

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

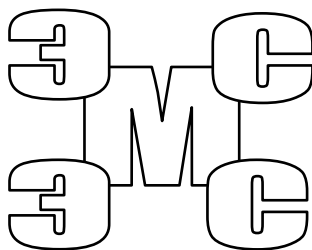
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра электромеханических систем и электроснабжения

211-2021

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых
источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика
и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические
технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06
Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование
сельскохозяйственных предприятий»)
всех форм обучения



Воронеж 2021

УДК 620.9

Составители:

канд. техн. наук А.В. Тикунов
Т.Е. Черных,

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Тикунов, Т.Е. Черных. Воронеж: Изд-во ВГТУ. 2021, 37 с.

Приводится последовательность выполнения лабораторных работ по всем разделам дисциплин «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии»: цель работы, соответствующие теоретические положения, порядок проведения опытов, способы обработки результатов и описание применяемых приборов, а также справочные данные.

Предназначены для студентов направлений подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле «ЛР ВИЭ.pdf».

Ил. 23. Табл. 5. Библиогр.: 2 назв.

УДК 620.9

Рецензент – Л.Н. Титова, канд. техн. наук, доц.
доцент кафедры электромеханических систем
и электроснабжения Воронежского государственного
технического университета

*Издается по решению учебно-методического совета
Воронежского государственного технического университета*

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Исследование конструкции и особенностей работы ветроэлектрической установки ВЭУ-0,12.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Исследование энергетических характеристик ветроприёмников.....	16
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Исследование свойств полупроводникового фотоэлектрического преобразователя	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Исследование способов соединения фотоэлектрических элементов солнечной батареи.....	32
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с рабочими программ дисциплин «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для обучающихся направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий»).

Цель лабораторных работ – закрепление теоретического материала, полученного на лекционных занятиях, а также изучение физических принципов технологий использования возобновляемых источников энергии и основ их практического использования в электроустановках.

В результате выполнения лабораторных работ обучающийся должен:

Уметь:

- использовать на практике различные технологии, использующие в своей основе энергию, полученную от возобновляемых источников (ветер и солнце);
- эксплуатировать установки, использующие возобновляемые источники энергии.

Владеть:

- методами настройки установок, использующих возобновляемые источники энергии, с учетом различных факторов, оказывающих влияние на их производительность.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Перед выполнением лабораторных работ обучающийся должен строго выполнить весь объем домашней подготовки; знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности обучающегося.

При выполнении работ обучающийся должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие расчеты; пользоваться справочной и технической литературой; подготовить ответы на контрольные вопросы.

Изучая теоретическое обоснование, обучающийся должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

В ходе выполнения работ обучающийся обязан соблюдать все требования по технике безопасности.

После выполнения работы обучающийся должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами.

Все схемы и рисунки, сопровождающие выполнение лабораторных работ выполняются в соответствии с требованиями ГОСТ.

Аттестация по дисциплине проводится с учетом выполнения каждой лабораторной работы. При отсутствии обучающегося по неуважительной причине он выполняет работу самостоятельно, в свое личное время и защищает на консультации по указанию преподавателя.

Неаккуратное выполнение лабораторной работы, несоблюдение принятых правил и плохое оформление отчетов и схем могут послужить причиной возвращения работы для доработки.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ВЭУ-0,12

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить конструкцию и принцип действия ветроэнергетической установки, ознакомиться с назначением отдельных узлов и агрегатов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЯСНЕНИЯ

В настоящей лабораторной работе используется комплект серийной маломощной ветроустановка ВЭУ-0,12, производившейся на Воронежском научно-производственном объединении ЭНВО в конце двадцатого столетия.

2.1. Назначение изделия

2.1.1. Установка ветроэнергетическая ВЭУ-0,12 предназначена для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую и может использоваться в качестве автономного источника электроэнергии постоянного тока ($12,5 \pm 2$) В и переменного тока с напряжением прямоугольной формы (220 ± 22) В и частотой (50 ± 2) Гц для питания различных потребителей: радиотелеприемной аппаратуры, осветительных приборов, электрообогревателей, маломощных электронасосов и др.

2.1.2. Условное обозначение установки при заказе: "Установка ветроэнергетическая ВЭУ-0,12. ИЖЕА. 565112. 001 ТУ.

2.1.3. Установка может эксплуатироваться при следующих внешних условиях:

- 1) температура окружающего воздуха от -20 до $+50$ °С;
- 2) относительная влажность до 100 % при температуре 25°С;
- 3) атмосферное давление от 630 до 800 мм РТ. ст.;
- 4) атмосферные осадки (дождь, снег, туман, пыль).

2.2. Технические характеристики

4.2.1 Установка имеет следующие характеристики:

- 1) рабочий диапазон скоростей ветра от 6 до 25 м/с;
- 2) Скорость вращения ветроколеса в рабочем диапазоне скоростей ветра (600 ± 60) об/мин;
- 3) выходное напряжение постоянного тока ($12,5 \pm 2$) В;
- 4) выходное напряжение переменного тока (220 ± 22) В (Форма напряжения прямоугольная);
- 5) частота переменного тока (50 ± 2) Гц;
- 6) максимальная суммарная выходная мощность установки при работе от генератора (в рабочем диапазоне скоростей ветра) - 120 Вт, $\cos \varphi = 0,9$, в том числе по каналу постоянного тока - 60 Вт;

7) максимальная выходная мощность установки при работе от аккумуляторной батареи (6СТ 55М2) в течение 10 часов: при работе только канала переменного тока - 48 Вт, при работе только канала постоянного тока - 60 Вт, при работе обоих каналов - 50 Вт;

8) высота мачты 5, 5 м;

9) диаметр ветроколеса- 2, 5 м;

10) масса установки без аккумуляторной батареи и без упаковки не более 130 кг.

2.2.2. Общий вид установки приведен на рис. 1.1.

2.2.3. По исполнению защиты от поражения электрическим током составные части установки относятся к классам (ГОСТ 12.2.007.075): генератор класс 0I; блок управления - класс 0I; блок сопротивлений класс III.

2.2.4. Предприятие-изготовитель постоянно совершенствует конструкцию установки, поэтому возможны некоторые отличия в конструкции поставляемых установок от описанной в настоящем документе.

2.3. Комплектность

Комплектность установки приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Наименование	Обозначение	Кол-во, шт
1. Ветроколесо	ЕИГА.303449.005	1
2. Стойка генераторная	ЕИГА.562115.011	1
3. Стабилизатор	ЕИГА.301329.011	1
4. Опора	ЕИГА.301329.010	1
5. Растяжка	ЕИГА.301712.003	4
6. Растяжка (трос)	ЕИГА.301712.004	4
7. Блок управления	ЕИГА.468872.013-01	1
8. Блок сопротивлений	ЕИГА.434311.025-01	1
9. Кабель К2	ЕИГА.685631.964	1
10. Кабель К3	ЕИГА.685631.965	1
11. Кабель К4	ЕИГА.685631.981	1
12. ЗИП по ведомости	ЕИГА.303449.005	1
13. Паспорт	ИЖЕА.565112.001.ПС	1

2.4. Устройство и принцип работы

2.4.1. Принцип работы установки (рис. 1.1) заключается в преобразовании ветроколесом (18) кинетической энергии ветра в энергию вращающегося вала, которая далее преобразуется генератором 17 в электрическую энергию.

В рабочем положении стойка генераторная (14) установлена вертикально на опоре (34) и закреплена с помощью анкеров (4) и растяжек (7, 13). Ветроколесо закреплено на валу генератора, а стабилизатор (15) закреплен на поворотной платформе (16). Генератор и поворотная платформа входят в состав стойки генераторной. Стойка генераторная (14), блок управления (10), блок

сопротивлений (12) и аккумуляторная батарея (8) соединены между собой кабелями (9, 11, 23).

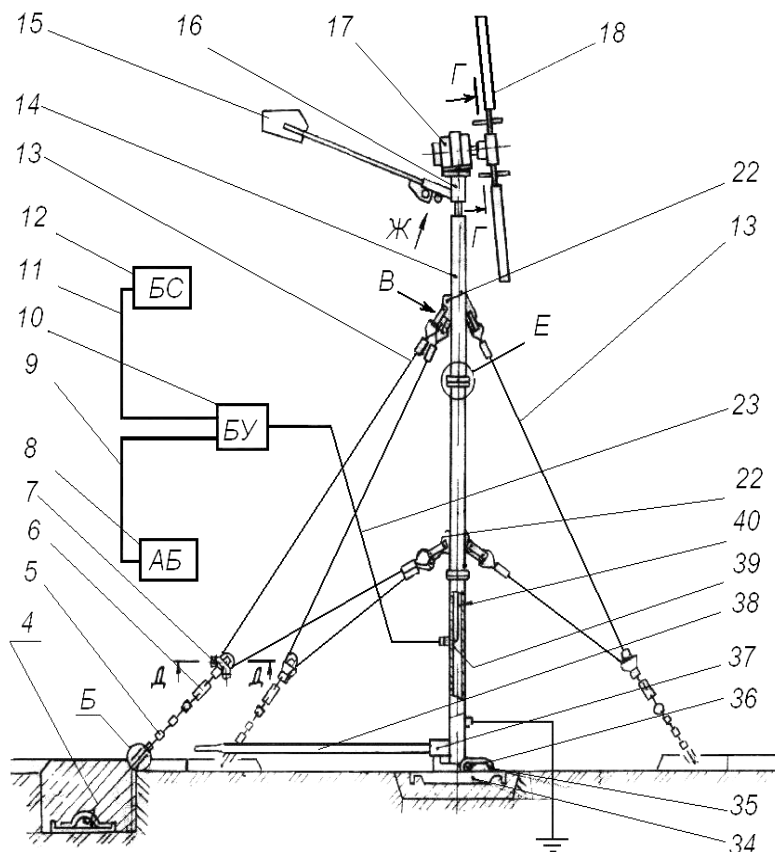


Рис. 1.1. Устройство ВЭУ:

4 – анкер; 5 – цепь; 6 – стяжка; 7 – растяжка; 8 – аккумуляторная батарея; 9 – кабель К3; 10 – блок управления; 11 – кабель К4; 12 – блок сопротивлений; 13 – растяжка; 14 – стойка генераторная; 15 – стабилизатор; 16 – плат-форма поворотная; 17 – синхронный генератор; 18 – ветроколесо; 22 – косынка; 23 – кабель К2; 34 – опора; 35 – скоба; 36 – ось; 37 – патрубок; 38 – стрела; 39 – разъём электрический; 40 – кабель К1.

Набегающий поток воздуха воздействует на стабилизатор и ориентирует поворотную платформу с установленным на ней генератором так, что плоскость вращения ветроколеса, закрепленного на валу генератора устанавливается перпендикулярно направлению ветра. Ветроколесо под воздействием потока воздуха вращает вал генератора, который вырабатывает электроэнергию трехфазного тока с номинальным напряжением 230 В и номинальной частотой 50 Гц. Электроэнергия от генератора по кабелю (40) и соединенному с ним кабелю (23) поступает на блок управления, который обеспечивает формирование и выдачу потребителю постоянного напряжения $(12,5 \pm 2)$ В и однофазного напряжения (220 ± 2) В частотой (50 ± 2) Гц.

2.4.2. Ветроколесо (см. рис. 1.2.) имеет две лопасти и центробежно-аэродинамический регулятор частоты вращения, который облегчает трогание колеса при малой скорости ветра и стабилизирует частоту вращения в рабочем

диапазоне скоростей ветра. Ветроколесо устанавливается на вал генератора и закрепляется клиновым штифтом.

Когда ветроколесо не вращается муфта (15) упирается в стопорное кольцо, а втулка (19) упирается в корпус (2) за счёт действия пружин (16) и (17). При этом угол между плоскостью лопасти (4) и плоскостью вращения ветроколеса (угол установки лопасти) составляет 13...15 градусов (рис. 1.3). Такой угол установки облегчает трогание ветроколеса при малой скорости ветра.

При скорости ветра около 3 м/с ветроколесо начинает вращаться. При вращении ветроколеса концы стержней (7) работают как грузы центробежного регулятора, стремясь разойтись и повернуть лопасти в сторону уменьшения угла установки. Махи (5) через кривошипные стремятся переместить муфту (15) и втулку (19), сжимая пусковую пружину (17). Рабочая пружина (16) при этом не сжимается, т. к. имеет большую жесткость, чем пусковая пружина, и предварительно сжата.

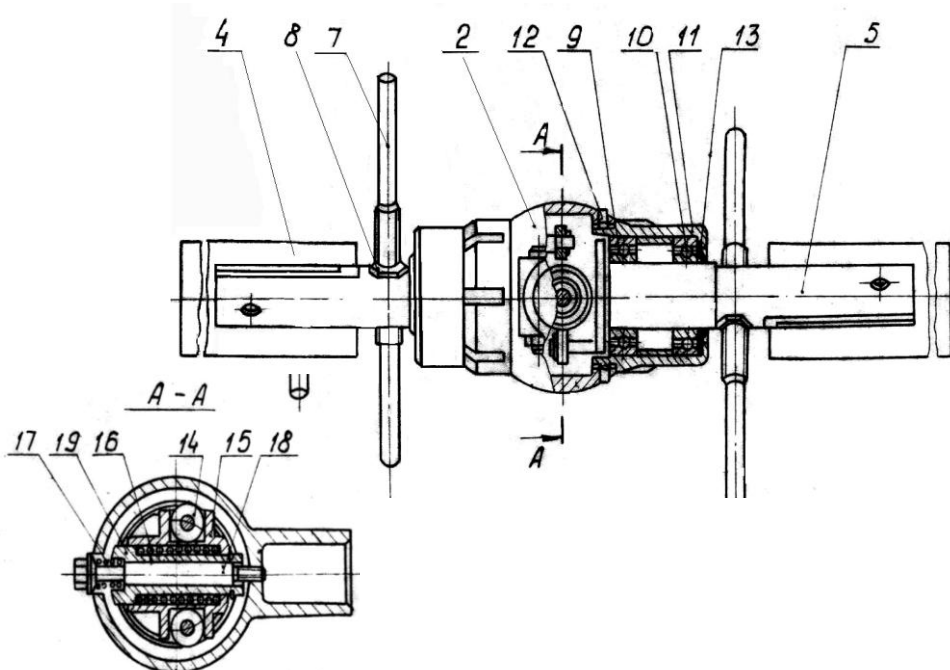


Рис. 1.2. Устройство ступицы ветроколеса:

- 1 – штифт; 2 – корпус регулятора; 3 – гайка; 4 – лопасть;
 5 – мах; 6 – болт; 7 – груз центробежный; 8 – гайка; 9 – подшипник 46206; 10 – подшипник 60206; 11 – стакан; 12 – винт; 13 – шайба; 14 – ролик; 15 – муфта;
 16 – пружина рабочая; 17 – пружина пусковая; 18 – ось; 19 – втулка

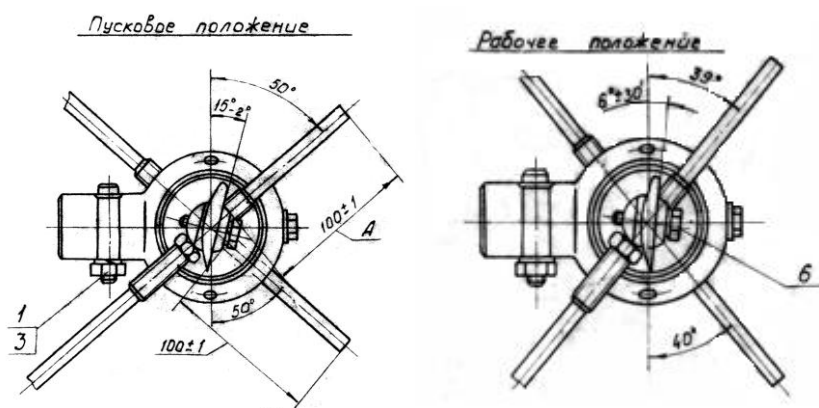


Рис. 1.3. Принцип работы центробежного регулятора

При достижении ветроколесом нижней рабочей скорости вращения 540 об/мин пусковая пружина (17) сжимается полностью, втулка (19) упирается в корпус (2) и лопасть принимает рабочее положение с углом установки 6 градусов. Дальнейшее увеличение скорости ветра и, соответственно, частоты вращения ветроколеса приводит к сжатию рабочей пружины (16) и уменьшению рабочего угла установки лопасти, что в свою очередь приводит к уменьшению крутящего момента и ограничению роста частоты вращения ветроколеса.

2.4.3. В состав генераторной стойки входят: стойка опорно-поворотная, генератор, кабель К1.

Стойка опорно-поворотная состоит из трех трубчатых секции (верхней, средней и нижней), соединенных фланцами. На верхней секции на двух подшипниках закреплена поворотная платформа, на которой установлен генератор. Выходные клеммы генератора соединены с разъемом ШР2, расположенным на нижней секции, кабелем К1, проложенным внутри опорно-поворотной стойки. Поворотная платформа снабжена ограничителем и пружиной с малой жесткостью. Ограничитель предотвращает накручивание кабеля К1 более чем на 1,9 оборота в одну сторону от среднего положения. Пружина возвращает поворотную платформу в среднее положение при отсутствии ветра.

Генератор (Г) предназначен для преобразования энергии вращающегося вала в электрическую энергию. Генератор бесконтактный, трехфазный с возбуждением от постоянных магнитов, расположенных на роторе. Подшипниковые узлы генератора защищены от внешней среды и не требуют обслуживания в процессе эксплуатации. В рабочем диапазоне скоростей вращения (600 ± 60) об/мин генератор вырабатывает трехфазный ток с номинальным напряжением 230 В, номинальной частотой 50 Гц.

2.4.4. Стабилизатор (хвостовое оперение) предназначен для ориентирования плоскости вращения ветроколеса перпендикулярно направлению ветра по принципу флюгера. Он крепится на поворотной платформе стойки генераторной с помощью двух болтов.

2.4.5. Опора предназначена для фиксации основания генераторной стойки на грунте при подъеме, опускании и в процессе эксплуатации. Опора представляет

собой металлическую плиту с зацепами и выступом, предназначенными для фиксации основания стойки генераторной на опоре.

2.4.6. Растяжки предназначены для удержания генераторной стойки в вертикальном положении. Каждая растяжка состоит из металлического каната, цепи, стяжки и элементов крепления к анкерам и стойке генераторной.

2.4.7. Блок сопротивления (БС) предназначен для отбора излишков электроэнергии от генератора при автоматическом регулировании его выходного напряжения и рассеивания этой энергии в окружающем пространстве в виде тепла. Блок состоит из двух плоских резистивных элементов и корпуса, выполняющего роль теплоотвода. На корпусе закреплены складная ручка и разъём для подключения кабеля.

2.4.8. В установке должна использоваться аккумуляторная батарея (АБ, в комплекте установки не поставляется), которая предназначена, для запасания электроэнергии при её избытке и для выдачи электроэнергии в нагрузку потребителя при её недостатке. Рекомендуется применять КИСЛОТНУЮ АККУМУЛЯТОРНУЮ батарею с номинальным напряжением 12,0 В и емкостью не менее 55 А·ч (например 6СТ55М2).

2.4.9. Блок управления (БУ) обеспечивает:

1) питание нагрузок потребителя и заряд аккумуляторной батареи при поступлении достаточной мощности от генератора;

2) использование мощности аккумуляторной батареи для питания нагрузок потребителя при недостатке мощности от генератора;

3) формирование выходного постоянного напряжения, стабилизированного на уровне $(12,5 \pm 2)$ В за счет автоматической подгрузки генератора блоком сопротивлений;

4) формирование выходного переменного однофазного напряжения (220 ± 22) В частотой (50 ± 5) Гц прямоугольной формы;

5) отключение цепи аккумуляторной батареи и выходных цепей при понижении постоянного напряжения до 10,5... 11В или повышении до 14...14,3 В;

6) индикацию режимов работы установки;

7) ручное включение и отключение цепи аккумуляторной батареи и выходных цепей установки.

Устройство и работа БУ, а также работа установки в целом, описывается по структурной схеме ВЭУ-0,12 (рис. 1.4), схема электрических соединений приведена на рис 1.5.

На разъём ШРЗ БУ от Г поступает трёхфазный ток с номинальным значением напряжения 230 В и номинальным значением частоты 50 Гц. Это напряжение подаётся на вход трёхфазного трансформатора ТР, который состоит из трёх однофазных трансформаторов, обмотки которых соединены звездой. Параллельно входу Тр подключены конденсаторы С1...С9, компенсирующие индуктивную составляющую входного сопротивления ТР.

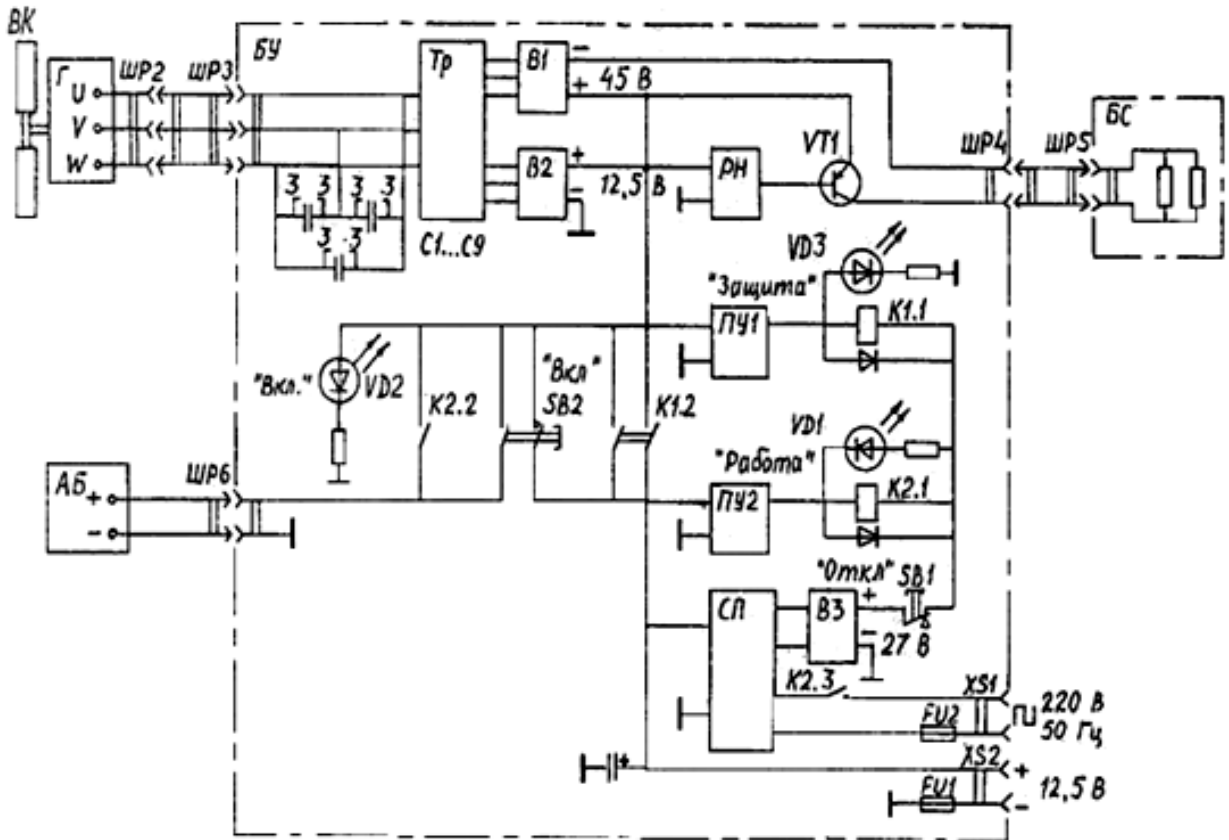


Рис. 1.4. Структурная схема ВЭУ-0,12

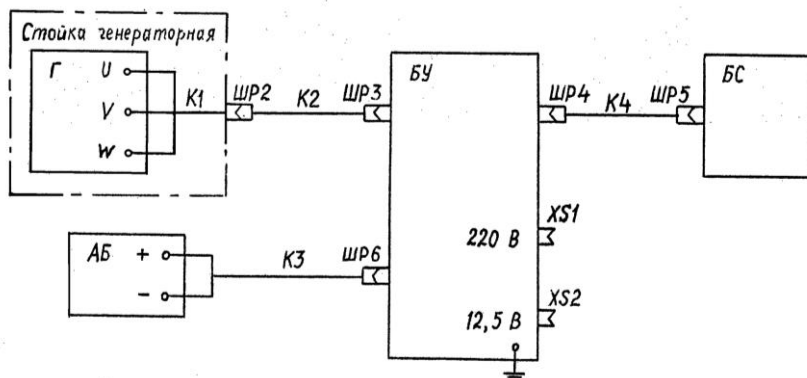


Рис. 1.5. Схема соединений ВЭУ-0,12

Два трёхфазных напряжения с выхода Тр подаются на входы выпрямителей В1 и В2, которые вырабатывают постоянное напряжения 45 В и 12,5 В соответственно. К выходу В2 (12,5 В) подключается вход регулятора напряжения РН, вход порогового элемента ПУ1 и светодиодный индикатор VD2 (Вкл.), а через второй нормально разомкнутый контакт кнопки SBP (Вкл.) АБ автоматически

регулирует выходное напряжение путём увеличения нагрузки на выходе В1 (45 В) при увеличении входного напряжения и уменьшением при уменьшении входного напряжения. В качестве нагрузки используется блок сопротивлений БС, подключённых к выходу через разъём ШРД и регулирующий транзистор VT1, который работает в ключевом режиме. Пороговый элемент ПУ1 управляет светодиодным индикатором VD3 ("Защита") и реле К1. 1. Через нормально разомкнутые контакты К1.2 и первый нормально разомкнутый контакт SB2 к выходу В2 (12,5 В) подключены: вход порогового элемента ПУ2, вход статического преобразователя, СП и выход постоянного тока установки 12,5 В. Пороговый элемент ПУ2 управляет светодиодным индикатором VD1 ("Работа") и Реле К2, через нормально разомкнутые контакты которого к выходу В2 подключены АБ и выход переменного тока установки к выходу переменного тока СП (220±22) В, (50±2) Гц. Обмотки реле К1.1 и К2.1 питаются напряжением 27 В с выхода выпрямителя В3 через нормально замкнутым контакт кнопки SB1 ("Откл.").

При наличии напряжения на выходе В2 или заряженной АБ светится индикатор VD2 ("Вкл."). Установка включается в работу кратковременным нажатием кнопки SB2 ("Вкл."). При этом к выходу В2 через первый контакт SB2 подключаются вход ПУ2, вход СП и выход установки 12,5 В, а через второй АБ. СП вырабатывает переменное напряжение 220 В, появляется постоянное напряжение 27 В на выходе В3 и устанавливается режим работы установки в зависимости от соотношения уровня заряда АБ и напряжения на выходе В2.

Если напряжение на выходе В2 больше напряжения АБ и находится в пределах 10,5...14,5 В, то устанавливается режим работы от Г. При этом ПУ1 включает реле К1.1, а ПУ2 -К2.1; начинает светиться индикатор VD1 ("Работа"). Контакты К1 включаются параллельно первому контакту SB2 и фиксируют включённое состояние установки (самоблокировка). Первый контакт К2.2 включается параллельно второму контакту SB2 и обеспечивает подключение АБ к выходу В2 после отжатия SB2, а ВТОРОЙ контакт К2.3 подключает выход переменного тока установки к выходу переменного тока СП. Электроэнергия поступает с выхода В2 на заряд АБ, на выход постоянного тока установки 12,5 В и через СП, на выход переменного тока установки 220 В, 50 Гц.

Если напряжение на выходе В2 меньше напряжения АБ и напряжение АБ больше 10,5 В(АБ заряжена), то устанавливается режим работы от АБ. При этом процесс включения установки происходит также как в предыдущем случае, но цепь самоблокировки образуется первым контактом К2.2 и контактами К1.2. Электроэнергия поступает от АБ на выход постоянного тока установки 12,5 В и, через СП, на выход переменного тока установки 220В, 50 Гц.

Если ПРИ работе установки от Г скорость ветра станет меньше 6 м/с, то напряжение на выходе В2 будет уменьшаться. Если при этом АБ заряжена, то установка перейдет в режим работы от АБ. Если же АБ разряжена (напряжение АБ меньше или равно 10,5 В), то ПУ2 отключит реле К2 его контакты разомкнутся и отключат АБ от нагрузки и выход переменного тока установки от

выхода СП, погаснет индикатор VD1 ("Работа").

Если при работе установки ветер будет слишком сильным, то напряжение на выходе В2 может увеличиться. При достижении напряжением уровня 14,5 В ПУ отключает реле К1.1, которое своими контактами снимает напряжение со входа ПУ2 входа СП и выхода постоянного тока установки 12,5 В. При этом отключается К2.1 и своими контактами отключит АБ от выхода В2, а выход переменного тока установки от выхода СП; погаснет индикатор VD1.

При попытке включить установку при слабом ветре и разряженной батарее или при слишком сильном ветре ПУ1 и ПУ2 не включают реле К1.1 и К2.1, самоблокировки не происходит и установка не включается. При слишком сильном ветре и нажатой кнопке SB2 («Вкл.») светится индикатор VD3 ("Защита").

Работающая установка отключается кратковременным нажатием кнопки SB1 ("Откл."). При этом снимается постоянное напряжение 27 В с обмоток реле К1.1 и К2.1, разрывается цепь самоблокировки, отключается АБ от выхода В2 и отключается нагрузка потребителя.

2.5. Указания мер безопасности

При подготовке установки (рис. 1.1) к работе и во время работы следует соблюдать следующие меры безопасности:

1) поднимать и опускать установку при скорости ветра не более 6 м/с и температуре не ниже минус 20°С силами не менее двух человек при использовании грузоподъемных механизмов и не менее пяти человек без грузоподъемных механизмов;

2) не влезать на генераторную стойку 14;

3) не эксплуатировать установку при наличии неисправностей, ослаблении крепления растяжек (7, 13) и анкеров (4), повышенной вибрации;

4) не находиться вблизи установки во время работы, бури или грозы;

5) отключить кабель (23) от розетки (39) на генераторной стойке (14) и закрыть розетку защитной крышкой при длительном отсутствии нагрузки и заряжаемой аккумуляторной батареи;

б) стойка генераторная и блок управления должны быть заземлены.

2.6. Подготовка изделия к работе

2.6.1. Выбрать на местности участок для расположения установки. Расстояние до ближайшего препятствия ветровому потоку должно быть не менее 50 метров.

2.6.2. Разметить, и подготовить к бетонированию выбранный участок в соответствии с рис. 1.1.

2.6.3. Забетонировать четыре анкера (4) и опору (34)

2.6.4. Соединить секция генераторной стойки (14) между собой с помощью болтов (31), откидных болтов (30), расположенных на фланцах секций стойки генераторной, гаек (1) и шайб (29).

2.6.5. Завести стержень (ось) (36) нижней секции под скобы (35) опоры,

приподнять верхний конец стойки генераторной на высоту 0,5...1,0 метр и зафиксировать его на данной высоте при помощи любой подставки, обеспечивающей надёжность фиксации.

2.6.6. Проверить вращение поворотной платформы на 1,9 оборота от среднего положения в обе стороны до упора.

2.6.7. Установить ветроколесо (18) на вал генератора (17) и закрепить его при помощи штифта (26), гайки (28) и шайбы (27). Проверить регулятор ветроколеса, повернув вручную лопасти до упора; после отпускания лопасти должны вернуться в исходное положение.

2.6.8. Установить стабилизатор (15) в патрубок поворотной платформы (16) и закрепить его с помощью болтов (2), гаек (1), законтрив их стопорными планками (3).

2.6.9. Завести в пазы роликов (32) тросы растяжек (13), затем концы растяжек (13) закрепить за косынки (22) верхней и средней секций стойки генераторной при помощи пальцев (19), втулок (20) и шплинтов (21).

2.6.10. Закрепить две растяжки (7) за анкера (4), между которыми лежит стойка генераторная, при помощи пальцев (19), втулок (20) и шплинтов (21).

2.6.11. Вставить в патрубок (37) нижней секции стрелу (38).

2.6.12. Зацепить за звенья цепи (5) подъёмный трос и уложить растяжки (7) в вилку стрелы.

2.6.13. Поднять установку в вертикальное положение натяжением подъёмного троса; затем подъёмный трос отцепить;

2.6.14. Закрепить концы растяжек за анкера при помощи пальцев (19), втулок (20) и шплинтов (21).

2.6.15. Произвести предварительное натяжение растяжек за счет звеньев цепи; окончательное натяжение произвести за счет стяжек (6). После натяжения растяжек стяжки законтрить гайками; затем закрепить тросы растяжек (13) на ролике (32) накладками (33), прижимая накладки болтами (24) с шайбами (25) до касания их к роликам,

2.6.16. Заземлить стойку генераторную и блок управления! Минимальное сечение заземляющего проводника, мм²:

– неизолированного: из меди 4; из алюминия - 6;

– изолированного: из меди 1,5; из алюминия 2,5; из стали - 48.

Соединить блоки установки в соответствии с рис. 5. Кабель К2 должен быть подключен последним.

2.6.17. Проверить работоспособность установки.

2.6.18. Демонтаж установки осуществляется в обратном порядке.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Изучить конструкцию и принцип действия ветроэнергетической установки (рис. 1.2), ознакомиться с назначением отдельных узлов и агрегатов.

3.2. Ознакомится с устройством сигнального цифрового анемометра и подготовить его к работе.

3.3. Подготовить ВЭУ к работе: согласно рис. 1.5 произвести соединение узлов ВЭУ при помощи соединительных кабелей.

3.4. Для включения установки подключить к разъемам XS1 или XS2 блока управления допустимую нагрузку и нажать кнопку «Вкл.», а при достаточной силе ветра или заряженной аккумуляторной батарее должны светиться индикаторы "Вкл." и " Работа ".

3.5. Работа установки и изменение режимов работы при изменении силы и направления ветра, уровня зарядки аккумуляторной батареи осуществляется автоматически. Установка не требует непрерывного контроля.

3.6. Для выключения установки нажать кнопку "Откл.". При этом индикаторы погаснут.

3.7. При напряжении на выходе постоянного тока ниже 10,5...11 В или выше 14...14,6 В установка автоматически выключается.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПОДГОТОВКИ

1. Из каких основных частей состоит ВЭУ?
2. Какие функции выполняет мачта (башня) ВЭУ?
3. Для чего предназначена поворотная платформа?
4. Какая конструктивная часть ВЭУ позволяет избежать поломки установки при буревых ветрах?
5. Какие существуют основные схемы работы ВЭУ переменного тока?

Лабораторная работа №2 **Исследование энергетических характеристик ветроприёмников**

1 Цели работы

1.1 Практическое знакомство с методами исследований энергетических характеристик ветроприёмников.

1.2 Получение экспериментальных энергетических характеристик различных ветроприёмников.

2 Краткие теоретические сведения

Преобразование кинетической энергии ветра в полезную механическую мощность осуществляется с помощью специальных устройств, получивших название *ветродвигатели*. Принцип действия подавляющего числа ветродвигателей базируется на аэродинамических свойствах взаимодействующих с воздушным потоком элементов – крыльев или лопастей. В зависимости от конкретного конструктивного исполнения ветродвигатели

обычно делятся на две основные группы: ветроколёса и роторы. В зарубежной литературе ветродвигатели называют **ветротурбинами** или **ветроприёмниками**.

Получаемая механическая энергия может быть использована непосредственно для перемещения транспортных средств (парусные суда, буеры), совершения механической работы (ветряные мельницы и водокачки) или после преобразования в электрическую энергию. Однако следует иметь в виду то, что каждое последующее преобразование энергии увеличивает её потери и уменьшает общий коэффициент полезного действия установки.

2.1 Основные понятия и определения

Ветродвигатель – это аэромеханическое устройство, преобразующее кинетическую энергию свободно движущегося воздушного потока в полезную механическую энергию.

Основной частью каждого ветродвигателя является ветроприёмник (ветряная турбина): ветроколесо для ветродвигателей с горизонтальной осью вращения или ротор для ветродвигателей с вертикальной осью вращения.

Ветротурбина закреплена на основном валу установки, роль которого – передача вращающего момента к промежуточным или исполнительным механизмам (электрогенератор, водяной насос, мельница и т.д.).

Рабочими элементами каждой ветротурбины являются крылья или лопасти (от одного до 56 и более), взаимодействие которых с воздушным потоком создаёт вращающий момент на главном валу.

У ветроколёса корневая часть крыльев соединена со ступицей, установленной на главном валу (рис. 2.1), ось которого расположена в пространстве горизонтально и параллельно направлению ветра. Такие ветроколёса ещё называют крыльчатými, а в качестве синонима слова крыло часто применяется слово лопасть.

Для наиболее эффективной работы, плоскость вращения ветроколеса всегда должна быть сориентирована перпендикулярно к направлению ветра (установка на ветер). Ориентация на ветер ветродвигателя с горизонтальной осью вращения может быть осуществлена при помощи множества различных дополнительных устройств с разными принципами действия.

Современные роторные ветродвигатели (в основном это ротор Савониуса, ротор Дарриуса или ротор Виндсайт) имеют две – три вертикальные лопасти установленные на вертикальном валу (рис. 2.2).

С энергетической точки зрения основными параметрами всех ветротурбин являются: площадь ометаемой поверхности, быстроходность и коэффициент использования энергии ветра. Ометаемая поверхность ветродвигателя определяется его геометрией и размерами.

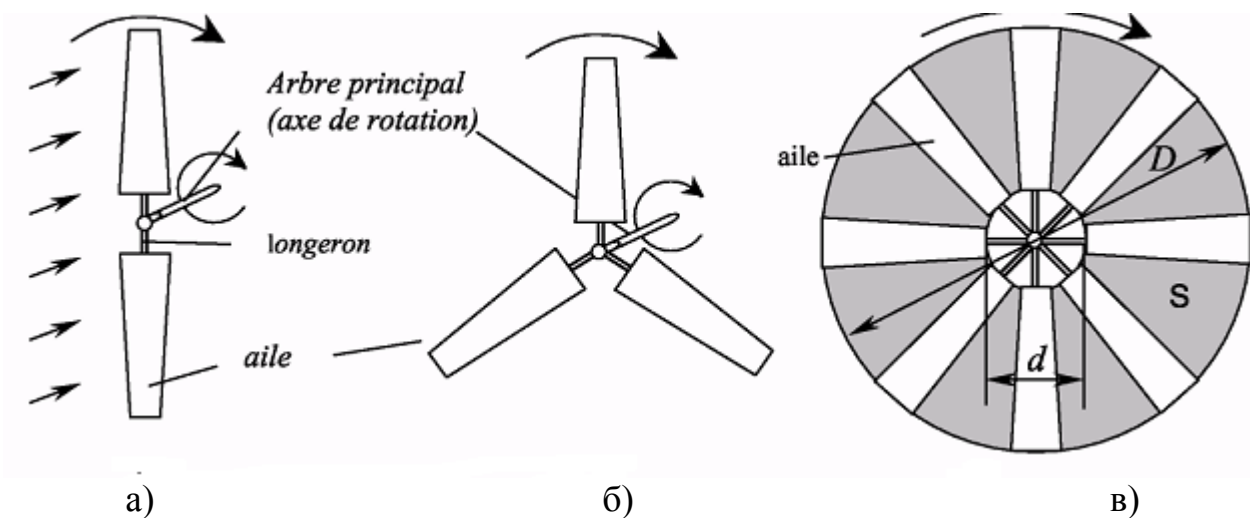


Рис. 2.1. Ветроколёса: двухлопастное (а), трёхлопастное (б), многолопастное (в)

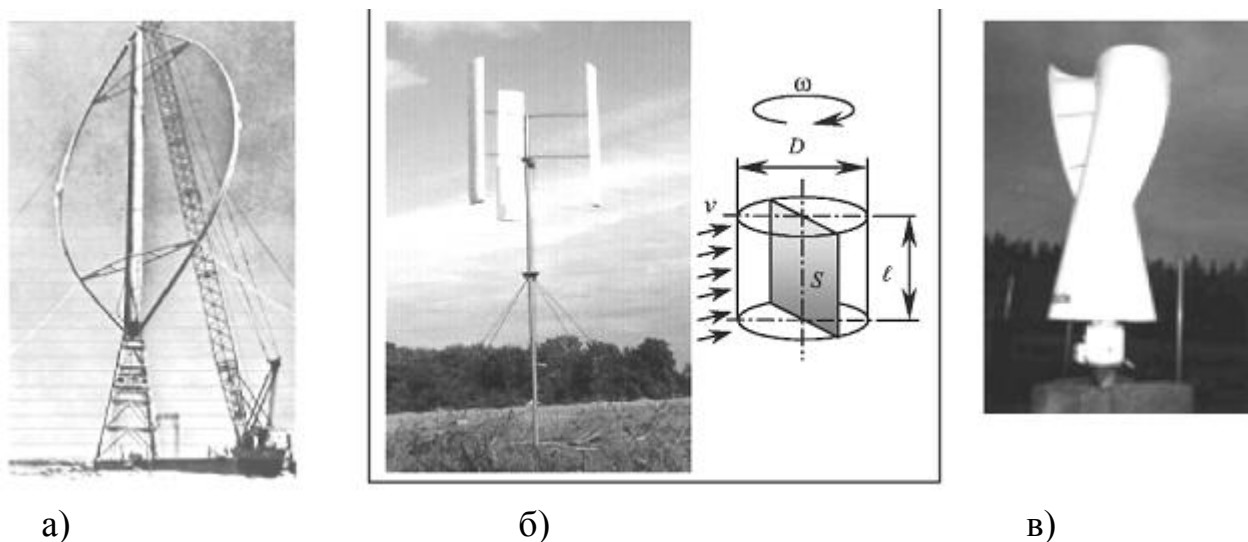


Рис. 2.2. Различные типы современных роторных ветродвигателей: двухлопастной эллипсоидный ротор Дарриуса (а), трёхлопастной прямокрылый ротор Дарриуса (б), двухлопастной ротор Виндсайт (в)

У крыльчатого ветроколеса ометаемая поверхность ограничена траекториями двух оконечностей крыла (внешней и внутренней) описываемыми во время вращения (рис. 2.1, в). Это кольцо, площадь которого рассчитывается по известной формуле:

$$S = \pi(D^2 - d^2)/4, \quad (2.1)$$

где D – внешний диаметр ветроколеса, м;
 d – внутренний диаметр, м.

При оценочных расчётах принимают во внимание только внешний диаметр, откуда:

$$S = \pi D^2/4, \quad (2.2)$$

Роторы имеют ометаемую поверхность с формой аксиального сечения тела вращения. Например, у ротора Дарриуса (рис. 2.2, б) – это прямоугольник, площадь которого

$$S = \ell \times D, \quad (2.3)$$

где ℓ – длина лопасти (высота ротора), м;

D – диаметр ротора, м.

Несложно вывести формулы расчета ометаемой поверхности для других роторов, приведённых на рис. 2.2.

Понятие ометаемой поверхности очень важно, поскольку **только та часть воздушного потока, которая протекает через эту поверхность, вступает во взаимодействие с турбиной**. Таким образом, ометаемая поверхность – это параметр, который в значительной мере определяет количество механической энергии, вырабатываемой ветродвигателем.

• Быстроходность ветродвигателя (параметр функционирования) – это синтетический параметр, дающий возможность классифицировать и сравнивать ветроприёмники с точки зрения их функционирования.

Быстроходность ветродвигателя рассчитывается как отношение тангенциальной скорости, наиболее удалённой от оси вращения точки лопасти, к скорости ветра в соответствии с выражением:

$$\lambda = \omega R/v = 2\pi nR/v, \quad (2.4)$$

где n – частота вращения турбины, об/с;

R – максимальный радиус турбины, м.

В аэродинамике такое соотношение получило название *критерий Струхаля*. Величина быстроходности современных вращающихся ветроприёмников находится в пределах от 0 до 10. В зависимости от величины быстроходности все ветротурбины разделяются на две группы: тихоходные ($\lambda < 4$) и быстроходные ($4 < \lambda < 10$).

• Коэффициент использования энергии ветра (иными словами - аэродинамический коэффициент полезного действия ветротурбины) – это отношение механической энергии (E_2), производимой турбиной за некоторый промежуток времени, к кинетической энергии воздушного потока (E_1), протекающего за то же время через ометаемую ею поверхность:

$$\xi = E_2/E_1 = E_2/(0,5\rho Sv^3). \quad (2.5)$$

В зарубежной практике аналогичным и равным по значению параметром является *коэффициент преобразования* (C_p), определяемый как соотношение мощностей, развиваемых ветром и ветротурбиной.

Величина ξ никогда не превышает единицы в связи с наличием аэродинамических, механических и иных потерь, возникающих в процессе преобразования энергии. Каждая ветротурбина характеризуется кривой (рис. 2.3) $\xi = f(\lambda)$, которую часто называют основной энергетической характеристикой.

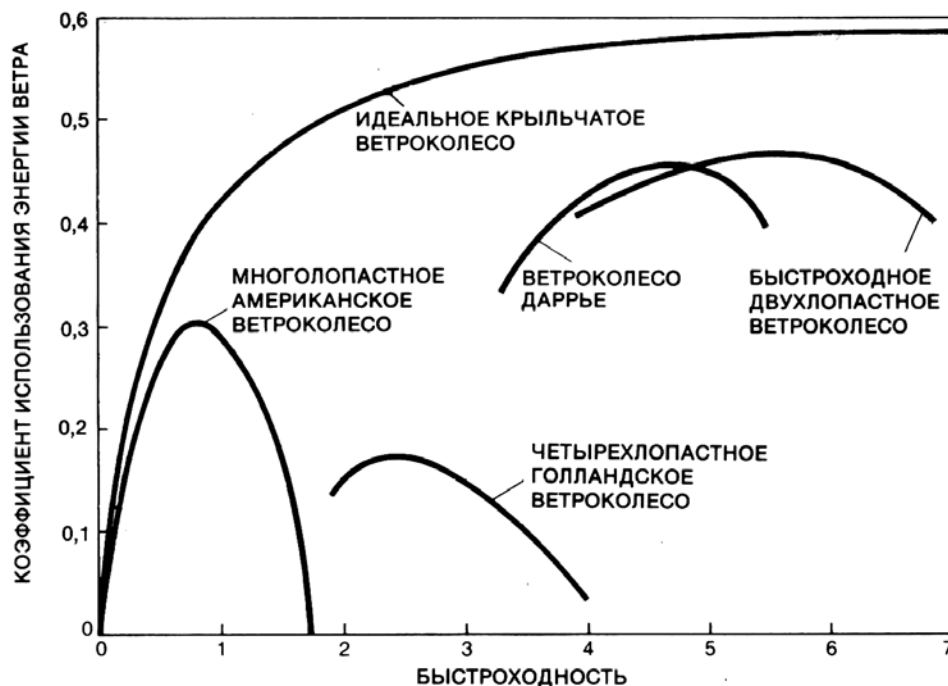


Рис. 2.3. Главные энергетические характеристики распространённых ветроприёмников

Быстроходные ветродвигатели обладают более высоким коэффициентом использования энергии ветра по сравнению с тихоходными. Из рисунка видно, что максимальный коэффициент использования энергии ветра достигается при определённом значении λ . Чтобы обеспечить максимальный коэффициент использования энергии ветра, необходимо регулировать частоту вращения турбины в зависимости от скорости ветра. В таблице 1 приведены значения координат кривой основной энергетической характеристики идеального ветродвигателя, а её вид приведён на рисунке 3 под названием *идеальное крыльчатое ветроколесо*.

Таблица 1

λ	1	2	3	4	5	6	7
ξ	0,44	0,52	0,55	0,57	0,58	0,59	0,591

Для крыльчатых ветроколёс, существует ещё одна характеристика, связанная с коэффициентом использования энергии ветра и быстроходностью.

Это так называемый *коэффициент заполнения*, который рассчитывается по формуле:

$$C = (n_k R L_k) / (\pi R^2), \quad (2.6)$$

где n_k – число крыльев; R – радиус ветроколеса, м; L_k – средняя ширина крыла, м.

Увеличение C ведёт к возрастанию вращающего момента, и к уменьшению коэффициента использования энергии ветра (рис. 2.4).

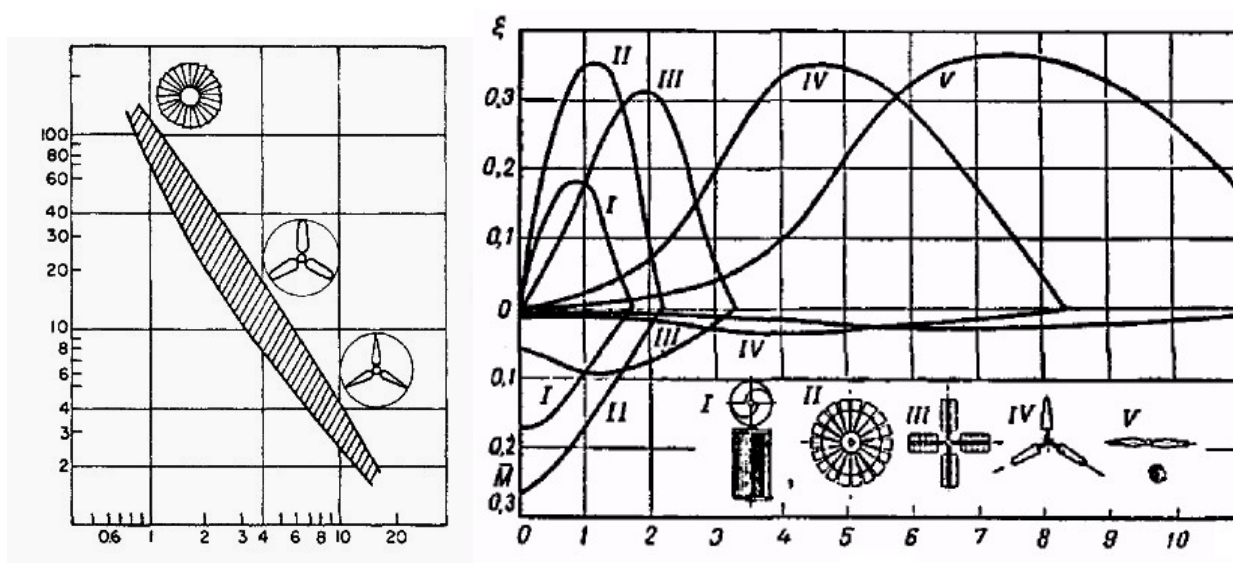


Рис. 2.4. Данные по коэффициенту заполнения, вращающему моменту и коэффициенту использования энергии ветра

Приведённая информация позволяет определить максимальную технически доступную мощность, но не принимает во внимание потери на трение и возникновение турбулентностей в потоке за турбиной.

3 Описание лабораторного оборудования

В данной лабораторной работе используется учебная аэродинамическая труба с комплектом измерительного оборудования, схематично изображённая на рис. 2.5. В основном канале (1) трубы на стойках (2) в подшипниках установлен исследуемый ротор ветроприёмника (3). Ламинатор (4) в виде металлической решетки большой толщины не позволяет воздушному потоку, протекающему по основному каналу закручиваться вокруг своей оси.

Диффузор (5) служит соединительной частью между основным каналом и каналом вентилятора (6). Вентилятор (7) создаёт рабочий и приводится во вращение универсальным коллекторным двигателем (9), установленным на пилонах (8) в канале вентилятора. Регулирование частоты вращения

крыльчатки вентилятора осуществляется с помощью ЛАТРа (10), питаемого от сети (220 В, 50 Гц).

Измерение частоты вращения в ходе исследований осуществляется с помощью электронного счётчика оборотов (11). Датчик счётчика (14) установлен на валу исследуемого ротора. Частоту вращения следует определять в об/с.

Механическая нагрузка на валу ротора создаётся при помощи моментомера (13), путём изменения тока, протекающего по обмоткам его нагрузочного механизма, при помощи регулируемого источника питания (12). Шкала моментомера (нагрузочного устройства) проградуирована в г·см производителем оборудования. Для использования результатов измерений их предварительно следует перевести в единицы системы СИ, то есть в н·м.

Скорость воздушного потока определяется с помощью стандартного чашечного анемометра и измеряется в м/с.

Поскольку скорость воздушного потока в основном канале аэродинамической трубы зависит от частоты вращения приводного двигателя, а эта частота в свою очередь, определяется напряжением питания двигателя, на корпусе ЛАТРа нанесена шкала соответствия положения регулировочной рукоятки скоростям воздушного потока.

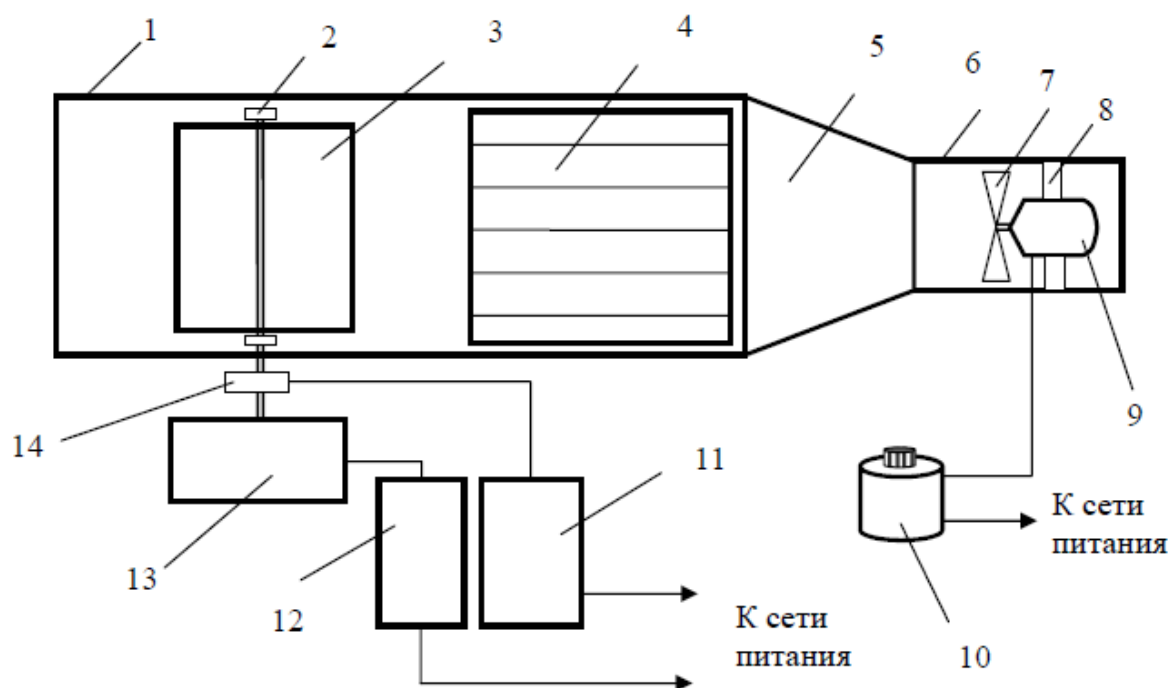


Рис. 2.5. Описание используемого оборудования

4 Порядок выполнения работы

4.1 Ознакомиться с конструкцией стенда.

4.2 Установить в аэродинамическую трубу модель ротора Савониуса и измерить его диаметр (D) и высоту (h).

4.3 Выполнить все необходимые электрические соединения и привести модель ветроколеса во вращение, плавно изменяя напряжение питания на приводе аэродинамической трубы при помощи ЛАТРа.

4.4 Для данного значения скорости ветра проведите измерение момента на валу (M_p) и частоты вращения (n_p) ветроколеса (3...5 измерений).

Регулирование нагрузки на валу ветроколеса осуществляется изменением напряжения питания моментомера. Определение частоты вращения ветроприёмника производится с помощью секундомера и счётчика оборотов.

Результаты измерений заносятся в таблицу 1. Повторить опыт для других скоростей ветра (3...4 раза).

4.5 По полученным в ходе измерения значениям (v , n_p , M_p), используя формулы 1 – 4 рассчитать мощность ветроколеса (P_p), мощность воздушного потока ($P_{вп}$), коэффициент использования энергии ветра (η). Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты измерений и расчётов

№ опыта	v , м/с	n_p , об/с	M_p , гсм	M_p , Н·м	P_p , Вт	$P_{вп}$, Вт	η , о.е.
1							
2							
...							
...							
n							

$$P_p = \omega_p M_p = 2\pi n_p M_p, \quad (2.7)$$

$$P_{вп} = 0.5\rho S v^3, \quad (2.8)$$

$$S = hD, \rho = 1,215 \text{ кг/м}^3 \quad (2.9)$$

$$\xi = P_p / P_{вп}. \quad (2.10)$$

4.6 Построить основную энергетическую характеристику исследуемого ротора, проанализировать её и сделать выводы.

4.7 Повторить пункты 4.3 – 4.6 для других моделей ветроприёмников.

4.8 Провести сравнительный анализ энергетических характеристик исследованных ветроприёмников и сделать выводы.

Контрольные вопросы

5.1 Приведите выражение для расчёта удельной мощности воздушного потока.

5.2 Какие факторы оказывают влияние на плотность воздуха?

5.3 Какие факторы определяют направление ветра на конкретной местности?

5.4 Какие статистические закономерности применяются для описания поведения ветра?

5.6 Как изменяется скорость ветра с высотой над поверхностью земли, каким выражением описывается характер изменения?

5.7 Перечислите основные параметры, характеризующие ветроприёмники в целом.

5.8 Какая зависимость называется основной энергетической характеристикой ветроприёмника?

5.9 По каким признакам классифицируются ветроприёмники?

5.10 В чём заключается принцип действия ветроприёмника дифференциального аэродинамического сопротивления?

5.11 Опишите принцип действия ветроприёмника подъёмной силы.

5.12 Приведите выражение для определения подъёмной силы элемента крыла конечных размеров

5.13 Какие ветроприёмники и почему требуют обязательного наведения на ветер?

5.14 Для чего осуществляется регулирование частоты вращения ветроприёмников?

5.15 Перечислите известные вам способы наведения ветроустановок на ветер.

5.16 Перечислите основные элементы современной крупной (мощностью свыше 600 кВт) ВЭС.

5.17 Назовите основные недостатки ВЭУ с точки зрения экологического воздействия и возможные пути их устранения.

Лабораторная работа №3 **Исследование свойств полупроводникового** **фотоэлектрического преобразователя**

1 Цель работы

1.1 Практическое знакомство с устройством и принципом действия полупроводниковых фотопреобразователей.

1.2 Исследование характеристик полупроводниковых преобразователей.

2 Краткие теоретические сведения

Солнце – самый мощный источник энергии по сравнению со всеми другими, доступными человеку. Полная мощность солнечного излучения выражается цифрой: $4 \cdot 10^{26}$ Вт, или $4 \cdot 10^{14}$ млрд. кВт.

На границе атмосферы на 1 м^2 поверхности Земли, расположенной перпендикулярно солнечным лучам, приходится около $1,4 \text{ кВт}$ солнечной радиации.

Солнечная энергия может использоваться как для производства электроэнергии (точнее говоря, путем преобразования солнечной радиации в электрическую энергию), так и для отопления и горячего водоснабжения.

В настоящее время применяются два способа преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию:

- гелиотермодинамические установки, в которых солнечное излучение, сконцентрированное с помощью системы зеркал, используется для производства пара, который в свою очередь приводит в действие турбогенераторную группу
- полупроводниковые фотовольтаические преобразователи (фотоэлементы и батареи фотоэлементов или фотоэлектрические модули);

Гелиотермодинамические установки представляют собой сложные дорогие комплексы, построенные на основе высоких технологий с применением современных материалов и электронных устройств управления. Однако, их общий коэффициент полезного действия составляет около 10% , и широкого применения они пока не нашли.

Полупроводниковые фотопреобразователи осуществляют прямое преобразование энергии фотонов в электрическую энергию, основанное на свойстве полупроводникового перехода разделять генерируемые носители зарядов.

2.1 Фотовольтаический эффект

При освещении р–п перехода в обеих его областях генерируются электронно-дырочные пары (рис. 3.1).

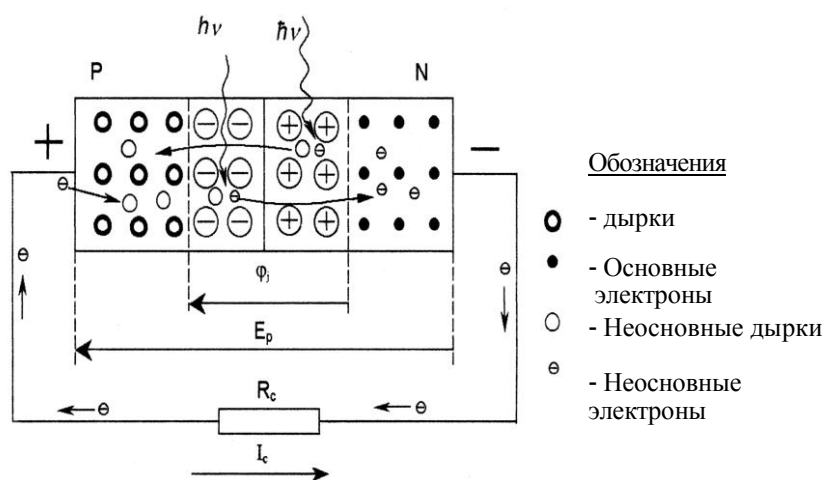


Рис .3.1. Фотоэффект

Дырки, образовавшиеся в зоне Р и электроны, образовавшиеся в зоне N, являются для этих областей основными носителями зарядов. Присоединяясь к

уже имеющимся основным носителям зарядов они несколько увеличивают их концентрацию.

Напротив, дырки, образовавшиеся в зоне N и электроны, образовавшиеся в зоне P, являются для этих зон неосновными носителями. Диффундируя к переходу, они легко его пересекают, поскольку потенциальный барьер не тормозит их своим полем, а наоборот ускоряет.

В результате область P вблизи перехода заряжается положительно, а зона N – отрицательно и между ними возникает разность потенциалов, направленная в прямом направлении. Эта разность потенциалов называется фото-э.д.с.

При замыкании электрической цепи на сопротивление нагрузки только часть неосновных носителей зарядов, сгенерированных под действием света понижает уровень потенциального барьера, то есть создаёт разность потенциалов на выводных концах фотоэлемента. Оставшаяся часть неосновных носителей зарядов создаёт электрический ток, протекающий по внешней цепи.

Фотоэлемент структура которого приведена на рис. 3.2 состоит из ПП P-типа (2) на поверхности которого с помощью добавки создан тонкий слой (1) N-типа. В результате получен P-N-переход (6), расположенный совсем близко к освещаемой поверхности. Задняя поверхность полупроводника P-типа покрыта металлическим контактом (3), который играет роль положительного полюса фотоэлемента. Отрицательный полюс (4) представляет собой металлическую сетку, покрывающую снаружи часть N-типа.

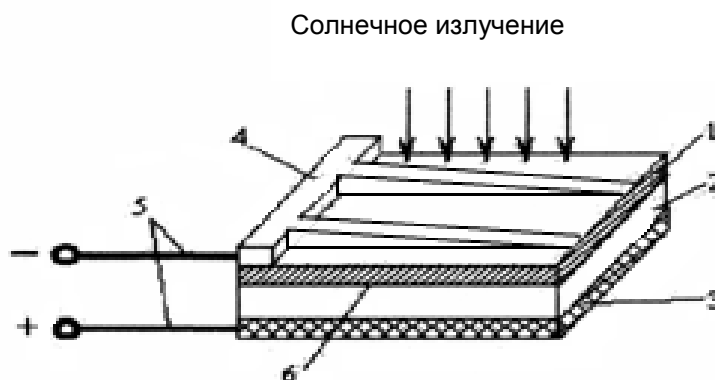


Рис. 3.2. Структура фотоэлемента

Для подключения фотоэлемента к нагрузке предусмотрены соединительные провода (5). Отметим, что элемент содержит только один переход и полученное напряжение обычно не превышает 0,6 В, а величина тока нескольких десятков mA/cm^2 .

Схема замещения фотоэлемента показана на рис. 3.3. Он может быть представлен как источник тока соединённый параллельно с диодом D_i и сопротивлением нагрузки R_c .

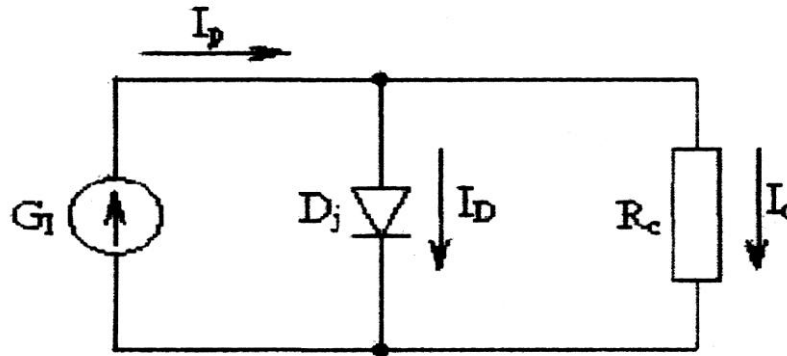


Рис. 3.3. Схема замещения фотоэлемента

Из рисунка видно, что фототок I_p это сумма двух токов: тока диода I_D и тока нагрузки I_C .

$$I_p = I_D + I_C, \quad (3.1)$$

откуда:

$$I_C = I_p - I_D. \quad (3.2)$$

Для диода поляризованного в прямом направлении:

$$I_D = I_s \left(e^{\frac{qV_{pc}}{kT}} - 1 \right), \quad (3.3)$$

где: V_{pc} – фото- э.д.с. нагруженного элемента; I_s – ток насыщения.

Заменяя I_D в (2) на (3) мы получаем:

$$I_C = I_p - I_s \left(e^{\frac{qV_{pc}}{kT}} - 1 \right), \quad (3.4)$$

или

$$V_{pc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_p - I_C}{I_s} - 1 \right). \quad (3.5)$$

Соотношения (3.4 и 3.5) представляют собой вольтамперную характеристику фотоэлемента: $I_C = f(V_{pc})$ или $V_{pc} = f(I_C)$. В этих соотношениях q это заряд электрона (чтобы не спутать с основанием натурального логарифма). Эта характеристика имеет почти прямоугольную форму (рис. 3.4) с двумя замечательными точками:

- Ток короткого замыкания I_{cc} (точка $V_{cc} = 0$; $R_c = 0$);
- напряжение холостого хода V_{co} (точка $I_c = 0$; $R_c = \infty$).
- Принимая во внимание условия:

$$I_C = I_p - I_s \left(e^{\frac{qV_{pc}}{kT}} - 1 \right) = 0 \quad (3.6)$$

- Тогда:

$$I_p / I_s = e^{\frac{qV_{co}}{kT}} \quad (3.7)$$

- откуда:
$$I_p = I_s (e^{\frac{qV_{pc}}{kT}} - 1), \quad (3.8)$$

- и
$$V_{co} = \ln(I + I_p/I_s)kT/q. \quad (3.9)$$

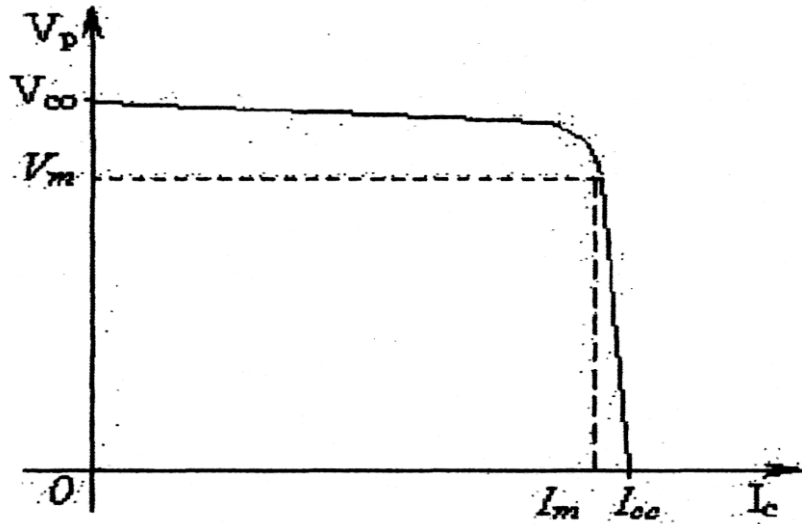


Рис. 3.4. Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Третья замечательная точка характеристики – рабочая точка, в которой мощность, развиваемая фотоэлементом максимальна P_{max} .

В общем виде электрическая мощность: $P = UI$.

Тогда для фотоэлемента:

$$P = V_{pc} (I_p - I_s (e^{\frac{V_{pc}}{V_T}} - 1)), \quad (3.10)$$

где $V_T = kT/q$. Координаты V_m и I_m соответствующие P_{max} определены приравнением нулю производной от отношения P к $V = V_{pc}$:

$$I_p - I_s (e^{\frac{V}{V_T}} - 1) - e^{\frac{V}{V_T}} \times V I_s / V_T = 0;$$

$$I_p / I_s - e^{\frac{V}{V_T}} + 1 - e^{\frac{V}{V_T}} \times V / V_T = 0; \quad 1 + I_p / I_s = (1 + V / V_T) e^{\frac{V}{V_T}}.$$

Заменяя V на V_m получают импликацию, дающую V_m в функции соотношения I_p / I_s для максимальной мощности:

$$1 + I_p / I_s = (1 + V / V_T) e^{\frac{V}{V_T}}. \quad (3.11)$$

Это трансцендентное уравнение, которое решается численными методами. Максимальный ток рассчитан с помощью (4) с заменой V_{pc} на V_m .

2.3 К.П.Д. фотовольтаического преобразования

К.п.д. преобразования определяется в соответствии со следующим выражением:

$$\eta = V_{pc}I_c / NeE_{ph}, \quad (3.12)$$

где $V_{pc}I_c$ – развиваемая электрическая мощность; E_{ph} – средняя энергия фотонов; N – число фотонов падающих на поверхность элемента в течение секунды.

Произведение NeE_{ph} представляет мощность падающего светового потока.

Теоретический к.п.д. фотоэлемента, изготовленного из кремния порядка 60% и зависит от множества факторов, на практике величина к.п.д. находится в диапазоне 7...15%.

Анализ практических потерь в кремниевом фотоэлементе даёт следующие результаты (по Вольфу):

Непоглощённые фотоны	23%
Энергия, потерянная вследствие термализации электронов.....	34%
Различные электрические факторы	25,3%
<u>Суммарные потери</u>	<u>.86%</u>
Полученная энергия.....	14% .

2.4 Влияние освещённости и температуры на вольтамперные характеристики фотоэлементов

Электрический ток, вырабатываемый фотоэлементом (I_p) практически пропорционален падающему световому потоку. Напротив, напряжение (V_{pc}) на клеммах перехода изменяется мало, поскольку определяется как функция разности потенциалов N-P перехода зависящая от материала (для монокристаллического кремния, это порядка 590 мВ при $T_j = 25^\circ\text{C}$). На холостом ходу напряжение практически неощутимо снижается с уменьшением светового потока. Это говорит о том, что:

- оптимальная мощность фотоэлемента (P_{max}) пропорциональна освещённости;
- для разной освещённости оптимальные режимы наблюдаются при весьма близких напряжениях (рис. 3.5).

Не стоит пренебрегать влиянием температуры на ВАХ фотоэлемента (см. рис. 3.6). Для кремния, когда температура повышается, ток возрастает на 0,025 мА/см²/°С в то время как напряжение падает примерно на 2,2 мВ/ °С/на элемент. Это выражается в снижении развиваемой мощности приблизительно на 0,4%/ °С. Влияние рабочей температуры должно учитываться при расчётах систем электроснабжения на базе фотопреобразователей.

В соответствии с международным соглашением принято характеризовать фотоэлемент его пиковой мощностью (в Вт_c). Пиковая мощность это оптимальная мощность, развиваемая фотоэлементом в нормированных условиях: удельная мощность светового потока 1 кВт/м² и температура полупроводникового перехода 25 °С.

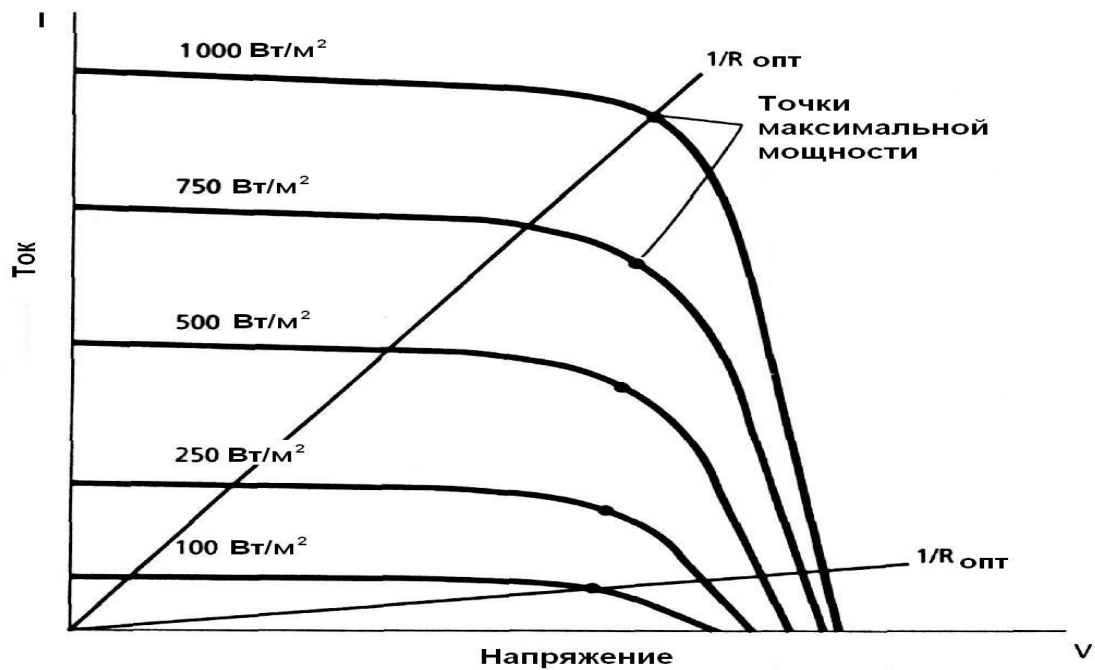


Рис. 3.5. Влияние освещённости на ВАХ фотоэлемента

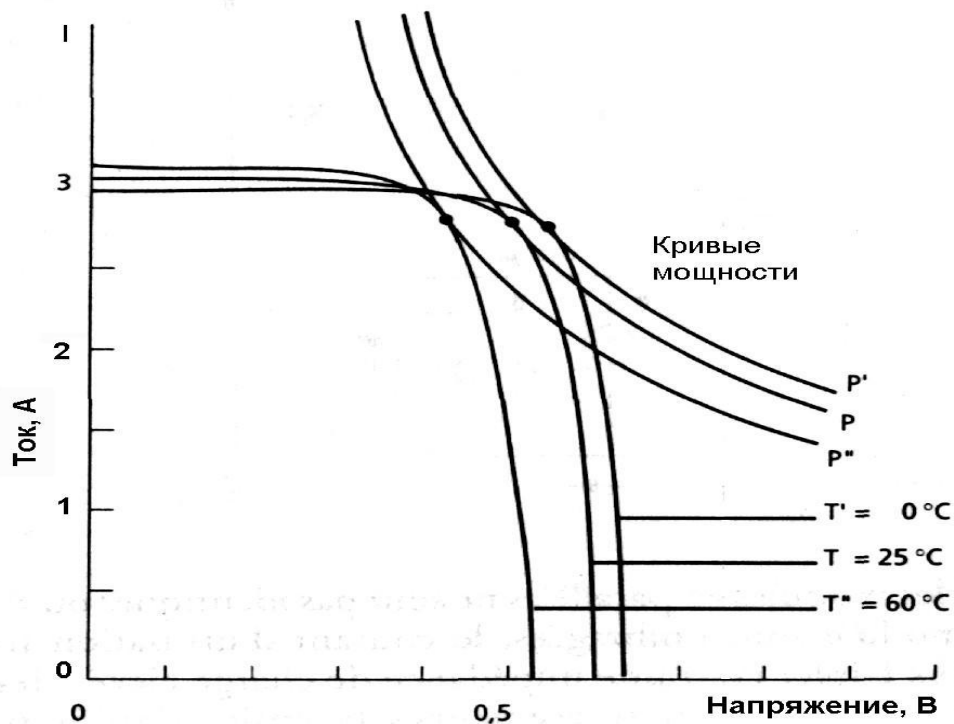


Рис. 3.6. Влияние температуры на ВАХ фотоэлемента

Эффективный к.п.д. преобразования фотоэлемента – это отношение между оптимальной развиваемой мощностью (P_m) и мощностью падающего светового потока при нормированной температуре. Таким образом,

монокристаллический кремниевый фотоэлемент размером 100 мм × 100 мм будет иметь к.п.д. 14% и разовьёт 1,4 Вт_с при напряжении 0,5 В.

3. Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомится с устройством лабораторного стенда и оборудования, необходимого для выполнения лабораторной работы: люксметр, мультиметр М890Д, миллиамперметр, магазин сопротивлений, соединительные провода.

3.2 Подключить фотопреобразователь к стенду.

3.3 Собрать электрическую схему измерений (рис. 3.7)

3.4 Используя люксметр, произвести измерение освещённости от источника света на уровне вертикального положения модуля при максимальном напряжении ЛАТРа. Энергетический эквивалент освещённости в видимой части солнечного спектра: 1000 лк ≈ 10 Вт/м².

3.5 Поместить фотопреобразователь вертикально перед лампой (рабочая поверхность обращена к источнику света) и снять его вольтамперную характеристику $I = f(U)$. Первая точка регистрируется при разомкнутой токовой цепи (точка ХХ) последующие точки регистрируются при ступенчатом уменьшении нагрузочного сопротивления вплоть до нулевого значения (точка КЗ). Результаты измерений занести в таблицу 3.1, общий вид которой приведён ниже.

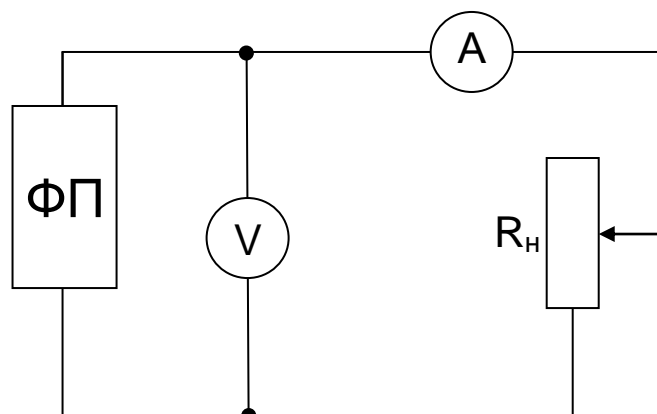


Рис. 3.7. Электрическая схема стенда

Таблица 3.1

	1	2	3	4	5	6	7	8	...
U, В									
I, А									
P=U×I, Вт									

3.6 По результатам измерений произвести расчёт развиваемой мощности фотопреобразователя и определить точку оптимального функционирования (номинального режима).

3.7 Построить ВАХ фотопреобразователя и кривую изменения развиваемой мощности на одном графике, проанализировать формы кривых и сделать выводы.

3.6 Повторить п.п. 3.5 для разных углов наклона (3–5 значений в соответствии с положением стержней на панели стенда) фотопреобразователя по отношению к световому потоку.

3.7 По результатам измерений определить оптимальные точки и, сравнив данные между собой, сделать выводы о влиянии ориентации фотопреобразователя по отношению к световому потоку на его энергетические показатели.

3.8 Повторить п.п. 3.5 для 3-4 величин освещённости. Освещённость изменяется регулированием напряжения на источнике света с помощью ЛАТРа.

3.9 По результатам измерений построить на одном графике семейство ВАХ, проанализировать полученные кривые и сделать выводы о влиянии освещённости на энергетические показатели фотопреобразователя.

Контрольные вопросы

1. Перечислите известные Вам характеристики солнечного излучения.
2. Какие способы преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию вы знаете?
3. Кратко опишите принцип работы полупроводникового фотоэлектрического преобразователя.
4. Перечислите замечательные точки ВАХ полупроводникового фотопреобразователя.
5. Как влияет пространственная ориентация на энергетические показатели полупроводникового фотопреобразователя?
6. Как интенсивность солнечного (или искусственного) излучения влияет на энергетические показатели полупроводникового фотопреобразователя?
7. Как влияет температура ФП на его энергетические показатели?

Лабораторная работа №4 Исследование способов соединения фотоэлектрических элементов солнечной батареи

1 Цель работы

1.1 Ознакомление со способами соединения фотоэлектрических элементов в солнечной батарее.

1.2 Исследование зависимости фотоЭДС полупроводниковых фотопреобразователей от способа соединения элементов.

2 Краткие теоретические сведения

Фотоэлементы или модули, набранные из фотоэлементов, могут быть соединены последовательно и параллельно, чтобы увеличить напряжение и ток. Для придания конструкции жёсткости, обеспечения ударной стойкости и защиты от воздействия окружающей среды вся конструкция защищается стеклянной или пластиковой оболочкой. При этом они устанавливаются в общий корпус и таким образом, получается солнечная батарея.

Обычно номинальное напряжение модуля адаптируется для питания потребителей напряжением 12 В, и, в основном, модуль содержит 36 последовательно соединённых фотоэлементов.

При последовательном соединении фотоэлементов или идентичных модулей, ток в ветви остаётся тем же, а напряжение увеличивается пропорционально количеству фотоэлементов (модулей) участвующих в соединении (рис 4.1).

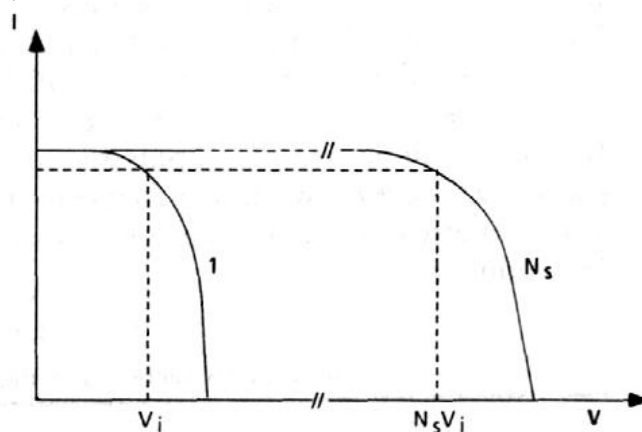


Рис. 4.1. ВАХ солнечной батареи при последовательном соединении фотоэлементов

При соединении одинаковых модулей параллельно, общее напряжение как и напряжения во всех ветвях остаются равными напряжению фотоэлемента, а суммарный ток группы увеличивается пропорционально количеству параллельных ветвей (рис. 4.2).

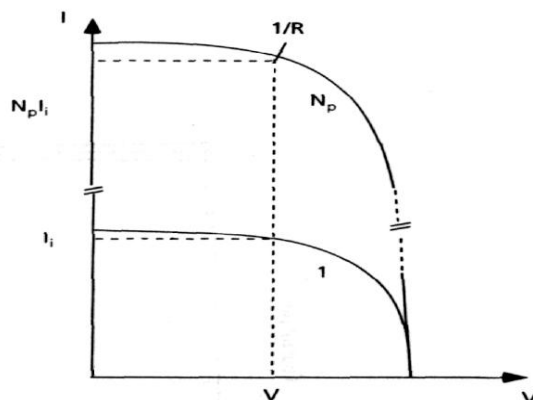


Рис. 4.2. ВАХ солнечной батареи при параллельном соединении фотоэлементов

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомится с устройством лабораторного стенда (рис. 4.3) и оборудования, необходимого для выполнения лабораторной работы.

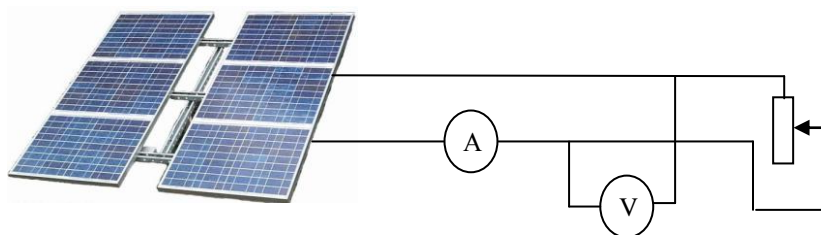


Рис. 4.3 – Принципиальная схема стенда

3.2 Выключателем QF1 подать напряжение на стенд. После чего тумблером S1 включить питание лампы.

3.3 Используя люксметр, произвести измерение освещённости от источника света на уровне вертикального положения модуля.

3.4 Проверить идентичность фотоэлектрических преобразователей, для чего необходимо измерить напряжение, вырабатываемое каждым фотоэлектрическим преобразователем: вольтметр следует подключить к клеммам A_1, B_1 и произвести измерения, после чего повторить измерения для клемм $A_2, B_2, \dots, A_8, B_8$. После проведения измерений питание лампы необходимо отключить.

3.5 Осуществить параллельное соединение фотоэлементов в солнечную батарею согласно рис. 4.4. Собранный батарею подключить к разъему СБ.

3.6 Тумблером S1 включить источник света.

3.7 Снять вольтамперную характеристику $I = f(U)$. Первая точка регистрируется при разомкнутой токовой цепи (точка XX) последующие точки регистрируются при ступенчатом уменьшении нагрузочного сопротивления вплоть до нулевого значения (точка КЗ). Результаты измерений занести в таблицу, общий вид которой приведён ниже.

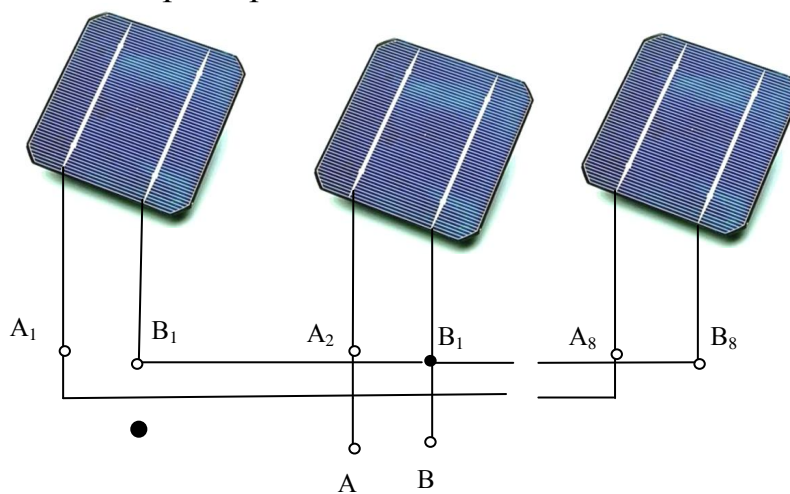


Рис. 4.4 – Схема соединения выводов элементов для образования параллельного соединения элементов батареи

Результаты измерений

	1	2	3	4	5	6	7	8	...
U, В									
I, А									
$P=U \times I$, Вт									

3.8 Осуществить последовательное соединение фотоэлементов в солнечную батарею согласно рис. 4.5.

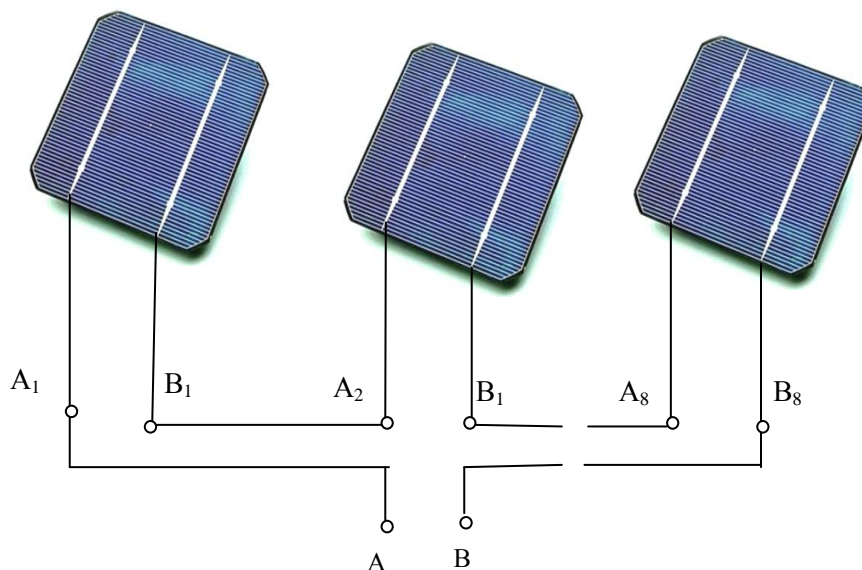


Рис. 4.5. Схема соединения выводов элементов для образования последовательного соединения элементов батареи

3.9 Повторить п.3.6-3.7 для последовательного соединения элементов.

3.10 Осуществить соединения фотоэлементов в солнечную батарею по схеме, представленной на рис. 4.6, то есть параллельно собрать четыре модуля по два последовательно соединенных элемента в каждом.

3.11 Повторить п.3.6 - 3.7 для последовательно-параллельного соединения элементов.

3.12 По результатам измерений построить на одном графике семейство ВАХ, проанализировать полученные кривые и сделать выводы о влиянии способа соединения элементов солнечной батареи на энергетические показатели фотопреобразователя.

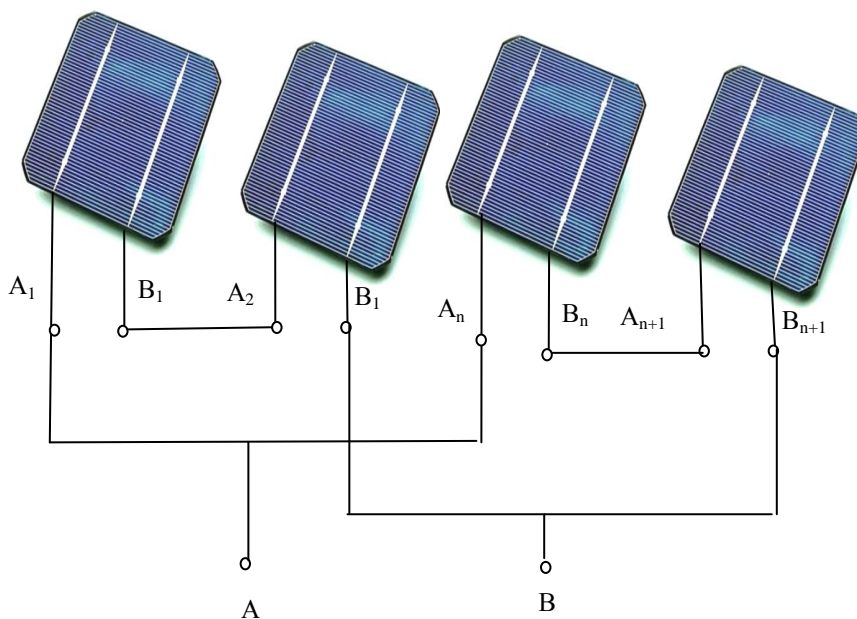


Рис. 4.6. Схема соединения выводов элементов для образования параллельно-последовательного соединения элементов батареи

Контрольные вопросы

1. В каких случаях используют последовательное соединение фотоэлементов в солнечной батарее?
2. В каких случаях используют параллельное соединение фотоэлементов в солнечной батарее?
3. Что происходит если один из последовательно соединенных фотоэлементов затенен или имеет меньшие параметры, по сравнению с остальными?
4. Что происходит если один из параллельно соединенных фотоэлементов затенен или имеет меньшие параметры, по сравнению с остальными?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляков П. Ю. Производство электроэнергии на базе энергии солнечного излучения : учеб. пособие / П. Ю. Беляков. – Воронеж : Междунар. ин-т компьют. технологий, 2008. – 159 с.

2. Беляков П. Ю. Ветроэнергетика: теоретические основы и технические решения : учеб. пособие / П. Ю. Беляков. – Воронеж : Междунар. ин-т компьют. технологий, 2007. – 124 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Системы электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии» для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электроснабжение») и «Энергетические технологии на базе возобновляемых источников энергии» направления 35.03.06 Агроинженерия («Электроснабжение и электрооборудование сельскохозяйственных предприятий») всех форм обучения

Составители:

Тикунов Алексей Владимирович
Черных Татьяна Евгеньевна

Компьютерный набор А.В. Тикунов

Подписано к изданию _____.

Уч.-изд. л. _____

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14