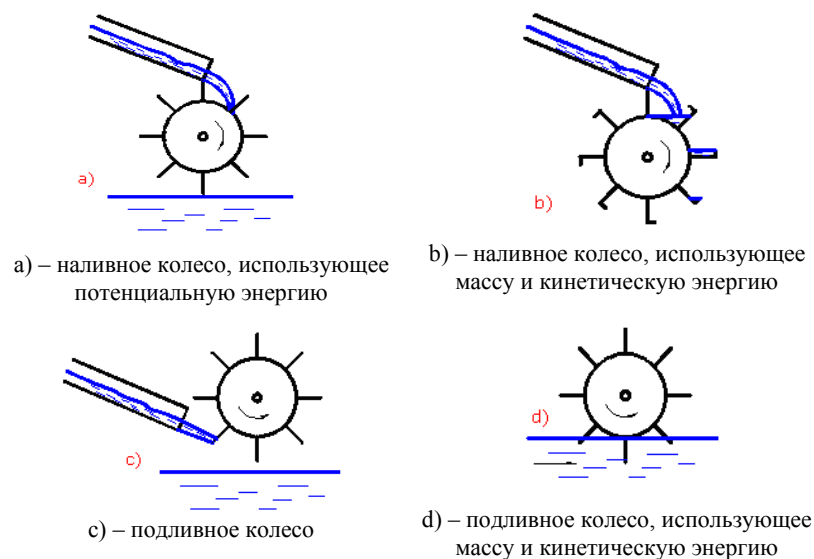


Рис. 2.1. Типы водяных колес

Подливное колесо типа d) было использовано А. М. Панасюком при создании расходомера стока воды.

Дальнейшим развитием водяных колес явились колеса с подвижными лопатками свободно поточные с вертикальной и горизонтальной осью. В них лопатки, идущие против течения, складываются таким образом, чтобы оказывать как можно меньше сопротивления потоку, а идущие по течению – расправляются, подставляя потоку максимальную площадь.

Ряд таких колес был опробован в 1978–79 гг. в ПКТИ «Водавтоматика и метрология», однако КПД их не превышал 0,35.

Гидроэлектростанции могут устанавливаться практически на любых водотоках: от небольших ручьев до крупных рек. Соответственно

изменяется и мощность их гидроагрегатов. В настоящее время принята следующая классификация согласно *ГОСТ Р51238-98 Нетрадиционная энергетика. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА МАЛАЯ. Термины и определения. Гидроэлектростанции мощностью:*

- до 100 кВт – микроГЭС;
- от 100 до 1000 кВт – миниГЭС;
- от 1000 до 10000 кВт – малые ГЭС;
- свыше 10000 кВт – крупные гидроэлектростанции.

Конструкция и принципы построения этих классов энергоустановок могут существенно отличаться.

Станции класса «мини» и более мощные обычно используют в своей конструкции плотину, обеспечивающую запас воды в водохранилище и необходимый напор воды на гидротурбине.

МикроГЭС отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений. Они могут строиться, как и более мощные станции, с использованием плотины, могут быть деривационного типа с использованием напорного трубопровода или канала. Наконец, микроГЭС могут устанавливаться в речной поток без всяких гидротехнических сооружений – *свободопоточные* микроГЭС.

Наиболее перспективными конструктивными решениями гидроэлектрических установок класса «микро» являются бесплотинные конструкции, способные работать в свободном потоке воды, или использующие напорный трубопровод.

К основным показателям качества источников электропитания в соответствии с ГОСТ 4.171-85 относятся параметры выходного напряжения, характеризующиеся номинальной величиной и частотой. Поэтому важнейшим элементом энергоустановки является система стабилизации, обеспечивающая статически устойчивый режим работы гидроагрегата и стабилизацию его выходного напряжения. Проведенный анализ показал, что одним из самых перспективных вариантов построения стабилизирующих систем бесплотинных микроГЭС, получившим наибольшее распространение во всем мире, являются системы регулирования величины электрической нагрузки станции.

Такая возможность определяется зависимостью частоты вращения турбины от развиваемой ею мощности, которая в автономных системах электроснабжения потребляется электрической нагрузкой. Следовательно, выбирая соответствующую нагрузку источника электропитания, можно стабилизировать частоту вращения системы: генератор – приводная турбина. Изменять величину нагрузки автономного источника электропитания возможно включением на выход генератора регулируемой балластной нагрузки.

Если под «балластной» понимать некоторую полезную нагрузку, то данный способ стабилизации подразумевает автоматическое перераспределение электрической мощности между некоторыми потребителями. Часть их допускает снижение величины питающего напряжения или его отключение. Схема энергоустановки с автобалластным регулированием выходных параметров показана на рис. 2.2.

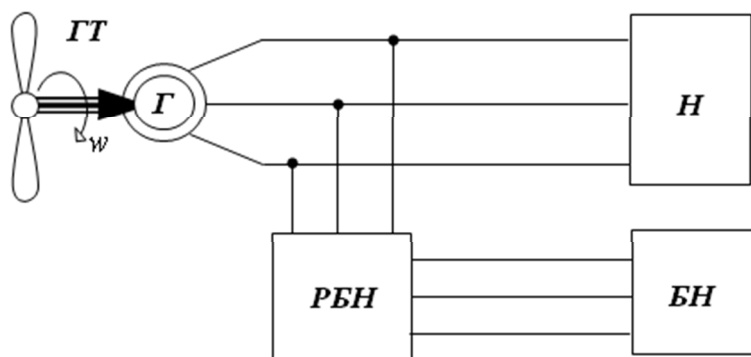


Рис. 2.2. Структурная схема стабилизации параметров микроГЭС автобалластного типа:

ГТ – гидротурбина; Г – генератор; Н – полезная нагрузка;
БН – балластная нагрузка; РБН – регулятор балластной нагрузки

Достоинствами данного способа является полное исключение электромеханических устройств из системы стабилизации частоты вращения гидродвигателя. Такая система регулирования может иметь высокое быстродействие, что положительно скажется на качестве выходного напряжения источника электропитания. Благодаря стабилизации частоты вращения приводного двигателя в рассматриваемых типах электроустановок могут применяться общепромышленные генераторы без большого запаса механической прочности ротора.

Следует отметить, что обеспечить стабилизацию выходного напряжения рассматриваемой автономной системы электроснабжения по величине и частоте возможно только за счет поддержания неизменного баланса мощностей как по активной, так и по реактивной мощности. В противном случае необходим, как минимум, еще один канал регулирования.

Энергия потока воды

Гидравлическая энергия является возобновляемым источником энергии. Гидравлическая энергия – это механическая энергия речного (арычного или рукавного) стока воды, которая преобразуется в электрическую энергию посредством гидротурбин и электрических генераторов.

Полная энергия потока воды в начальном \mathcal{E}_1 и конечном \mathcal{E}_2 створах исследуемого участка гидравлической энергии отличается друг от друга на величину потерь на этом участке. Теряемая на данном участке энергия воды будет равна разности этих величин:

$$\mathcal{E}_{1-2} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 = \rho \cdot g \cdot W \cdot H_{1-2},$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

W – объем стока воды, м³;

H_{1-2} – удельная потенциальная энергия потока воды, называемая *напором*, (м), численно равная падению уровня свободной поверхности водотока на данном участке.

Разделив \mathcal{E}_{1-2} на время t получим среднюю мощность водяного потока на данном участке:

$$N_{1-2} = \frac{\mathcal{E}_{1-2}}{t} = \rho \cdot g \cdot \frac{W}{t} \cdot H_{1-2} = \rho \cdot g \cdot Q_{1-2} \cdot H_{1-2}, \text{ Вт.}$$

В расчетах следует принять $\rho = 1000$, кг/м³, $g = 9,81$, м/с². Подставив расчетные значения ρ , g , Q_{1-2} , (м³/с) и H_{1-2} , (м), получим мощность водотока, кВт

$$N_{1-2} = 9,81 Q_{1-2} \cdot H_{1-2}, \text{ кВт.}$$

Потенциальные гидроэнергетические ресурсы – это теоретические запасы, определяемые по формуле:

$$\mathcal{E} = 8760 \cdot \sum_{i=1}^n 9,81 Q_i \cdot H, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Использование потенциальных гидроэнергетических ресурсов производится с помощью *гидроэнергетических установок* (ГЭУ). ГЭУ предназначена для преобразования механической энергии водяного потока в электрическую энергию или, наоборот, электрическая энергия преобразуется в механическую энергию воды.

ГЭУ состоит из гидротехнических сооружений, энергетического и механического оборудования.

Технико-экономические характеристики малых и микроГЭС приведены в [6].

Установка, которая преобразует гидравлическую энергию в электрическую, называется *гидроэлектростанцией* (ГЭС).

Машина, преобразующая энергию движущейся воды в механическую энергию вращения ее рабочего колеса, называется *гидравлической турбиной*.

Гидравлическая турбина, соединенная валом с ротором генератора, называется *гидроагрегатом*.

Мощность на валу гидротурбины

Мощность на валу гидротурбины (кВт) определяется как

$$N_T = 9,81 Q_T \cdot H_T \cdot \eta_T, \text{ кВт},$$

где Q_T – расход воды через турбину, м³/с;

H_T – напор турбины, м;

η_T – коэффициент полезного действия (КПД) турбины.

$$H_T = H_G - \Delta h, \text{ м},$$

где H_G – геодезический напор, м;

Δh – потери напора в водоподводящем тракте, м.

Потери напора обычно составляют 2–5 % H_G . Значение КПД гидротурбины зависит от конструкции, размеров и режимов работы. КПД современных гидротурбин может достигать 0,95.

Электрическая мощность гидроагрегата на выводах генератора равна

$$P_A = N_T \cdot \eta_{ГЕН}, \text{ кВт},$$

где $\eta_{ГЕН}$ – КПД генератора.

Обычно КПД генераторов равен 0,9 – 0,98.

Выработка электроэнергии ГЭС (кВт·ч) за период времени T (ч) определяется как

$$\mathcal{E}_{ГЭС} = P_A \cdot T, \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Годовой фонд времени составляет – $T_{год} = 8760$ часов, отопительный сезон – 4380 часов.

Технические характеристики микроГЭС

МикроГЭС рукавная переносная предназначена для выработки электрического тока в условиях отсутствия централизованных источников электроэнергии.

Возможными потребителями могут являться геологические партии, исследовательские экспедиции, чабаны, дачники, автотуристы и т. п.

Для создания необходимого напора микроГЭС комплектуется водоводом напорным с водозаборником. Водовод состоит из нескольких быстроразборных секций (рис. 2.3).

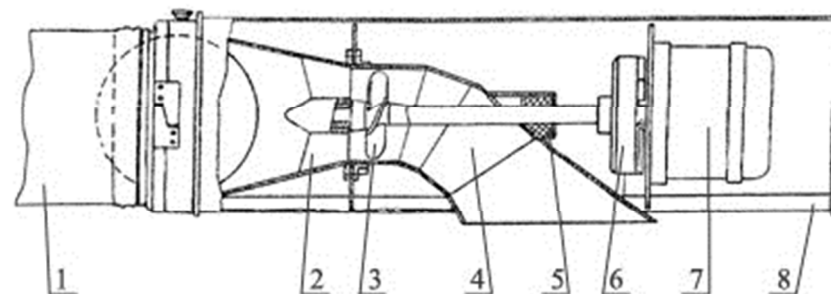


Рис. 2.3. МикроГЭС рукавная переносная.

1 – водопровод напорный; 2 – аппарат направляющий; 3 – ротор; 4 – проточная часть; 5 – уплотнение ротора; 6 – маховик; 7 – генератор переменного тока со встроенным выпрямителем и регулятором напряжения; 8 – рама

Кроме того, микроГЭС комплектуется распределительным электрощитком, соединительными проводами и светильниками.

Для транспортировки на корпусе микроГЭС предусмотрены две ручки, что позволяет переносить ее вдвоем.

Принцип работы микроГЭС основан на использовании энергии водного потока. Поток поступает из водоема (реки, ручья) через водозаборник и напорный водовод в направляющий аппарат, далее поток воды поступает на лопастную систему рабочего колеса и создает на роторе энергоблока крутящий момент, приводящий во вращение генератор.

Основные детали микроГЭС выполнены штампованными и сварными из коррозионно-стойких материалов (нержавеющая сталь, алюминий, пластические массы). МикроГЭС отвечает современным эргономическим требованиям.

Применение микроГЭС в народном хозяйстве и в личном пользовании населения позволит значительно повысить уровень комфорта работы и отдыха при отсутствии централизованного энергоснабжения.

Конструктивно микроГЭС состоит из энергоблока, блока управления, блока возбуждения, блока нагрузки и рукавного водовода.

Энергоблок выполнен в виде рамы, на которой расположены направляющий аппарат, двукратная турбина и электрический генератор. Для удобства эксплуатации блок управления, блок возбуждения и блок балластных нагрузок смонтированы вместе с энергоблоком на той же раме. Все узлы на раме закрыты кожухом.

Водовод состоит из водозаборного устройства, затвора, переходника и напорных рукавов (или труб).

Срок службы микроГЭС не менее 6 лет.

МикроГЭС надежные, экологически чистые, компактные, быстро окупаемые источники электроэнергии для деревень, хуторов, дачных поселков, фермерских хозяйств, а также мельниц, хлебопекарен, небольших производств в отдаленных горных и труднодоступных районах, где нет поблизости линий электропередач, а строить такие линии сейчас и дороже и дороже, чем приобрести и установить микроГЭС.

Гидроэнергетика Кыргызстана

Вековые ледники и снега питают 252 большие и малые реки, которые, в свою очередь, могут быть использованы для выработки электроэнергии. Энергетический потенциал рек Кыргызстана составляет от 140 до 160 млрд кВт·ч в год и является основой гидроэнергетики. На самой многоводной и мощной реке в республике – реке Нарын построен уникальный каскад гидроэлектростанций во главе с флагманом кыргызской энергетики Токтогульской ГЭС. К сожалению, в настоящее время гидроэнергетический потенциал страны освоен только на 10 %.

Имея разведанных 1,3 млрд тонн угольных запасов, Кыргызстан все же испытывает нехватку добычи углеводородов и зависимость от их

массового завоза извне. Использование современных технологий бездымного сжигания и переработки угля в газообразное топливо позволили бы диверсификацию энергоносителей и улучшили бы топливно-энергетический баланс страны.

Гидроэнергетика – это одновременно и сильная, и слабая сторона энергетики Кыргызстана. Сильная потому, что гидроэнергетика не загрязняет окружающую среду и стоимость электроэнергии существенно ниже других возобновляемых источников. Слабая, так как в годы маловодья нуждается в поддержке от других более затратных источников энергии.

И все же, несмотря на слабые стороны, гидроэнергетика является магистральным развитием энергетических мощностей и увеличения выработки электроэнергии. Уже есть конкретные планы строительства Камбаратинских ГЭС, дальнейшего освоения потенциала реки Нарын строительством Кокомеренского и Верхне-Нарынского каскадов ГЭС, освоения потенциала реки Сары-Джаз и многочисленных малых рек. Согласно Национальной энергетической программе к 2025 году выработка электроэнергии должна быть удвоена и составит до 30 млрд кВт·ч в год. Это даст нам возможность не только полностью обеспечить электроэнергией внутреннее потребление и привлечь в страну стратегические энергоёмкие производства, такие как ферросплавные или алюминиевые заводы, но и поставлять электроэнергию на экспорт, например, в страны Южной Азии – Пакистан, Афганистан, Индию. Рынки энергии этих стран представляют для нас большой интерес, так как пик годового потребления электроэнергии в них приходится на летний период, то есть как раз тогда, когда в Кыргызстане имеется ее избыток.

Кыргызстан и дальше намерен осуществлять гидроэнергетические проекты, развивать законодательную базу в сфере энергетики в направлении дальнейшей либерализации с целью привлечения крупных инвесторов. Также не останутся без поддержки малый и средний бизнес. Для этого сегмента будут созданы все условия для строительства малых ГЭС и освоения возобновляемых источников энергии.

2. Практическая часть.
Исследование режимов работы
гидроэнергетической установки (микроГЭС)
на лабораторном стенде

Цель работы:

- Ознакомление с принципом построения и работы микроГЭС, изучение возможных режимов работы и области применения, а также эксплуатационных характеристик агрегата.
- Выбор составных частей микроГЭС с учетом их эффективности, технической пригодности и целесообразности.
- Изучение свойств асинхронного генератора в качестве источника электроэнергии в системе микроГЭС.
- Изучение методики определения потенциала гидроэнергетической мощности установки и характеристик потока.
- Исследование режимов работы микроГЭС при различных расходах воды.
- Исследование режимов работы микроГЭС при различных нагрузках генератора.
- Получение навыков работы с измерительными приборами параметров микроГЭС.

Содержание работы:

1. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой стенда и изучить ее работу.
2. Ознакомиться с энергетической установкой, обеспечивающей получение кинетической энергии водного потока, направляемого на турбину микроГЭС и изучить принцип ее работы.
3. Изучить свойства электрической машины, работающей в качестве генератора, электрической энергии.
4. Возбудить электрогенератор на холостом ходу и снять характеристику зависимости напряжения, тока и мощности генератора от скорости вращения турбины (без воды), т. е. $P_{xx} = f(n_{zm})$ при постоянной величине тока возбуждения.
5. Ознакомиться со способом регулирования энергии водного потока энергетической установки и опробовать его.
6. Снять вольтамперные характеристики электрогенератора на каждой ступени регулирования водного потока.
7. Произвести оценку скорости вращения гидротурбины при невозбужденном электрогенераторе.

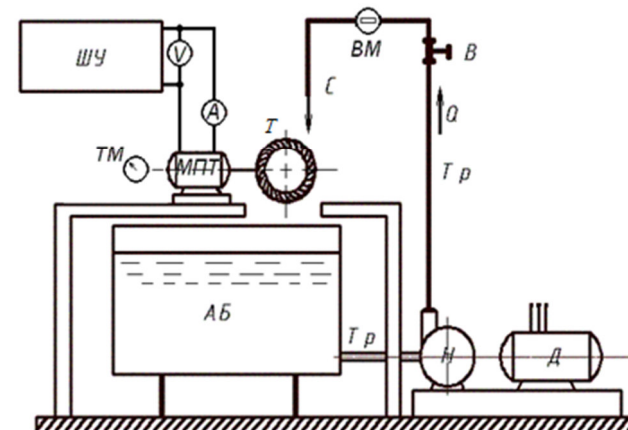


Рис. 2.4. Лабораторный стенд исследования режимов работы микроГЭС.

А – амперметр; *В* – вольтметр; *АБ* – аккумуляторный бак для воды; *В* – регулировочный вентиль; *ВМ* – водомер; *Д* – трехфазный асинхронный двигатель; *МПТ* – машина постоянного тока; *Н* – водяной центробежный насос; *ПЧ* – преобразователь частоты; *С* – сменное сопло; *Т* – рабочее колесо турбины; *ТМ* – переносной тахометр; *Тр* – система трубопроводов; *ЩУ* – щит управления

Описание используемых приборов на стенде

Испытательный стенд (рис. 2.4) состоит из энергетической установки и станины. Энергетическая установка включает в себя водяной центробежный насос *Н*, приводимый во вращение трехфазным асинхронным двигателем *Д*, аккумуляторный бак для воды *АБ*, систему трубопроводов *Тр*, регулировочный вентиль *В* (либо преобразователь частоты *ПЧ*), водомер *ВМ* и сменное сопло *С*.

Насос обеспечивает циркуляцию воды по замкнутому контуру. Энергетическая установка обеспечивает подачу воды через сопло *С* на рабочее колесо турбины *Т*. Вентиль *В* позволяет регулировать производительность насоса *Н*, величину которой можно контролировать при помощи водомера *ВМ* и секундомера. Турбина *Т* установлена на валу машины постоянного тока (*МПТ*) и является для него первичным (приводным) двигателем, преобразуя энергию водного потока в механическую энергию вращения вала машины *МПТ*.

МПТ, жестко закрепленная на станине, преобразует механическую энергию в электрическую (или наоборот при питании *МПТ* от внешней электросети). *МПТ* подключается к щиту управления *ЩУ*, который позволяет плавно регулировать напряжение, подводимое к *МПТ* от внешней

электросети. Контроль нагрузки на постоянном токе производится с помощью переносных настольных приборов вольтметра V и амперметра A . Контроль частоты вращения гидротурбины, а значит и вала MPT производится с помощью переносного тахометра ТМ.

Прибор комбинированный цифровой Щ4313

Измерение постоянного тока:

Переключатель в положении «А», щупы подключаются в цепь последовательно. Снятие показаний значений тока производится с учетом переводного коэффициента, значения которого указаны на панели прибора (мА).

Цифровой мультиметр А830L

Измерение постоянного напряжения:

Красный щуп гнездо «V Ω mA», черный щуп – гнездо «COMЕ». Переключатель устанавливается в положение V₋. Центральным переключателем «Range» выбираем диапазон измерений (В или мВ). Щупы подключаются параллельно измеряемой цепи.

Цифровой фототахометр-стробоскоп ДТ-2234А+

Совмещает в себе функции цифрового фототахометра и цифрового стробоскопа и предназначен для измерения частоты вращения частей двигателя, турбин и других объектов бесконтактным способом, а также линейной скорости перемещения деталей в процессах наладки, ремонта механизмов и лабораторных исследований.

Работа с прибором:

Отделите небольшой кусок светоотражающей ленты и полученную метку наклейте на лопасти ветрогенератора (*уже наклеена на лопасть*), частоту вращения которых необходимо измерить. Установите переключатель в положение «Photo RPM» (*крайнее левое положение*). Нажмите кнопку (*находится на торце прибора справа*) включения измерений и направьте световой (*красный*) луч тахометра на метку.

Нагрузочный блок энергии микроГЭС

Нагрузочный блок (НБ) предназначен для создания нагрузки генератора постоянного тока МПТ типа МУН-2 на стенде (рис. 2.4).

Напряжение, подаваемое на НБ, не должно превышать ± 32 В, мощность НБ – 34 Вт.

Конструктивно НБ выполнен в металлической коробке в которой смонтированы 22 лампы накаливания напряжением 6,3 В, 4 тумблера выбора количества ламп и две клеммы +30 В и –30В. Лампы соединены в четыре группы – 2 группы по 5 и 2 группы по 6 штук в каждой. В каждой группе лампы соединены последовательно и подключаются при помощи тумблеров через клеммы ± 30 В к генератору микроГЭС. Подключение ламп осуществляется ступенями по 5, 11, 16 и 22 лампы.

Нагрузочный блок позволяет регулировать ток нагрузки испытуемого генератора в пределах от 0 до 1 А.

Автономный генератор МПТ

Автономный генератор МПТ – электрическая машина типа МУН-2, универсального исполнения (*работает на постоянном и переменном токе*). Технические характеристики автономного генератора:

- возбуждение независимое от общей сети;
- номинальная мощность $P_{\text{наг}} = 100$ Вт;
- номинальная скорость вращения ротора 2200 об/мин;
- номинальный ток якоря $I_{\text{як}} = 0,9$ А;
- номинальное напряжение $U_n = 220$ В;
- номинальный КПД $\eta_{\text{взв}} = 0,51$.

Счетчик расхода воды (ВМ)

Водяной расходомер – стрелочный водяной счетчик с набором шкал для отсчета расхода воды.

Работа с прибором:

Перед пуском водяного насоса H обязательно следует записать показания всех шкал $ВМ$, определить начальную отметку прибора в м^3 , согласовать правильность записи данных шкалы $ВМ$ с ведущим занятия преподавателем. После остановки водяного насоса H записывают показания всех шкал $ВМ$. Показания расхода воды определяют вычитанием предварительно записанных начальных данных из полученных после остановки насоса H . Перед каждым пуском насоса H повторяют все сначала.

Секундомер

Секундомер служит для определения производительности водяного насоса стенда в $\text{м}^3/\text{с}$. Отсчет времени, фиксируемого секундомером прибора, начинают с одновременным пуском водяного насоса H и заканчивают в момент его остановки.

Преобразователь частоты (ПЧ) питающей сети «Toshiba»

Преобразователь частоты необходим для установления напора и расхода водного потока нагнетательного насоса H на стенде (рис. 2.4) изменением скорости вращения рабочего колеса. При этом вентиль B должен быть максимально открытым.

Устанавливается (по заданию преподавателя) три режима работы водяного насоса: максимальная, средняя и минимальная скорости вращения.

При отсутствии ПЧ производительность насоса возможно регулировать вентилем B .

Проведение лабораторной работы

Ход работы:

1. Для проведения анализа определения энергетического потенциала микроГЭС подключите к силовым проводам прибор комбинированный цифровой Ц4313 для измерения постоянного тока и цифровой мультиметр А830L для измерения постоянного напряжения.
2. Запишите начальные показания водяного счетчика расхода воды, м^3 .
3. Нарисуйте электрическую схему установки.
4. Произведите замер диаметра рабочего колеса D гидротурбины, м.
5. Определите площадь отверстия сопла S .
6. Соберите схему для исследования опыта холостого хода.
7. Определите диаметр d выходного сечения насадка (сопла).
8. Определите мощность водного потока при полной производительности водяного насоса H .
9. Повторите п. 8 для трех других расходов, уменьшив производительность насоса H .
10. Произведите необходимые расчеты.
11. Постройте графики $n = f(P)$ и $n = f(P_{xx})$. По ним получите график $n = f(N_m)$ для всех проведенных серий экспериментов.
12. Постройте графики $N_m = f(Q)$, $\eta = f(n)$.

Опыт холостого хода микроГЭС

1. Определение потерь в МПТ

Запустите установку от приводного электродвигателя МПТ (без воды) при питании от внешней сети в направлении вращения турбины. Меняя подводимое к двигателю напряжение, снимите зависимость мощности, подведенной к двигателю, от частоты вращения установки (потери холостого хода). Для этого необходимо фиксировать и заносить в табл. 2.1

значения напряжения, тока и частоты вращения. Частоту вращения необходимо изменять в пределах от 0 об/мин до 2000 об/мин.

Таблица 2.1

Определение потерь холостого хода

№ измерения	n , об/мин	U_0 , В	I_0 , А	P_{xx} , Вт

2. Определение мощности турбины

Установите насадок сопла, запустите насос. При помощи ПЧ или вентиля B установите максимальный расход, засекайте показания водомера W_1 (занесите в табл. 2.2) и время. Определите частоту вращения установки с приводом от активной турбины на холостом ходу, занесите в табл. 2.2.

Постепенно увеличивая подводимое к МПТ напряжение (двигатель МПТ включается в режим противотключения от внешней сети), фиксируйте и записывайте в табл. 2.2 значения частоты вращения n , тока I и напряжения U . Получите, таким образом, не менее 5–7 точек. Последняя точка должна быть снята при полной остановке вала турбины (режим короткого замыкания МПТ). По окончании эксперимента снимите отсчет времени Δt и водомера 2 и занесите в табл. 2.2.

Опыт работы микроГЭС под нагрузкой

1. Для заполнения правой части табл. 2.2 проведите расчеты:
 - Мощность потерь холостого хода (табл. 2.1): $P_{xx} = U_0 I_0$.
 - Площадь сечения выходного отверстия сопла: $S = \pi d^2 / 4$.
 - Расход воды, подаваемый на турбину: $Q = (W_2 - W_1) / \Delta t$.
 - Скорость струи на выходе из насадка: $V = Q / S$.

- Мощность потока: $N = Q \cdot \rho \cdot V^2 / 2$.
- Электрическая мощность МПТ $P = UI$.
- Максимально возможная частота вращения турбины при данной скорости струи: $n_u = 60 \cdot V / (\pi D)$.
- Мощность, развиваемая турбиной: $N_m = P + P_{xx}$.
 Данное действие проще всего выполнить графически, построив графики $n = f(P)$ и $n = f(P_{xx})$ в одной системе координат.
- КПД турбины: $\eta = (N_m / N) \cdot 100 \%$.

Таблица 2.2

Характеристики активной турбины

№	Измеренные							Рассчитанные							
	Диаметр сопла	Сечение сопла	Сток воды до	Сток воды после	Время	Частота вращения	Напряжение	Ток	Расход	Скорость струи на выходе	Подведенная мощность потока	Электрическая мощность	Идеальная частота вращения турбины	Мощность турбины	КПД турбины
	d	S	W_1	W_2	Δt	n	U	I	Q	V	N	P	n_u	N_m	η
м	м ²	м ³	м ³	с	мин ⁻¹	В	А	м ³ /с	м/с	Вт	Вт	мин ⁻¹	Вт	%	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															

2. Подключите нагрузочный блок *НБ* к генератору МПТ.
 Включите силовую установку для создания потока воды на турбину микро-ГЭС. Насосная установка имеет несколько положений скоростей, выбираем три скорости на всем диапазоне (*максимальная, средняя и минимальная скорости воды*). Выбор скоростей проводится по заданию преподавателя и проводятся следующие измерения:
 - скорости воды, м/с;
 - числа оборотов ротора автономного генератора, об/мин;
 - напряжения вырабатываемого автономным генератором $U_I, В$;
 - силы тока вырабатываемой автономным генератором $I_I, А$.
 - мощности вырабатываемой автономным генератором $P_I, Вт$.
 Результаты занесите в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Характеристика генератора МПТ для максимальной скорости водного потока под нагрузкой при максимальной подаче воды от *Н* на сопло

№ измерения	$V_I, м/с$	$n_I, об/мин$	$U_I, В$	$I_I, А$	$P_I, Вт$

Повторите п. 2 для двух других расходов, уменьшив производительность водяного насоса (по заданию преподавателя).
 Данные опытов занесите в табл. 2.4, 2.5.

3. Дайте характеристику полученным новым режимам работы микроГЭС.

Таблица 2.4

Характеристика генератора МПТ
для средней скорости водного потока под нагрузкой

№ измерения	V_2 , м/с	n_2 , об/мин	U_2 , В	I_2 , А	P_2 , Вт

Таблица 2.5

Характеристика генератора МПТ
для минимальной скорости водного потока под нагрузкой

№ измерения	V_3 , м/с	n_3 , об/мин	U_3 , В	I_3 , А	P_3 , Вт

Примечание: на одном графике отобразите все 3 графика.
Сравните и проанализируйте графики.

4. Сделайте выводы по полученным графикам, таблицам и всей работе.

Содержание отчета

В отчете должны быть кратко отражены:

1. Задачи проведения работы.
2. Схема и описание установки.
3. Методики замеров параметров.

4. Условия и методика проведения исследований.
5. Журнал наблюдений.
6. Обработка опытных данных.
7. Результаты обработки экспериментов.
8. Графики с характеристиками генератора микроГЭС.
9. Ответы на контрольные вопросы (для защиты).
10. Выводы по всей работе.

Контрольные вопросы

1. Объясните работу энергетической установки стенда.
2. От чего зависит производительность водяного насоса?
3. Как связаны между собой производительность и напор воды при работе водяного насоса?
4. Какими свойствами обладает автономный генератор?
5. Способы возбуждения автономного генератора.
6. Как изменяется величина генерируемых автономным генератором величин тока, напряжения и мощности?
7. Как работает счетчик расхода воды на стенде?
8. Как определяется скорость истечения воды через сопло турбины?
9. Характеристика гидротурбины стенда.
10. Как измеряется частота вращения турбины?
11. Что называется обратимостью работы асинхронной машины?

Литература

1. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учеб. пособие для студентов энерго- и тепло-техн. специальностей. М.: Кнорус, 2010.
2. Лосюк Ю. А., Кузьмич В. В. Нетрадиционные источники энергии: учеб. пособие. Минск: Технопринт, 2005.
3. Оборудование возобновляемой и малой энергетики: справочник-каталог / Рос. инж. акад, Рос. Союз науч. и инж. обществ. орг-ций, Ин-т энергетич. стратегии; под ред. П. П. Безруких. М.: Новые и возобновляемые источники энергии, 2005.
4. Пантелеев В. П., Аккозиев И. А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: методическое руководство к выполнению лабораторных работ. Бишкек: КРСУ, 2009.
5. Пантелеев В. П., Аккозиев И. А. Энергообеспечение жилищного комплекса от альтернативных источников энергии: справочно-методическое пособие. Бишкек: КРСУ, 2009.
6. Липкин В. И. Введение в малые и микроГЭС. Бишкек: Алтын Тамга, 2013.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ФЭУ)

Введение

Лабораторная работа по исследованию работы кремниевого фотоэлемента – солнечной батареи выполняется студентами энергетических специальностей вуза и предназначена для закрепления теоретических знаний, полученных студентами при изучении курса «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии».

1. Теоретическая часть.

Общие сведения о фотоэлектрических установках. Современные ФЭУ и особенности их конструкции

Общие сведения о солнечных батареях

Солнце – первопричина всей жизни на Земле и наш важнейший поставщик энергии. Оно – невероятный сгусток энергии. Энергия, излучаемая с поверхности Солнца и попадающая на земной шар, примерно в 10 000 раз превышает сегодняшнюю мировую потребность в энергии. Однако используемая доля исходящей от Солнца энергии сейчас еще очень мала. Максимальная мощность солнечного излучения составляет 1000 Ватт на один квадратный метр земной поверхности.

Общая мощность излучения или так называемая глобальная радиация представляет собой сумму прямого и рассеянного излучения.

«**Фотовольтаик**» – специальный термин, обозначающий непосредственное преобразование солнечного излучения в электрический ток с помощью, так называемых *солнечных батарей (фотогальванической установки)*.

В фотоэлектрических преобразователях солнечной энергии используется кремний с добавками других элементов, образующих структуру с *p-n* – переходом. Схема работы полупроводникового кремниевого фотоэлемента достаточно проста: в *p*-слое полупроводника создается «дырочная» (положительная) проводимость, а в *n*-слое – электронная (отрицательная). На границе слоев возникает потенциальный барьер, препятствующий перемещению носителей (электронов и «дырок») из одного слоя в другой (в таком стационарном состоянии ток не течет по всему полупроводнику). Когда же на фотоэлемент падает свет (поток фотонов), фотоны, поглощаясь, создают пары электрон – «дырка», которые, подходя к границе слоев, понижают потенциальный барьер, давая возможность носителям беспрепятственно проходить из слоя в слой. В полупроводнике

возникает наведенная электродвижущая сила (ЭДС), и он становится источником электрического тока. Величина фото ЭДС будет тем больше, чем интенсивнее световой поток.

Эффективность современных кремниевых (а также на основе арсенида галлия) фотоэлементов достаточно высока (их КПД достигает 10–12 %), а чем выше КПД, тем меньше требуемая площадь солнечных батарей, которая даже в малой энергетике составляет десятки квадратных метров. Большим достижением полупроводниковой промышленности стала разработка кремниевых фотоэлементов, обладающих КПД до 40 %. Последнее важное направление в развитии солнечной энергетики – создание более дешевых и удобных фотопреобразователей: ленточных поликристаллических кремниевых панелей, тонких пленок аморфного кремния, а также других полупроводниковых материалов. Самым высокоэффективным из них оказался алюминий–галлий–мышьяк, его промышленная разработка только начинается.

Общепризнано, что основным фактором развития цивилизации является использование источников энергии. В основном мы используем традиционные энергоресурсы, такие как нефть, уголь, природный газ. При этом наносится колоссальный ущерб экологии нашего общего дома под названием ЗЕМЛЯ. Сотни тысяч баррелей нефти сливаются в океан, миллионы тонн окиси углерода выбрасываются в атмосферу, четыре сотни АЭС вырабатывают десятки тонн радиоактивных отходов.

Но дело не только в этом, запасы этих традиционных источников далеко не бесконечны. Поэтому их относят к невозобновляемым источникам энергии.

Например, в год в мире потребляется столько нефти, сколько ее образуется за 2 млн лет. В связи с этим последнее время большое внимание уделяется так называемым возобновляемым источникам энергии, таким как энергия ветра, солнца, прилива и т. д. В этом ряду солнечная энергетика занимает не последнее место.

Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана.

Фотоэлектрический эффект. Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию

Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую (фотоэлектрические преобразователи) становится возможным при использовании такого физического явления, как фотоэффект.

Фотоэффектом называются электрические явления, происходящие при освещении вещества светом, а именно: выход электронов из металлов (фотоэлектрическая эмиссия или внешний фотоэффект); перемещение зарядов через границу раздела полупроводников с различными типами проводимости (вентильный фотоэффект); изменение электрической проводимости (фотопроводимость).

При освещении границы раздела полупроводников с различными типами проводимости (p - n), между ними устанавливается разность потенциалов (фотоЭДС). Это явление называется вентильным фотоэффектом, на котором основано создание фотоэлектрических преобразователей энергии (солнечных элементов и батарей). Наиболее распространенным полупроводником, используемым для создания солнечных элементов, является кремний.

Солнечные фотоэлектрические системы просты в обращении и не имеют движущихся механизмов, однако сами фотоэлементы содержат сложные полупроводниковые устройства, аналогичные используемым для производства интегральных схем. В основе действия фотоэлементов лежит физический принцип, при котором электрический ток возникает под воздействием света между двумя полупроводниками с различными электрическими свойствами, находящимися в контакте друг с другом. Совокупность таких элементов образует фотоэлектрическую панель, либо модуль. Фотоэлектрические модули благодаря своим электрическим свойствам вырабатывают постоянный, а не переменный ток. Он используется во многих простых устройствах, питающихся от батарей. Переменный же ток, напротив, меняет свое направление через регулярные промежутки времени. Именно этот тип электричества поставляют энергопроизводители, он используется для большинства современных приборов и электронных устройств. В простейших системах постоянный ток фотоэлектрических модулей используется напрямую. Там же, где нужен переменный ток, к системе необходимо добавить инвертор, который преобразует постоянный ток в переменный.

Поскольку при использовании фотоэлектрических систем не сжигается топливо и не имеется движущихся частей, они являются бесшумными и чистыми. Эта их особенность чрезвычайно полезна там, где единственной альтернативой для получения освещения и электропитания бытовых помещений и электрооборудования являются дизель-генераторы и керосиновые лампы.

Фотоэлектрическую систему можно довести до любого размера. Владелец такой системы может увеличить либо уменьшить ее, если изменится его потребность в электроэнергии. По мере возрастания энергопотребления и финансовых возможностей, домовладелец может каждые

несколько лет добавлять модули. Фермеры могут обеспечивать скот питьевой водой при помощи передвижных насосных систем.

Размещают фотоэлектрические системы обычно близко к потребителю, а значит линии электропередачи не нужно тянуть на дальние расстояния, как в случае подключения к линиям централизованного электроснабжения. Не нужны трансформаторные подстанции, ЛЭП и сетевое электрооборудование

Физический принцип работы фотоэлемента

Наиболее эффективными с энергетической точки зрения устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), поскольку это прямой, одноступенчатый переход энергии. КПД производимых в промышленных масштабах фотоэлементов в среднем составляет 16 %, у лучших образцов до 25 %. В лабораторных условиях уже достигнут КПД 43,5 %.

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Неоднородность структуры ФЭП может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями (создание p - n переходов) или соединением различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещенной зоны – энергии отрыва электрона из атома (создание гетеропереходов), или же за счет изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещенной зоны (создание варизонных структур). Возможны также различные комбинации перечисленных способов.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом.

Основные необратимые потери энергии в ФЭП связаны:

- с отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя;
- с прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нем;
- с рассеянием на тепловых колебаниях решетки избыточной энергии фотонов;
- с рекомбинацией образовавшихся фото-пар на поверхностях и в объеме ФЭП;
- с внутренним сопротивлением преобразователя;
- с некоторыми другими физическими процессами.

Для уменьшения всех видов потерь энергии в ФЭП, разрабатываются и успешно применяются различные мероприятия. К их числу относятся:

- использование полупроводников с оптимальной для солнечного излучения шириной запрещенной зоны;
- направленное улучшение свойств полупроводниковой структуры ее оптимальным легированием и созданием встроенных электрических полей;
- переход от гомогенных к гетерогенным и варизонным полупроводниковым структурам;
- оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания p - n перехода, толщины базового слоя, частоты контактной сетки и др.);
- применение многофункциональных оптических покрытий, обеспечивающих просветление, терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;
- разработка ФЭП, прозрачных в длинноволновой области солнечного спектра за краем основной полосы поглощения;
- создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещенной зоны полупроводников, позволяющих преобразовывать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад и пр.

Значение КПД фотоэлемента определяется потерями энергии, зависящими от применяемых материалов и конструкции фотоэлемента, а также выбором режима работы фотоэлектрической системы (ФЭС) (сопротивлением нагрузки R_H , освещенностью Φ (лм) и температурой).

Потери энергии при преобразовании излучения в электрическую энергию, выделяющуюся на нагрузке ФЭС, могут быть подразделены на *световые* и *энергетические* потери.

Световые потери – это потери на отражение светового потока Φ от поверхности фотоэлемента, зависящие от длины волны падающего света. Они определяются также фотоэлектрическим неактивным поглощением света: экситонным поглощением, образованием фотонов, поглощением с возбуждением внутриволновых переходов, поглощением доли светового потока прошедшего на большую глубину, вдоль до нижнего металлического электрода.

Энергетические потери – это потери количества возбужденных светом пар электронов и дырок или переносимой ими энергии. Эти потери обусловлены рекомбинацией носителей, не дошедших до p - n перехода, и зависят от конструкции ФЭС, толщины наружного слоя полупроводника и состояния его поверхности. Кроме того, если энергия

квантов света значительно превышает ширину запрещенной зоны ($h\nu \gg \Delta E$), то избыточная часть поглощенной энергии ($h\nu - \Delta E$), расходуется на нагревание фотоэлементов.

Существенного повышения КПД ФЭП удалось добиться за счет создания преобразователей с двухсторонней чувствительностью (до +80 % к уже имеющемуся КПД одной стороны), применения люминесцентно переизлучающих структур, предварительного разложения солнечного спектра на две или более спектральные области с помощью многослойных пленочных светоделителей (дихроичных зеркал) с последующим преобразованием каждого участка спектра отдельным ФЭП и т. д.

При нахождении КПД ФЭС в видимой части спектра приближенно можно считать, что $I_{лм} = 1 / 683 \text{ Вт}$.

Солнечные модули могут генерировать электричество в течение 20 и более лет. Износ происходит в основном от воздействия окружающей среды. Хорошо смонтированная солнечная батарея будет надежным, тихим и чистым источником энергии в течение многих лет.

Преобразование солнечной энергии в электрическую осуществляется сегодня, в том числе и с помощью фотоэлектрических преобразователей – ФЭП. Материалом для них служит один из самых распространенных в земной коре элементов – кремний, а «топливом» – бесплатные солнечные лучи. Как стационарные источники электричества, фотоэлектрические станции привлекательны для районов, не обеспеченных электричеством от централизованной энергосистемы. Установка солнечных модулей выгодна там, где расход энергии незначителен, а проводка электросетей требует немалых затрат.

Конечно, скептики могут заявить, что солнечная энергия в связи с ее цикличностью (день – ночь) и, особенно, сезонностью для многих районов, достаточно экзотична. И это в известной степени верно. В этом случае на помощь приходит применение ветрофотоэнергетических систем.

Максимальные значения скорости ветра наблюдаются в осенне-зимний период, когда поступление солнечной энергии уменьшается, а летом отсутствие ветра вполне компенсируется солнечной энергией.

Производство солнечных элементов в мире сегодня превышает 500 Мвт ежегодно. Если в использовании солнечной энергии в промышленных масштабах еще много проблем, то в повседневный быт многих и многих миллионов людей гелиосистемы вошли прочно и навсегда (рис. 3.1).

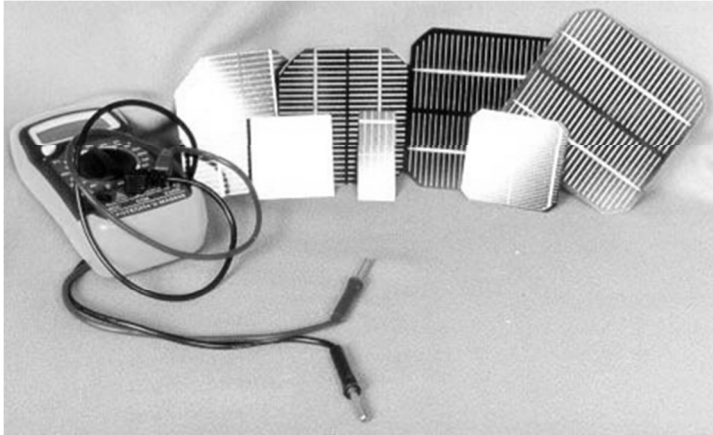


Рис. 3.1. Общий вид солнечных фотоэлементов и прибора мультиметра

Фотоэлектрические станции (ФЭС) идеальны для путешествий, в вариантах мобильного использования, имея ФЭС, вы можете стать энергетически независимым и наслаждаться комфортом всюду, где есть солнечный свет. При этом абсолютно бесшумно и безвредно для окружающей среды, без вредных отходов или выбросов.

Места отдыха, оборудованные солнечными элементами, свободны от шума и запаха дизелей, которые приходится включать, чтобы иметь электричество. Фотоэлектрические станции могут быть применены для питания релейных радиокommunikаций. Фотоэлектрические модули могут обеспечить катодную защиту металлоконструкций, обеспечить работу знаков водной навигации, водоподъемных установок, бытовой радиоаппаратуры, а также осуществить заряд аккумуляторных батарей для каких бы то ни было других целей. В качестве интересного использования можно привести пример электроизгороди, предназначенной для выпаса скота. Источником энергии для генератора импульсного напряжения в электроизгороди служит солнечный модуль мощностью 3 Вт, размером 200 x 240 мм. Его мощности хватает на обеспечение нормальной работы изгороди, покрывающей площадь 4 га, а также зарядки аккумулятора для работы изгороди в ночное время.

Солнечные электростанции могут быть использованы не только для решения локальных задач, но также и глобальных проблем энергетики.

В США, например, существует несколько экспериментальных ФЭС мощностью от 0,3 Мвт до 6,5 Мвт, работающих на энергосистему. Центром развития солнечной энергетики в США можно считать Сакра-

менто. Там фотоэлектрические панели установлены на крышах домов, зоопарка, стоянок автомобилей и даже церквей. Администрация города обещает превратить регион в «Силиконовую долину гелиоиндустрии». В Европе, в частности, в Германии действует правительственная программа, предоставляющая налоговые льготы производителям солнечных батарей, монтируемых на крышах домов. Фотоэлектрические преобразователи обладают значительными потенциальными преимуществами:

- не имеют движущихся частей, что значительно снижает стоимость обслуживания;
- срок службы будет достигать, вероятно, 100 лет при незначительном снижении эксплуатационных характеристик (проблема не в самих преобразователях, а в герметизирующих материалах);
- не требуют высокой квалификации персонала;
- эффективно используют как прямое, так и рассеянное (диффузное) излучение;
- пригодны для создания установок практически любой мощности.

Кремниевые солнечные элементы являются нелинейными устройствами и их поведение нельзя описать простой формулой типа закона Ома. Вместо нее для объяснения характеристик элемента можно пользоваться семейством простых для понимания кривых – вольтамперных характеристик (ВАХ) на рис. 3.2.

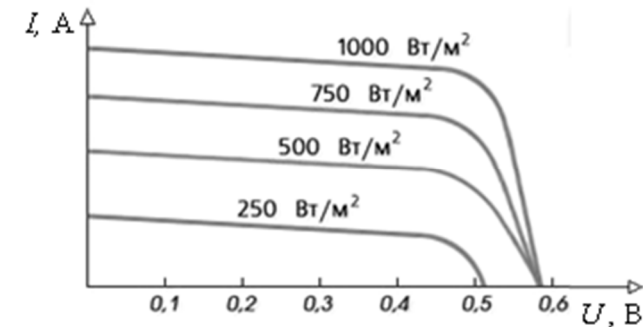


Рис. 3.2. Вольтамперные характеристики ФЭ

Напряжение холостого хода, генерируемое одним элементом, слегка изменяется при переходе от одного элемента к другому в одной партии и от одной фирмы изготовителя к другой и составляет около 0,6 В. Эта величина не зависит от размеров элемента. По иному обстоит дело с током. Он зави-

сит от интенсивности света и размера элемента, под которым подразумевается площадь его поверхности.

Элемент размером 100·100 мм в 100 раз превосходит элемент размером 10·10 мм и, следовательно, он при той же освещенности выдаст ток в 100 раз больший.

Нагружая элемент, можно построить график зависимости выходной мощности от напряжения, получив нечто подобное изображенному на рис. 3.3.

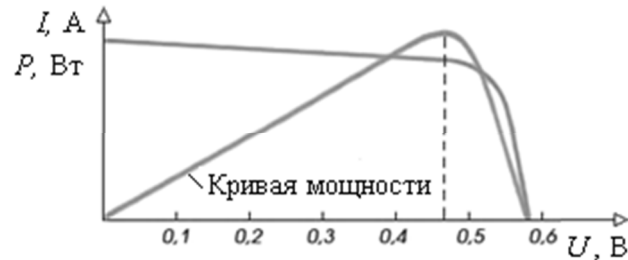


Рис. 3.3. График зависимости выходной мощности от напряжения ФЭ

Пиковая мощность соответствует напряжению около 0,47 В. Таким образом, чтобы правильно оценить качество солнечного элемента, а также ради сравнения элементов между собой в одинаковых условиях, необходимо нагрузить его так, чтобы выходное напряжение равнялось 0,47 В. После того, как солнечные элементы подобраны для работы, необходимо их спаять. Серийные элементы снабжены токосъемными сетками, которые предназначены для припайки к ним проводников.

Батареи можно составлять в любой желаемой комбинации. Простейшей батареей является цепочка из последовательно включенных элементов. Можно также соединить параллельно цепочки, получив так называемое последовательно-параллельное соединение.

Важным моментом работы солнечных элементов является их температурный режим. При нагреве элемента на один градус выше 25 °С он теряет в напряжении 0,002 В, т. е. 0,4 % / градус. На рис. 3.4 приведено семейство кривых ВАХ для температур 25 °С и 60 °С.

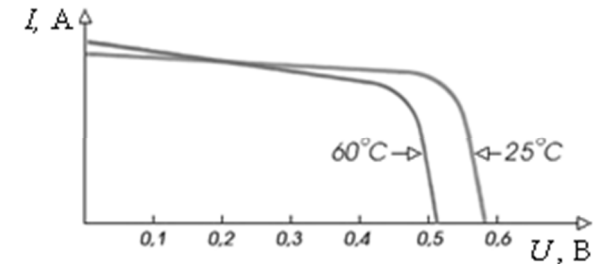


Рис. 3.4. Семейство кривых ВАХ для температур 25 °С и 60 °С

В яркий солнечный день элементы нагреваются до 60–70 °С теряя 0,07–0,09 В каждый. Это и является основной причиной снижения КПД солнечных элементов, приводя к падению напряжения, генерируемого элементом.

КПД обычного солнечного элемента в настоящее время колеблется в пределах 10–16 %. Это значит, что элемент размером 100·100 мм при стандартных условиях может генерировать 1–1,6 Вт.

Стандартными условиями для паспортизации элементов во всем мире признаются следующие:

- освещенность 1000 Вт/м²;
- температура 25 °С;
- спектр АМ 1,5 (солнечный спектр на широте 45°).

Электрические параметры солнечного элемента представляются в виде вольтамперной кривой при стандартных условиях (Standart Test Conditions), т. е., при солнечной радиации 1000 Вт/м², температуре – 25 °С и солнечном спектре на широте 45° (АМ1,5) (рис. 3.5).

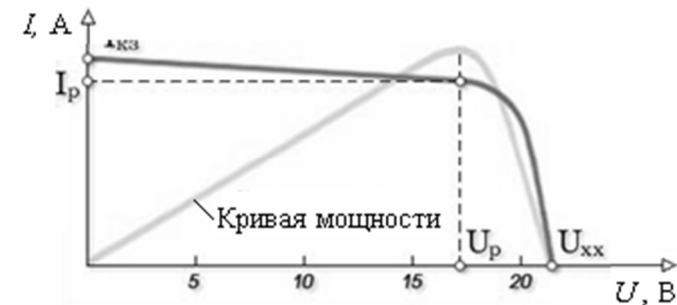


Рис. 3.5. ВАХ и кривая мощности фотоэлемента при STC

Точка пересечения кривой с осью напряжений называется напряжением холостого хода – $U_{хх}$, точка пересечения с осью токов – током короткого замыкания $I_{кз}$.

Максимальная мощность модуля определяется как наибольшая мощность при STC (Standart Test Conditions).

Напряжение, соответствующее максимальной мощности, называется напряжением максимальной мощности (рабочим напряжением U_p), а соответствующий ток – током максимальной мощности (рабочим током I_p).

Значение рабочего напряжения для модуля, состоящего из 36 элементов, таким образом, будет около 16...17 В (0,45...0,47 В на элемент) при 25 °С.

Такой запас по напряжению по сравнению с напряжением полного заряда АКБ (14,4 В) необходим для того, чтобы компенсировать потери в контроллере заряда-разряда АКБ, а в основном – снижение рабочего напряжения модуля при нагреве модуля излучением: температурный коэффициент для кремния составляет около минус 0,4 % / градус (0,002 В / градус для одного элемента).

Следует заметить, что напряжение холостого хода модуля мало зависит от освещенности, в то время как ток короткого замыкания, а соответственно и рабочий ток, прямо пропорциональны освещенности.

Таким образом, при нагреве в реальных условиях работы, модули разогреваются до температуры 60–70 °С, что соответствует смещению точки рабочего напряжения, к примеру, для модуля с рабочим напряжением 17 В со значения 17 В до 13,7–14,4 В (0,38–0,4 В на элемент).

Исходя из всего вышесказанного и надо подходить к расчету числа последовательно соединенных элементов модуля.

Фотоэлектрические системы могут быть автономными (рис. 3.6а) или работающими параллельно с централизованной сетью электроснабжающей организации (рис. 3.6б).

Автономные фотоэлектрические системы (АФЭС)

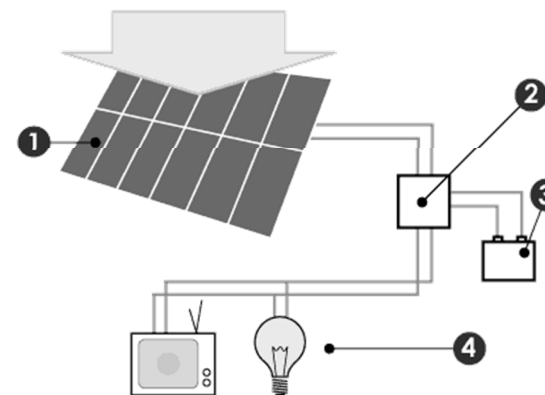


Рис. 3.6а. Конфигурация автономной фотоэлектрической системы.

1 – солнечные панели; 2 – контроллер; 3 – АКБ; 4 – нагрузка

Автономные фотоэлектрические системы используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея.

АФЭС часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио). Более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т. п. Система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры.

Конфигурация автономной ФЭС приведена на рис. 3.6а.

ФЭС, работающая совместно с централизованной сетью электроснабжения

Для согласования работы автономной ФЭС с централизованной сетью служит инвертор.

Инвертор используется для соединения фотоэлектрических панелей с сетью. Существуют также так называемые АС-модули, в которых инвертор встроены на задней части модуля. Солнечные панели могут быть установлены на крыше здания под оптимальным углом наклона с помощью поддерживающей структуры или алюминиевой рамы. Простые системы с АС-модулями и заводскими поддерживающими струк-

турами выпускаются все в более крупных масштабах. Такая конфигурация ФЭС приведена на рис. 3.6б.

Факторы, влияющие на то, как много солнечной энергии будет принимать ФЭС:

- когда будет использоваться ФЭС? Летом? Зимой? Круглый год?
- типичные погодные условия данной местности;
- будет ли ФЭС ориентироваться постоянно на Солнце;
- расположение и угол наклона фотоэлектрических модулей.

Для определения среднемесячного прихода солнечной радиации можно воспользоваться табл. 1 прихода солнечной радиации для г. Бишкек (СНиП. Климатология). Выработка электроэнергии солнечной фотоэлектрической батареей (СБ) зависит от угла падения солнечных лучей на СБ. Максимум бывает при угле 90° . При отклонении от этого угла все большее количество лучей отражается, а не поглощается СБ.

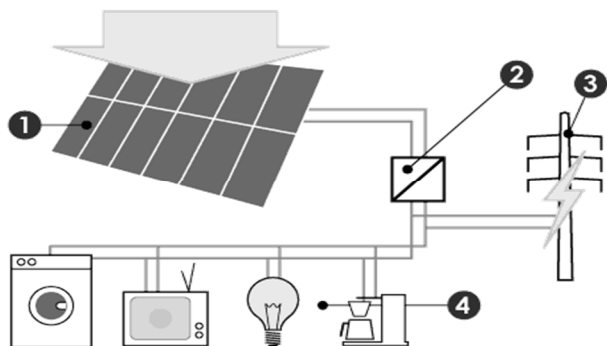


Рис. 3.6б. Конфигурация соединенной с сетью фотоэлектрической системы
1 – солнечные панели; 2 – инвертор; 3 – сеть; 4 – нагрузка

Зимой приход радиации значительно меньше из-за того, что дни короче, облачных дней больше, Солнце стоит ниже на небосклоне. Если использовать ФЭС только летом – принять в расчетах летние значения, если круглый год – принять значения для зимы. Для надежного электроснабжения выбирать из среднемесячных значений наименьшее для периода, в течение которого будет использоваться ФЭС.

Выбранное среднемесячное значение для текущего месяца нужно разделить на число дней в месяце и получить дневное число «пиковых» солнце-часов, которое будет использоваться для расчета ФЭС.

2. Практическая часть Исследование режимов работы ветроэнергетической установки на лабораторном стенде

Основные характеристики фотоэлементов

Каждый фотоэлемент характеризуется рядом параметров и характеристик, определяющих не только его свойства, но и пределы его применимости в технике. К основным из них относятся: вольтамперная, световая, частотная и спектральная чувствительность, КПД.

Нагрузочные *вольтамперные характеристики* (рис. 3.1, 3.2) выражают зависимость тока нагрузки I_n от напряжения на фотоэлементе U_n при включении его в различные нагрузочные сопротивления и постоянной освещенности $I_n = f(U_n)_{E=const}$.

При $R_n = 0$ точка, лежащая на оси токов, соответствует $I_{кз}$, т. к. при $R_n = 0$, $U_n = 0$, $I_n = I_{кз}$, т. е. точка пересечения вольтамперной характеристики с осью токов дает значение $I_{кз}$. При $R_n \rightarrow \infty$ точка, лежащая на оси напряжений, соответствует фото ЭДС, т. к. при $R_n \rightarrow \infty$, $I_n = 0$, $U_n = U_{х.х}$, т. е. точка пересечения вольтамперной характеристики с осью напряжений дает значение фото-ЭДС.

Если освещенный фотоэлемент замкнут на сопротивление R_n , то в цепи установится ток I_n , величина которого определяется качеством фотоэлемента, интенсивностью освещения и величиной этого сопротивления. Вольтамперные характеристики для нескольких значений освещенностей представляют собой ряд кривых, подобных кривой (рис. 3.1), смещенных друг относительно друга.

Световые (интегральные) *характеристики* выражают зависимости фото ЭДС, тока короткого замыкания $I_{кз}$ и тока нагрузки от освещенности или светового потока:

$$U_{к.з} = f(E);$$

$$I_{к.з.} = f(E);$$

$$I_n = f(E).$$

Зависимость тока $I_{кз}$ ($I_{кз} = I_\phi$) от освещенности в широких пределах освещенности линейна, а характеристики выражающие зависимость тока нагрузки от освещенности не линейны. Нелинейность между током во внешней цепи и освещенностью будет тем больше, чем больше нагрузочное сопротивление, что ограничивает применение фотоэлементов для некоторых фотометрических измерений.

Коэффициент полезного действия (КПД) – отношение мощности, выделяемой фотоэлементом на нагрузке, к падающему световому потоку

$$\eta = \frac{I_n \cdot U}{E},$$

где U – напряжение на фотоэлементе, В;

I_n – ток нагрузки, А;

E – ЭДС фотоэлемента, В.

Расчет показывает, что оптимальный КПД при использовании солнечного излучения можно получить, если применять полупроводник с шириной запрещенной зоны $\Delta E = 1.5 \text{ эВ}$. При этом можно достичь теоретического КПД в 25 %. Теоретический предел КПД для кремниевого фотоэлемента ($\Delta E = 1,12 \text{ эВ}$) составляет 22–23 %. Реальные кремниевые солнечные батареи имеют КПД около 13 %. Энергия теряется на отражение от поверхности (20 %), на фото электрически неактивное поглощение (10–20 %), на рекомбинацию созданных светом пар носителей (до 25 %) и т. д.

Описание работы

Лабораторная работа выполняется на стенде (рис. 3.7), собранным по схеме электрической принципиальной (рис. 3.8).

Солнечная батарея БС-4-6 закреплена снаружи на стальной мачте и приводится во вращение по азимуту специальным электродвигателем РД-09. Управление поворотом солнечной батареи производится с помощью релейно-контакторной аппаратуры, состоящей из контакторов направления К1 и К2. Угол наклона солнечной батареи к горизонту составляет 56° . В крайних положениях поворота батареи стоят ограничители – конечные выключатели поворота ВК_в и ВК_н, ограничивающие угол поворота солнечной батареи. Угол поворота равен 120° . Управление поворотом батареи осуществляется тумблерами ТВ_в и ТВ_н, сигнализация крайних положений батареи и работы электродвигателя РД-09 осуществляется сигнальными лампами соответственно ЛК₁, ЛК₂ и Л_в, Л_н.

Питание схемы управления производится от сети переменного тока напряжением 220 В включением тумблера ТВ1.

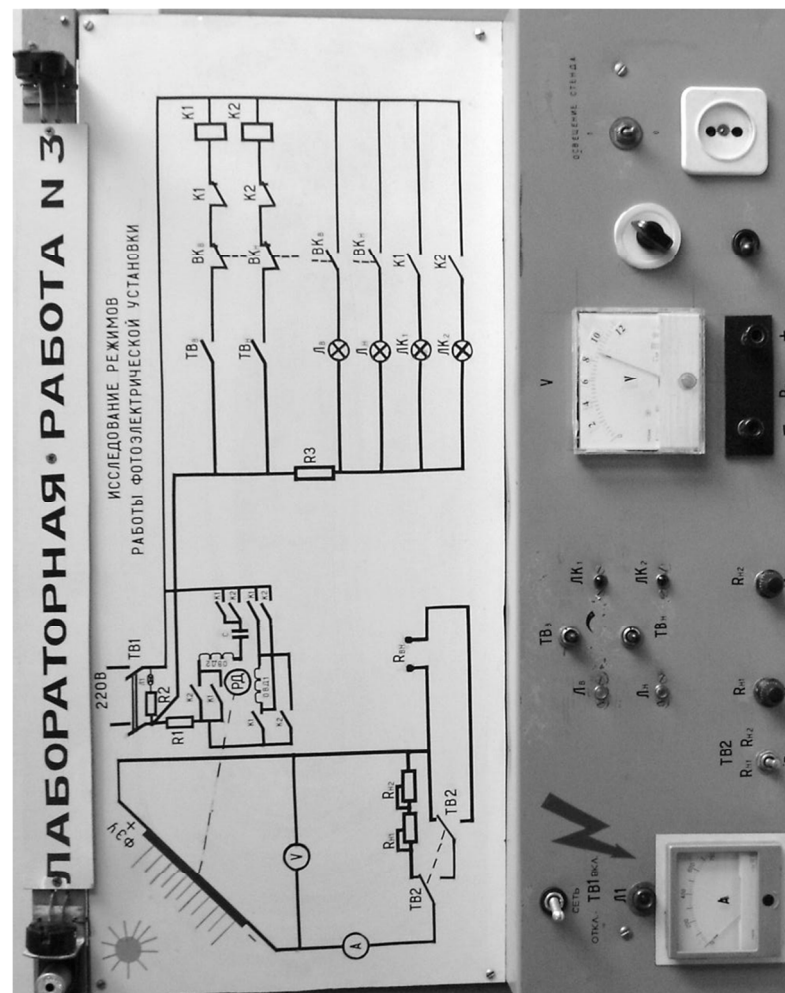


Рис. 3.7. Лабораторный стенд ФЭУ

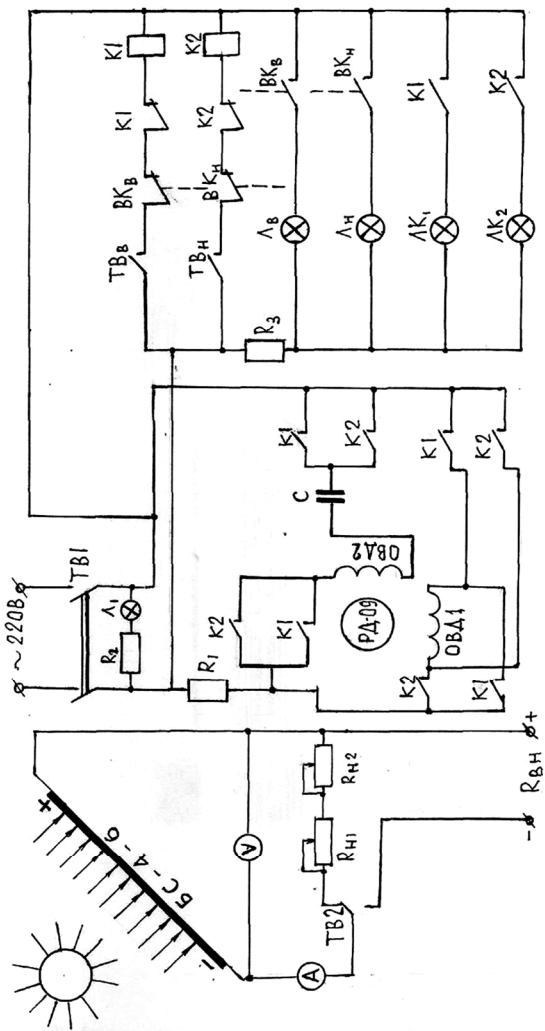


Рис. 3.8. Принципиальная электрическая схема стенда ФЭУ

Нагрузкой для солнечной батареи могут быть потенциометры $R_{н1}$ и $R_{н2}$ или внешняя нагрузка $R_{вн}$, в качестве которой могут быть аккумуляторы калькуляторов, мобильных телефонов, радиоаппаратуры, измерительных приборов и т. п. Избирательность нагрузки осуществляется с помощью тумблера ТВ2. Контроль электрических параметров при работе солнечной батареи осуществляется с помощью амперметра А и вольтметра V.

Снятие вольт-амперных характеристик солнечной батареи при различной освещенности искусственным освещением выполняется на стенде собранного по принципиальной электрической схеме (рис. 3.9).

Включение люминесцентных ламп Л1–Л8 попарно осуществляется с помощью тумблеров управления освещением Т1–Т4. Таким образом, можно получить 4 ступени освещения солнечной батареи. Нагрузка и контроль параметров работы солнечной батареи осуществляется аналогично способу контроля при солнечном освещении. При искусственном освещении на стенде использованы аналогичные солнечные батареи БС-4-6 в количестве 4 штук, поскольку это освещение значительно слабее солнечного.

Батарея состоит из закрепленных в одном корпусе и защищенных от атмосферных воздействий модулей-фотопреобразователей в количестве 16 штук из монокристаллического кремния.

Включение схемы под напряжение осуществляется включением вилки штепсельного разъема питающего стенд шнура в розетку щитка питания лаборатории. Включением тумблера ТВ1 на лицевой панели стенда подается питание на схему управления (загорается сигнальная лампа Л1). Тумблер ТВ2 при этом включается в положение « $R_{вн}$ ». Стенд готов к работе.

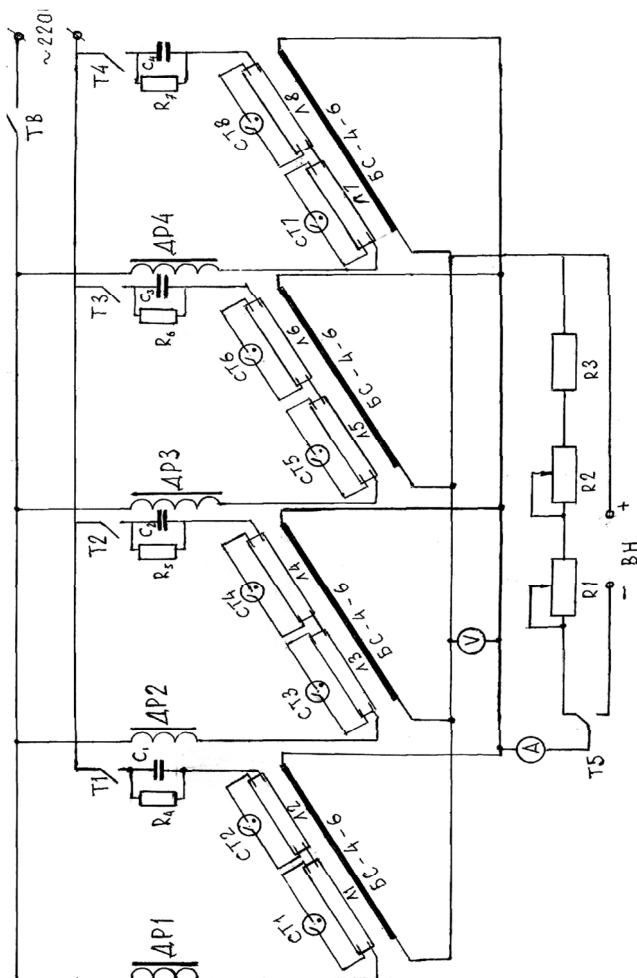


Рис. 3.9. Принципиальная электрическая схема стенда ФЭУ при искусственном освещении

Описание используемых приборов

Солнечные батареи

Солнечная фотоэлектрическая батарея БС-4-6, работающая на принципе прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока.

Техническая характеристика солнечной батареи СБ-4-6 приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Техническая характеристика солнечной батареи СБ-4-6

Номинальное напряжение, (В)	6
Максимальная мощность, P (Вт), не менее	4
Ток максимальной мощности, I (А), не менее	0,7
Напряжение максимальной мощности, U (В), не менее	12
Ток короткого замыкания, (А), не менее	0,75
Напряжение холостого хода, (В), не менее	12
<i>Параметры приведены для стандартных условий испытаний:</i>	
Интенсивность солнечного излучения 1000 Вт/м ²	
Спектральное распределение излучения при AM=1,5	
Температура солнечных элементов (25±2)°C	
<i>Технические характеристики:</i>	
Длина (мм), не более	285
Ширина (мм), не более	225
Толщина (мм), не более	10
Вес (кг), не более	0,92
<i>Рабочие условия эксплуатации:</i>	
Температурный диапазон	от – 50° С до + 70° С
Относительная влажность	до 100 %
Градостойкость	град 40 мм/скорость 15 м/с
Срок службы батареи не менее	20 лет

Цифровой измеритель освещенности люксметр AR823

Цифровой люксметр AR-823 (рис. 3.10) предназначен для измерения освещенности в диапазоне 1 до 200 000 люкс.



Рис. 3.10. Люксметр AR-823

Технические характеристики прибора:

- Диапазон измерения освещенности 0...200 000 люкс.
- Точность $\leq 3\%$; $\pm 4\% \pm 10$ ед. в диапазоне более 10 000 люкс.
- Частота опроса 1,5 раза в секунду.
- Повторяемость $\pm 2\%$.
- Питание батарейка 9В.
- Условия эксплуатации: 0...+50 °C; $\leq 80\%$ RH без конденсации влаги.
- Условия хранения: -10...+50 °C; $\leq 70\%$ RH без конденсации влаги.

Особенности прибора:

- Простота и точность измерений;
- Три поддиапазона измерения;
- Функция удержания показаний;
- Запоминание max / min значений;
- Функция сравнения освещенности.

Работа с прибором:

- 1) Установите батарейку 9 В в соответствующее отделение на задней стороне прибора, соблюдая полярность.
- 2) Снимите защитную крышку со светочувствительного сенсора и нажмите кнопку ON/OFF для начала измерений.
- 3) Выберите желаемые единицы измерения освещенности с помощью кнопки Lux/Fc.
- 4) Выберите поддиапазон измерения, нажимая кнопку Range:
1-й: 0...2 000 люкс (Показания x 1);
2-й: 2 000...20 000 люкс (Показания x 10);
3-й: 2 0000...200 000 люкс (Показания x 100).

Если значение освещенности окажется за пределами выбранного поддиапазона, на экране появится индикатор OL.

- 5) Для просмотра max/min значений последовательно нажимайте кнопку MAX/MIN, на экране сначала появится индикатор MAX HOLD и значение максимальной измеренной величины, а затем индикатор MIN HOLD и значение минимальной измеренной величины. Для возврата в обычный режим измерений нажмите кнопку MAX/MIN еще раз. При выключении прибора эти значения не сохраняются.
- 6) Чтобы зафиксировать измеренные данные нажмите кнопку HOLD.
- 7) Функция сравнения освещенности: произведите измерение в нужной точке и нажмите кнопку REL, прибор запомнит это значение. В дальнейшем на основном индикаторе будет отображаться текущее значение освещенности, а на дополнительном – разница между сохраненным и текущим значением.
- 8) Отключение прибора производится нажатием кнопки ON/OFF.
- 9) Если в течение 5 минут с прибором не производят никаких действий, он отключается автоматически.
- 10) Когда на экране появляется изображение разряженной батарейки, пожалуйста, замените ее.

Цифровой мультиметр UT33D

Цифровым мультиметром UT33D измеряется постоянный ток. Красный щуп – гнездо «VΩmA», черный щуп – гнездо «COMЕ», переключатель в положении «A», щупы подключаются в цепь последовательно. Переключатель устанавливается в положение «A (20 m, 200 m)».

Цифровой мультиметр A830L

Измерение постоянного напряжения:

Красный щуп гнездо «VΩmA», черный щуп – гнездо «COMЕ». Переключатель устанавливается в положение V₋. Центральным переключателем «Range» выбираем диапазон измерений (В или мВ). Щупы подключаются параллельно измеряемой цепи.

Магазин сопротивлений

Магазином сопротивлений вводятся в цепь сопротивления с заранее известной величиной:

- При измерении тока в цепь подключается последовательно.
- При измерении напряжения в цепь подключается параллельно.
- Используются переключатели для изменения сопротивления в цепи.

Нагрузочный блок

Нагрузочный блок выполнен панелью, на которой смонтированы несколько групп светодиодов. Пять групп с напряжением 3 В и две группы с напряжением 6 В, переключатель количества светодиодов (количество указано на панели блока), тумблер выбора величины напряжения – 3 или 6 В, клеммы для подключения испытуемого источника постоянного тока, гнезда для осуществления набора различного количества светодиодов при помощи гибких перемычек со штекерами, вольтметр V контроля напряжения.

При помощи переключателя и перемычек со штекерами, вставляемыми в соответствующие гнезда внизу панели, можно подключить к испытуемому источнику различное количество светодиодов:

- от 4 до 64 штук на напряжение 3 В (по 4, 8, 18, 24 или 34 штуки, табл. 3.2);
- от 12 до 28 штук на напряжение 6 В (по 12, 16 или 28 штук, табл. 3.3).

Это позволяет регулировать ток нагрузки в широком диапазоне. Генератор ветроагрегата или панель солнечной фотоэлектрической батареи подключаются к клеммам ± 3 В или ± 6 В. Напряжение контролируется по вольтметру и фиксируется положением тумблера 3 или 6 В.

Техническая характеристика нагрузочного блока приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Техническая характеристика нагрузочного блока

Положение тумблера – 3 В					
Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук	Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук
4	4	4	8	8–34	42
4	4–8	12	18	18	18
4	4–18	22	18	18–24	42
4	4–24	28	18	18–34	52
4	4–34	38	24	24	24
8	8	8	24	24–34	34
8	8–4	12	34	34	34
8	8–18	26	34	34–18–8	60
8	8–24	32	34	34–18–8–4	64

Таблица 3.3

Техническая характеристика нагрузочного блока

Положение тумблера – 6 В		
Положение переключателя	Положение перемычки	Горят светодиоды, штук
12	12	12
12	12–16	28
16	16	16
16	16–12	28

Проведение лабораторной работы

Цель работы: изучение основных физических закономерностей, определяющих свойства и параметры фотоэлементов, исследование вольтамперных и световых характеристик этих приборов.

Ход работы:

1. Соберите установку, принципиальная схема которой приведена на рис. 3.8 и 3.9. Нагрузочный блок подключается к клеммам «ВН» стенда. Далее нагрузку определяют согласно рекомендациям табл. 3.2 и 3.3.

2. Снимите нагрузочную вольтамперную характеристику. Для этого при постоянной освещенности ($E = const$), которая измеряется люксметром, измеряют величину тока I_n в цепи фотоэлемента при изменении R_n от 0 до ∞ . Результаты занесите в табл. 3.4.

Таблица 3.4

R_n , Ом									
I_n , А									
U_n , В (прибор)									
U_n , В									

Вычислите напряжение $U_n = I_n \cdot R_n$ при различных значениях I_n . Постройте график зависимости $I_n = f(U_n)_{E=const}$, по которому определяют $I_{к.з.}$ и $U_{х.х}$. Запишите чему равны эти значения.

3. Снимите световую характеристику. Для этого установите определенное значение R_n , измерьте величину фототока I_n в цепи фотоэлемента при изменении освещенности от электрических ламп стенда, включая разное количество ламп пользуясь переключателями Т₁÷Т₄. Результаты занесите в табл. 3.5.

Таблица 3.5

$E, \text{Вт/м}^2$									
$I_n, \text{А}$									
$U_n, \text{В}$									
$\eta, \%$									

4. По полученным данным при снятии вольтамперных характеристик и световых характеристик найдите КПД при различных сопротивлениях нагрузки $R_n(I_n, U_n)$, освещенности E и S – площади освещаемой части фотоэлемента.

КПД фотоэлемента в видимой части спектра:

$$\eta = \frac{I_n U_n}{ES} \cdot 100 \%$$

Площадь определить, как

$$S = S_{\text{фотоэлемент}} \cdot n, \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{фотоэлемента}} = a \cdot b, \text{ м}^2,$$

где n – количество фотоэлементов;
 a, b – размеры фотоэлемента, м.

Полученные результаты занесите в табл. 3.5.

Постройте графики зависимости $\eta = f(E)_{R_n=const}$.

Примечание: на одном графике отобразите все графики. Сравните и проанализируйте графики.

4. Сделайте выводы по полученным графикам, таблицам и всей работе.

Содержание отчета

В отчете должны быть кратко отражены:

1. Задачи проведения работы.
2. Схема и описание установки.
3. Методика замера параметров.
4. Условия и методика проведения исследований.
5. Журнал наблюдений.
6. Методика обработки опытных данных.
7. Результаты обработки экспериментов.
8. Расчеты по построению характеристик фотоэлементов.
9. Графики с характеристиками фотоэлементов.
10. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие полупроводниковые материалы используются в ФЭУ?
2. Что называют «вольтамперной характеристикой» ФЭУ?
3. Дайте определение составляющих уравнения вольтамперной характеристики.
4. Как определить номинальную мощность ФЭУ, имея вольтамперную характеристику?
5. Приведите энергетические схемы, поясняющие работу ФЭУ:
 - а) в режиме холостого хода;
 - б) в режиме нагрузки;
 - в) в режиме короткого замыкания.
6. Какие факторы влияют на КПД ФЭУ?
7. Объясните зависимость КПД ФЭУ от режимов ее работы.
8. Чем измеряется освещенность ФЭУ?
9. Что такое люксметр?
10. Какую физическую единицу называют люменом?
11. Как определить мощность светового потока в ваттах?
12. От чего зависят потери энергии в ФЭУ?
13. Принцип работы полупроводникового кремниевого фотоэлемента.

14. Реальный КПД современных кремниевых фотоэлементов.
15. Теоретический предел КПД для кремниевого фотоэлемента.
16. Световые потери.
17. Энергетические потери?
18. Чем определяется значение КПД фотоэлемента? Какими параметрами?
19. Нарисуйте график и обозначьте точку на графике, которой соответствует ток короткого замыкания $I_{к.з.}$ (при $R_n = 0$).
20. Нарисуйте график и обозначьте точку на графике, которой соответствует фотоЭДС $U_{х.х}$ (при $R_n \rightarrow \infty$).
21. Какое значение дает точка пересечения вольтамперной характеристики с осью напряжений?
22. Какое значение дает точка пересечения вольтамперной характеристики с осью токов?
23. Предназначение люксметра.
24. Назначение солнечной фотоэлектрической батареи.
25. Продолжите фразу: «Солнечная фотоэлектрическая батарея преобразует энергию в».
26. Как определяли площадь солнечной батареи?
27. По какой формуле определяли КПД фотоэлемента? Уметь записать формулу.
28. Что за величина (E , Вт/м²) в лабораторной работе? Как ее измеряли, находили?

Литература

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников: учеб. пособие. М.: Энергия, 1991.
2. Практикум по полупроводникам и полупроводниковым приборам / под ред. К. В. Шалимовой. М.: Высшая школа, 1968. Раздел 4.
3. Лысов В. Ф. Практикум по физике полупроводников / под ред. К. В. Шалимовой. М.: Сов. радио, 1963.
4. Вдовин О. С. Практикум по кристаллофизике и структурному анализу. Саратов: Изд-во СГУ, 1983.
5. Пантелеев В. П., Аккозиев И. А. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: методическое руководство к выполнению лабораторных работ. Бишкек: КРСУ, 2009.

СОДЕРЖАНИЕ

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
1. Ознакомление с заданием и предварительная подготовка к работе	3
2. Ознакомление с работой на месте и сборка схемы проведения опыта	4
3. Включение схемы под напряжение и проведение лабораторной работы	5
4. Отчет о проделанной лабораторной работе.....	7
5. Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.....	9
Литература.....	10

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ)	11
Введение	11

1. Теоретическая часть.

Общие сведения о ветроэнергетических установках	11
Современные ВЭС и особенности их конструкции.....	11
Недостатки ВЭС остаются в прошлом.....	13
Новые решения – новые возможности.....	14
Системы Ветро-Дизель.....	15
ВЭС малой мощности.....	16
Перспективы развития ветроэнергетики	17

2. Практическая часть.

Исследование режимов работы

ветроэнергетической установки на лабораторном стенде	18
Описание используемых приборов на стенде	18
Ветроэнергетическая лабораторная установка	18
Анемометр чашечный МС-13	19
Анемометр крыльчатый АСО-3.....	22
Прибор комбинированный цифровой Ц4313	25
Цифровой мультиметр А830L	25
Цифровой фототахометр-стробоскоп DT-2234A+.....	25

Нагрузочный блок.....	25
Проведение лабораторной работы	27
Содержание отчета	32
Контрольные вопросы	33
Литература.....	33

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ

РАБОТЫ МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (МИКРОГЭС).	34
Введение	34

1. Теоретическая часть	34
Гидродвигатели типа «водяное колесо»	35
Энергия потока воды	38
Мощность на валу гидротурбины	39
Технические характеристики микроГЭС.....	40
Гидроэнергетика Кыргызстана	41

2. Практическая часть.

Исследование режимов работы гидроэнергетической установки (микроГЭС) на лабораторном стенде

Описание используемых приборов на стенде	44
Прибор комбинированный цифровой Щ4313	45
Цифровой мультиметр А830L	45
Цифровой фототахометр-стробоскоп DT-2234A+	45
Нагрузочный блок микроГЭС	45
Автономный генератор МПТ	46
Счетчик расхода воды (ВМ)	46
Секундомер	46
Преобразователь частоты (ПЧ) питающей сети «Toshiba»	47
Проведение лабораторной работы	47
Опыт холостого хода микроГЭС	47
1. Определение потерь в МПТ	47
2. Определение мощности турбины	48
Опыт работы микро-ГЭС под нагрузкой	48
Содержание отчета	51
Контрольные вопросы	52
Литература.....	52

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК (ФЭУ)	53
Введение	53

1. Теоретическая часть

Общие сведения о фотоэлектрических установках.

Современные ФЭУ и особенности их конструкции	53
Общие сведения о солнечных батареях	53
Фотоэлектрический эффект.	
Прямое преобразование солнечной энергии в электрическую энергию	54
Физический принцип работы фотоэлемента	56
Автономные фотоэлектрические системы (АФЭС).....	64
ФЭС, работающая совместно с централизованной сетью электроснабжения	64

2. Практическая часть

Исследование режимов работы

ветроэнергетической установки на лабораторном стенде	66
Основные характеристики фотоэлементов	66
Описание работы	67
Описание используемых приборов	72
Солнечные батареи	72
Цифровой измеритель освещенности люксметр AR823	73
Цифровой мультиметр UT33D.	74
Цифровой мультиметр А830L.	74
Магазин сопротивлений	74
Нагрузочный блок.....	75
Проведение лабораторной работы	76
Содержание отчета	78
Контрольные вопросы	78
Литература.....	79

Составители:
Юрий Павлович Симаков,
Валерий Павлович Пантелеев,
Алексей Михайлович Карих

НЕТРАДИЦИОННЫЕ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Методическое руководство
к выполнению лабораторных работ по дисциплине
Режимы использования установок
нетрадиционной и возобновляемой энергетики

Корректор *А. А. Матвиенко*
Компьютерная верстка – *Ю. Ф. Атаманов*

Подписано в печать 28.12.15.
Формат 60x84¹/₁₆
Офсетная печать. Объем 5,25 п.л.
Тираж 100 экз. Заказ 295

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2