

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К.
Аммосова»

Физико-технический институт
Кафедра «Электроснабжение»

Н.П. Местников, Альзаккар А.М-Н.

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Учебно-методическое пособие:
методические указания к выполнению лабораторных работ и
самостоятельной работы студента

Рекомендовано учебно-методическим советом СВФУ
в качестве курса лекций и практических занятий
для студентов по направлению подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Профиль – Электроснабжение

Якутск 2021 г.

УДК 620.91

ББК 31.6

Утверждено учебно-методическим советом СВФУ

Рецензенты:

Д.В. Рыжков, к.т.н., доцент ИТЭ КГЭУ, г. Казань;

Э.Г. Нуруллин, д.т.н., профессор ИМиТС КазГАУ, ИТЭ КГЭУ, г. Казань

Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н.

Общая энергетика: учебно-методическое пособие: методические указания к выполнению лабораторных работ и самостоятельной работы студента / Н.П. Местников, А.М-Н. Альзаккар – Якутск: Издательство: ООО РИЦ «Офсет»

Пособие содержит теоретические и практические материалы и описание проведения технико-экономических расчетов по дисциплине «Общая энергетика» с учетом внешних условий Арктики и приведением подробных инструкций по ее выполнению, а также краткую теорию об основных положениях ветровой и солнечной энергетики. Представлены основные понятия, характеристики и законы генерации ветровой и солнечной энергетики, а также принципы мониторинга работы их объектов.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Составлен в соответствии с программой дисциплины «Общая энергетика».

При разработке методических указаний использовались материалы отдела электроэнергетики ИФТПС им. В.П. Ларионова СО РАН, Института теплоэнергетики Казанского государственного энергетического университета и Университета Аль-Баас (г. Хомс, Сирия).

ISBN 978-5-91441-326-9

УДК 620.91

ББК 31.6

© Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н., 2021

© Северо-Восточный федеральный университет, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА	5
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	8
1. Основные закономерности и определения системы генерации	8
2. Показатели общих потерь солнечной электростанции	10
3. Основные закономерности и определения системы накопления энергии	11
4. Решение задач	12
РАЗДЕЛ 2. ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА	19
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	22
1. Основные закономерности и определения системы генерации	22
2. Показатели общих потерь ветровой электростанции	25
3. Основные закономерности и определения системы накопления энергии	25
4. Изменение плотности воздуха	27
5. Решение задач	27
6. Инструкции по оформлению самостоятельной работы студента	34
РАЗДЕЛ 3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ.....	35
Порядок выполнения лабораторных работ	35
Образец формы отчета по лабораторной работе	36
Основы теории погрешностей физических измерений	37
Классификация погрешностей прямых измерений	38
Оценка погрешностей прямых измерений при однократных наблюдениях	39
Случайные погрешности	40

Суммарная погрешность прямого измерения	41
Погрешности косвенных измерений	42
Указания к составлению графиков	46
Лабораторная работа №1	49
Лабораторная работа №2	54
Лабораторная работа №3	58
Лабораторная работа №4	62
Лабораторная работа №5	66
Лабораторная работа №6	70
Лабораторная работа №7	74
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	78

РАЗДЕЛ 1. СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Солнечная энергетика — направление альтернативной энергетики, основанное на непосредственном использовании солнечного излучения для получения энергии в каком-либо виде. Солнечная энергетика использует возобновляемый источник энергии и является «экологически чистой», то есть не производящей вредных отходов во время активной фазы использования. Производство энергии с помощью солнечных электростанций хорошо согласовывается с концепцией распределённого производства энергии [1].

Генерация солнечной энергии для питания потребителей производится в солнечных электростанциях с помощью солнечных панелей, систем накопления энергии, преобразователей и инверторов.

Солнечные электростанции (СЭС) – это совокупность силового и вспомогательного оборудования, состоящий из одного или нескольких солнечных модулей и комплектующих (аккумуляторов, преобразователей, контроллеров и прочих). Установки предназначены для получения электроэнергии из солнечных лучей с ее последующим резервированием или подачей в сеть [2]. На рисунке 1 представляется простейшая схема солнечной электростанции, предназначенная для электроснабжения малых потребителей.

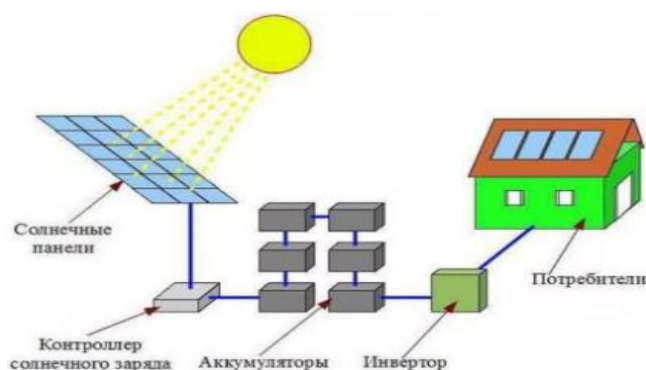


Рисунок 1 – Схема солнечной электростанции

Фотоэлектрические лучи попадают в фотоэлектрические панели, которые в основном направлены под углом 45° градусов к горизонту относительно земной поверхности в целях увеличения вероятности перпендикулярного попадания солнечных лучей в панели. Также в зависимости от времени года изменяется данный угол в пределах 30° - 44° градусов к горизонту [3]. Солнечная энергия, попавшая в панели, преобразуется в электрическую энергию и поступает в контроллер заряда в целях последующего преобразования с переменной на постоянный ток в основном под напряжением 220 Вольт. После преобразования в контроллере заряда электроэнергия поступает в систему накопления энергии (аккумуляторы) в основном при напряжении 12 Вольт с обязательной частотой

тока 50 Гц [17]. При достаточном количестве заряда в системе накопления энергии подается питание в инвертор для подачи электроэнергии к потребителю. В инверторе электроэнергия преобразуется в переменный ток под напряжением 220-230 Вольт, как правило, для малых потребителей с частотой тока 50 Гц при абсолютной погрешности $\pm 0,2$ Гц [4].

Представляется краткий анализ солнечных электростанций с учетом основных преимуществ и недостатков данного источника энергии.

Основные преимущества – использование неиссякаемого источника энергии, высокий потенциал солнечной энергии, постоянство параметров освещенности от солнечного сияния, отсутствие вредного воздействия на окружающую среду и звукового загрязнения, обширная область применения, высокий потенциал для внедрения инновационных технологий [5]. Основные недостатки – высокие капитальные затраты (1 кВт удельной мощности составит от 150 000 рублей), отсутствие генерации при дождливой погоде и ночном времени суток, применение дорогостоящих компонентов и комплектующих и малая плотность генерации [6,7,8].

Таким образом, проектирование, строительство, монтаж, наладка и эксплуатация солнечных электростанций имеют значительные преимущества и относительно небольшие недостатки и данный вид электростанции вполне возможно эффективно эксплуатировать для объектов автономной генерации при малой мощности потребления с учетом значительной возможности внедрения инновационных технологий.

В данных методических указаниях представлены практические задачи, а также примеры решения задач, в рамках дисциплины «Общая энергетика».

В современном обществе существует значительная необходимость в квалифицированных кадрах, где уровень качества подготовки инженера-специалиста является системно-образующим фактором в динамической системе учебного процесса по ОПОП и предполагает логическую последовательность изучения данной дисциплины.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- зарубежный опыт использования ВИЭ, источники ВИЭ способы ее улавливания, накопления и использования в объектах потребления энергии в условиях Арктики.

- конструкции принципы работы и область применения основных составляющих объектов ВИЭ.

- особенности конструкции при учете экологических и технико-экономических причин.

Уметь:

- производить элементарные расчеты гелиоустановок и других устройств, использующих ВИЭ.

Владеть:

- методиками расчета электроэнергетических параметров объектов ВИЭ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решение задач на тему:

«Использование солнечной энергии»

Этапы проведения практической работы

1. Изучить пройденный материал лекционных занятий по дисциплине «Общая энергетика».
2. Выполнить и защитить лабораторные работы №1,2 и 3 в соответствии в сборнике №1 лабораторных работ по дисциплине «Общая энергетика».
3. Приступить к решению задач, используя следующие физико-технические закономерности по солнечной энергетике.

1. Основные закономерности и определения системы генерации

Для генерации электроэнергии от солнечной энергии в основном применяются фотоэлектрические элементы, представленный на рисунке 1.1.

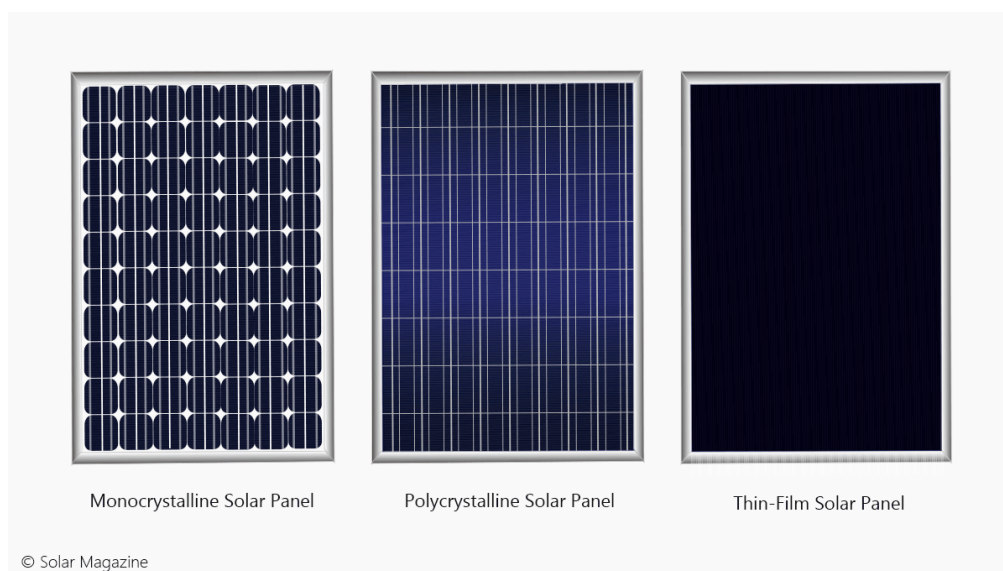


Рисунок 1.1 – Общий вид фотоэлектрических панелей (монокристаллический, поликристаллический и аморфный)

Более детальное описание фотоэлектрической панели представляется на рисунке 1.2.

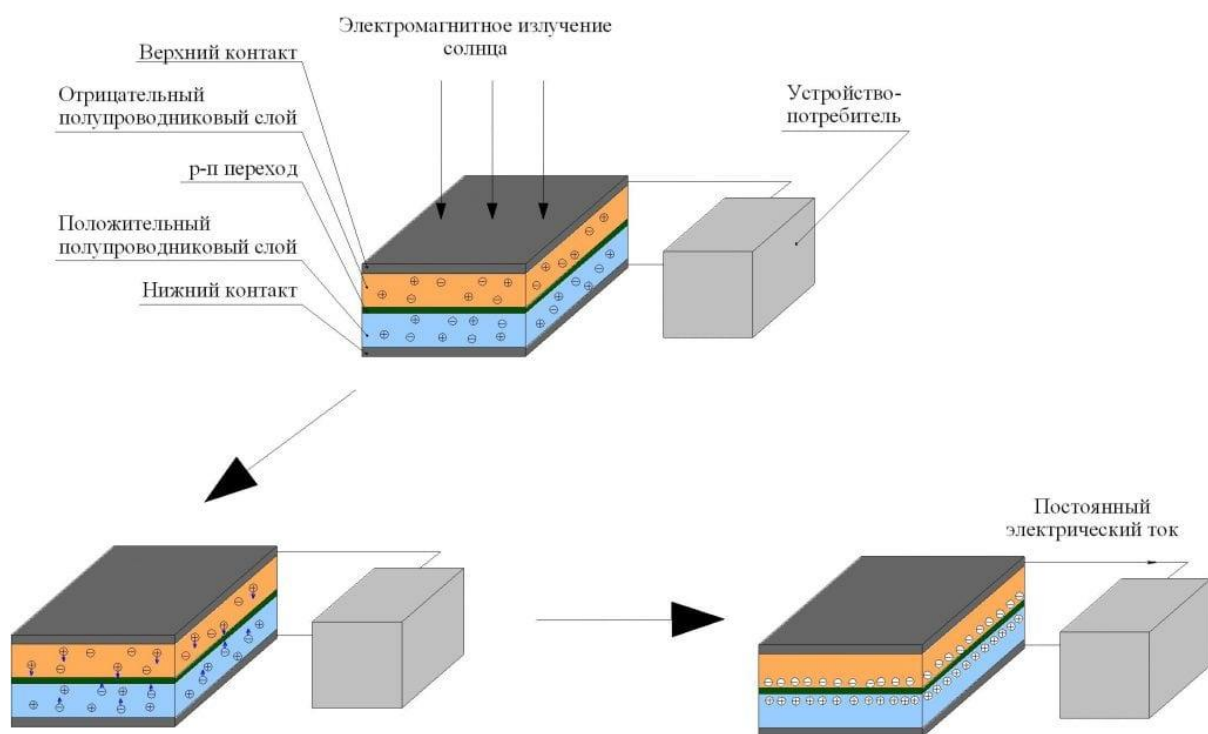


Рисунок 1.2 – Общая структура фотоэлектрической панели с приведением комплектующих внутренней части

Далее представляется формула расчета фотоэлектрических панелей:

$$P_{\text{сп}} = E_{\text{п}} * K * \frac{P_{\text{инс}}}{E_{\text{инс}}} \quad (1)$$

где $P_{\text{сп}}$ – мощность фотоэлектрической панели, Вт; $E_{\text{п}}$ – суточное количество энергии, необходимой для питания всех потребителей, Вт; K – коэффициент потерь, 1,2-1,4; $P_{\text{инс}}$ – мощность инсоляции на земной поверхности на 1 м², 1 кВт/м²; $E_{\text{инс}}$ – табличное значение среднемесячной инсоляции в данном регионе, кВт*ч/м², представленное на рисунке 1.3.

	Солнечная инсоляция, кВт*ч/м ₂	Оптимальный угол наклона, °
Январь	1,65	77
Февраль	1,78	75
Март	3,41	62
Апрель	4,86	45
Май	5,38	24
Июнь	5,64	16
Июль	5,60	21
Август	4,40	34
Сентябрь	3,15	54
Октябрь	2,24	71
Ноябрь	1,09	83
Декабрь	1,45	85
Среднее за год	3,38	53,9

Рисунок 1.3 – Таблица показателя солнечной инсоляции в г. Якутске по информации

Учитывая вышеуказанный рисунок 1.3, отмечается, что угол наклона фотоэлектрической панели относительно поверхности земли необходимо изменять ежемесячно в целях повышения объема выработки электроэнергии.

Также необходимо учесть формулу расчета вырабатываемой энергии солнечными батареями:

$$E_{\text{в}} = \frac{E_{\text{инс}} * P_{\text{сп}}}{P_{\text{инс}} * K} \quad (2)$$

где $E_{\text{инс}}$ – табличное значение среднемесячной инсоляции в данном регионе, $\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$; $E_{\text{в}}$ – вырабатываемая энергия фотоэлектрическими панелями, $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{сутки}$; $P_{\text{сп}}$ – мощность фотоэлектрической панели, Вт ; $P_{\text{инс}}$ – мощность инсоляции на земной поверхности на 1 м^2 , $1 \text{ кВт} / \text{м}^2$; K – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное, обычно принимают равным 1,2.

На рисунке 1.4 представляется общая схема комплектующих солнечной электростанции.



Рисунок 1.4 – Общая схема солнечной электростанции

2. Показатели общих потерь солнечной электростанции

Однако одним из необходимых условий является учет общих потерь энергии при преобразовании солнечного излучения в фотоэлектрической системе, которые включают в себя:

- потери в проводах – 1%.
- потери в инверторе – 3-7%.
- потери связанные с ростом температуры фотоэлементов – 4-8%.
- потери в процессе работы солнечной батареи в период низкого уровня солнечного излучения – 1-3%.
- потери связанные с затенением и загрязнением солнечных батарей – 1-3% (в случае неоптимального ориентирования эти потери могут быть значительно выше).
- потери шунтирующих диодов – 0,5%.

При оптимальной компоновке оборудования эффективность солнечной системы в 85% считается очень хорошей. На практике возможны случаи, когда общие потери могут достигать значения 25-30 % из-за плохого качества оборудования или неправильного подбора компонентов системы и других факторов.

3. Основные закономерности и определения системы накопления энергии

В соответствии с рисунком 1.4 одним из главных комплектующих солнечной электростанции является система накопления энергии, состоящее из группы соединений силовых аккумуляторов. В связи с этим на рисунке 1.5 представляется общий вид системы накопления энергии из литий-ионовых аккумуляторов.



Рисунок 1.4 – Общий вид системы накопления энергии из Li-ion-ых аккумуляторов

На примере существующих объектов солнечной энергетически на территории нашего региона предприятия АО «Сахаэнерго» эксплуатируются в основном свинцовые и гелиевые аккумуляторы, служба работы которых составляет 2-4 года по факту. Также необходимо отметить, что система

накопления энергии должна размещаться в отапливаемых помещениях, где температура помещения должно составлять не менее 15,00°C. В этой связи на рисунке 1.5. представляется прямая зависимость емкости системы накопления энергии от температуры хранения на примере аккумулятора Delta DTM 12200L.

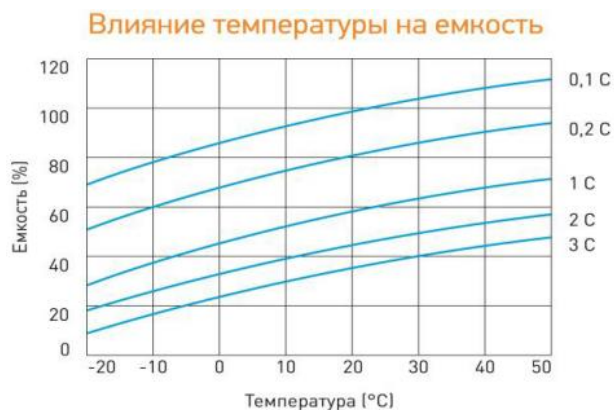


Рисунок 1.5 – Влияние температуры на емкость аккумулятора Delta DTM 12200L

Вместе с тем существуют определенные практические закономерности расчета системы накопления энергии, представленные на следующих формулах.

$$Q_0 = \frac{\sum P_{\text{сут}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}} * K}$$

где $\sum P_{\text{сут}}$ – это суммарное суточное потребление электроэнергии, Вт*ч;
 Q_0 – общая (суммарная) емкость система накопления энергии (силовых аккумуляторов), А*ч; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение выдаваемое инвертором из солнечной электростанции для питания нужд потребителя, Вольт; K – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное, обычно принимают равным 1,2.

4. Решение задач

Задача №1.

Солнечная батарея состоит из (n) фотоэлементов, мощность каждого 1,5 Вт, размер 20·30 см. Определить КПД (η) солнечной батареи, если плотность потока G Вт/м².

В таблице 1.1 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 1.1.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
N, шт	900	1000	1100	1200
G, Вт/м ²	500	450	550	600

Задача №2.

Площадь солнечной батареи S , м², плотность тока i , А/см², плотность излучения G , Вт/м². Определить ЭДС в солнечной батарее при КПД η . В таблице 1.2 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 1.2.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
S , м ²	0,25	0,3	0,4	0,5
G , Вт/м ²	500	450	550	600
I , А/см ²	300	400	500	400
η	0,3	0,25	0,26	0,27

Задача №3.

Небольшая домашняя осветительная система питается от аккумуляторной батареи напряжением U , В. Освещение включается каждый вечер на 4 часа, потребляемый ток I , А. Какой должна быть солнечная батарея, чтобы зарядить аккумулируемую батарею, если известно, что кремниевый элемент имеет ЭДС $E = 0,5$ В при токе 0,5А. Расход энергии на заряд батареи 20 % больше, чем энергия отдаваемая потребителю при разряде.

В таблице 1.3 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 1.3.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
U , В	8	9	10	11
I , А	3,00	2,50	3,00	3,51

Задача №4.

Плотность потока излучения, падающего на солнечную батарею, составляет G , Вт/м², КПД, η %. Какую площадь F должна иметь солнечная батарея с КПД η и мощностью P , Вт.

В таблице 1.4 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 1.4.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$G, \text{Вт/м}^2$	465	505	545	610
$\eta, \%$	20	18,50	19,20	20,05
$P, \text{Вт}$	120	90	105	115

Задача №5.

Небольшая домашняя энергетическая система питается от аккумуляторной батареи, напряжением 12 В, имеющей емкость до 50,00 А*ч. Освещение включается каждый вечер на 3,50 часа, потребляемый ток 3,00 А. Какой должна быть фотоэлектрическая энергетическая система, чтобы заряжать аккумуляторную батарею? Как будут соединены солнечные элементы? Световой поток падающий на батарею – 1 кВт*ч/м².

Задача №6.

На крыше здания размещены солнечные батареи. Длина крыши $L = 45$ м, ширина $S = 12$ м, ЭДС СЭ $V_0 = 0,5$ В. Эффективность СЭ – $2,2 \cdot 10^{-2}$ А/см². Определить экономию электроэнергии летом (время освещения $t = 4$ часа) и зимой ($t = 2,5$ часа).

Задача №6.

Станции полярников для внутренних нужд требуется ежедневно 3,40 кВт*ч энергии. Известно, что суммарная площадь СЭ $S = 21,0$ м², $V_0 = 0,5$ В, эффективность – $2 \cdot 10^{-2}$ А/см². Определить суточное время освещения СЭ.

Задача №7.

Группе фермерских хозяйств ежесуточно необходимо 1100 кВт*ч электроэнергии. Какую площадь должны занимать СЭ при суточном времени освещения СЭ 3 часа. ЭДС СЭ $V_0 = 0,5$ В, эффективность – $2 \cdot 10^{-2}$ А/см².

Задача №8.

Район Х имеет следующие среднегодовые фотоэлектрические ресурсы: мощность светового потока, приходящего на 1 м² – 0,58 кВт; Среднесуточное время освещения, имеющегося СЭ 3,6 часа; КПД солнце-энергетической установки – 7%. Какую энергию способна давать фотоэлектрическая

установка при площади панелей $S = 15 \text{ м}^2$ за месяц работы.

Задача №9.

Определить солнечную постоянную G_0 вне атмосферы Земли.

Задача №10.

Осветительная система подстанции питается от аккумуляторной батареи на-пряжением $U = 16 \text{ В}$, заряженной до $50 \text{ А} \cdot \text{ч}$, потребляемый ток $I = 5 \text{ А}$. Батарея работает ежедневно 5 часов.

- 1) Как расположены СЭ?
- 2) Как собрана электрическая цепь? Допол-нительные данные: КПД аккумулятора = 80%, ЭДС СЭ $V_0 = 0,5 \text{ В}$, суточное время освещения СЭ = 4 часа, эффективность СЭ – $2 \cdot 10^{-2} \text{ А} \cdot \text{см}^2$.

Задача №11.

Фермерское хозяйство ежесуточно потребляет $600 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Владелец данного предприятия планирует построить у себя солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории ГО «город Якутск». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
3. Рассчитать необходимое количество солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным со стороны солнечных панелей на период «Апрель-Август».
4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.
5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.
7. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №12.

Фермерское хозяйство ежесуточно потребляет $800 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$. Владелец данного предприятия планирует построить у себя солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Чурапчинский улус (район)».

Владелец предприятия делает приоритет на более дорогие технологии по солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Проанализировать внедрения технологий, позволяющий увеличить энергоэффективность фотоэлектрических панелей по системе диаграммы Исикавы или стандартного SWOT-анализа.
3. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
4. Рассчитать необходимое количество солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным со стороны солнечных панелей на период «Апрель-Сентябрь».
5. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.
6. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
7. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.
8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №13.

Коневодческое хозяйство ежедневно потребляет 50 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Вилуйский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
3. Рассчитать необходимое количество солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным со стороны солнечных панелей на период «Март-Ноябрь».
4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.
5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.

7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.

8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №14.

Оленеводческое хозяйство ежедневно потребляет 20 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Оленекский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.

2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.

3. Рассчитать необходимое количество солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным со стороны солнечных панелей на период «Март-Октябрь».

4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.

5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.

6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.

7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.

8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №15.

Оленеводческое хозяйство ежедневно потребляет 25 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Нижнеколымский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.

2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.

3. Рассчитать необходимое количество солнечных панелей, чтобы

электроснабжение было 100%-ным со стороны солнечных панелей на период «Март-Октябрь».

4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.

5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.

6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.

7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.

8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

РАЗДЕЛ 2. ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ветроэнергетика – это отрасль энергетики, связанная с разработкой методов и средств преобразования энергии ветра в механическую, тепловую или электрическую энергию. Ветроэнергетике присущи все преимущества, характерные для альтернативной энергетики в целом (экологическая чистота, возобновляемость, низкие эксплуатационные затраты) [12].

В целях определения характеристик ветра, используемых в ветровой энергетике, используются следующие термины:

1. Среднегодовая скорость ветра (average annual wind speed) – средняя скорость ветра за год в конкретной местности, определяемая для заданной высоты над уровнем земной поверхности.

2. Распределение скоростей ветра (wind distribution) – функция статистической закономерности частот вариаций скоростей ветра за определенный период времени, аппроксимирующая статистические данные наблюдений.

3. Роза скоростей ветра (wind rose) – векторная диаграмма, характеризующая режим ветра в данном пункте, с длинами лучей, расходящихся от центра в разных направлениях относительно стран света, пропорциональными повторяемости скоростей ветра для этих направлений.

4. Роза энергии ветра (wind energy rose) – векторная диаграмма, характеризующая распределение удельной мощности ветра по направлениям за определенный период времени, с длинами лучей, расходящихся от центра в разных направлениях относительно стран света, пропорциональными удельной мощности ветра [13].

На рисунке 2.1 представляется структурная схема ветровой электростанции, предназначенная потребителя III категории надежности электроснабжения.

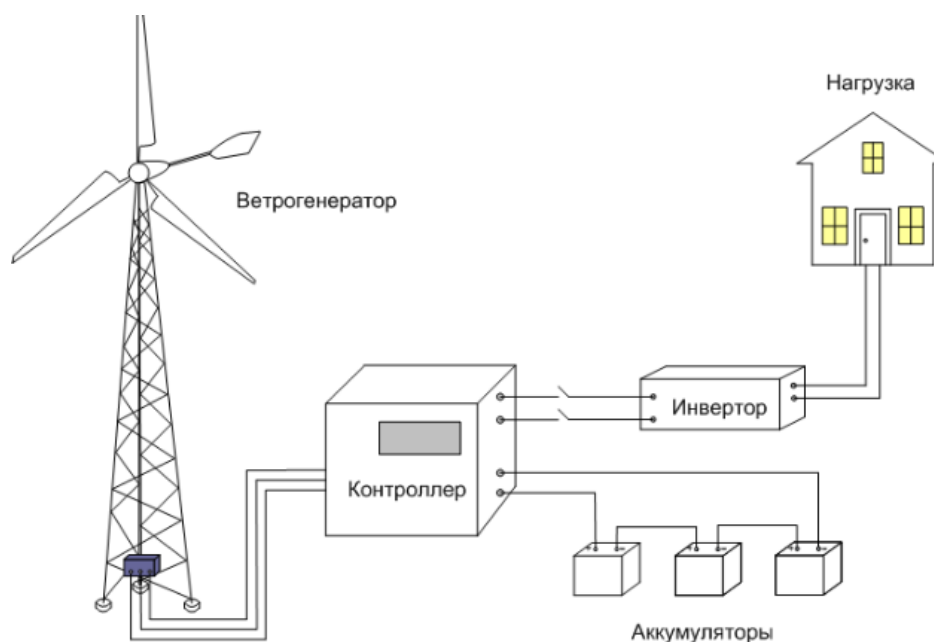


Рисунок 2.1 – Общая схема работы ветровой электростанции

Ветровая электростанция функционирует по одному основному принципу: преобразует линейную скорость ветра в угловую скорость вращения оси ветрогенератора. Генератор ветроэлектростанции преобразует вращательное движение в электроэнергию [14].

Направленный поток воздуха вращает лопасти ротора. Эффективность ветровой электростанции увеличивается с появлением новых материалов и систем трёхмерного проектирования. Затем ротор передает вращение на генератор, который подает выработанное электричество через контроллер на аккумуляторы (система накопления электроэнергии).

Инвертор преобразует электричество в переменный ток в основном 220/380 Вольт, которое пригодно для электроснабжения малых потребителей к примеру частного дома.

Представляется краткий анализ ветровых электростанций с учетом основных преимуществ и недостатков данного источника энергии.

Основные преимущества – отсутствие химического загрязнения окружающей среды, использование возобновляемых источников энергии, которые являются неисчерпаемыми, полная возможность использования территории ветровой электростанции для нужд сельского хозяйства, минимальные потери при передаче электроэнергии к потребителю с учетом высокого КПД генератора и ротора установки, простота в эксплуатации, низкие эксплуатационные затраты.

Основные недостатки – высокие капитальные затраты (1 кВт удельной мощности составит от 200 000 рублей), высокая зависимость генерации от скорости ветра, звуковое загрязнение окружающей среды при удельной мощности от 50 кВт, угроза для птиц, возможное искажение сетей интернет и

телевидения [15].

Таким образом, проектирование, строительство, монтаж, наладка и эксплуатация ветровых электростанций имеют значительные преимущества и относительно небольшие недостатки и данный вид электростанции вполне возможно эффективно эксплуатировать для объектов автономной генерации при малой мощности потребления.

В современном обществе существует значительная необходимость в квалифицированных кадрах, где уровень качества подготовки инженера-специалиста является системно-образующим фактором в динамической системе учебного процесса по ОПОП и предполагает логическую последовательность изучения данной дисциплины.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- зарубежный опыт использования ВИЭ, источники ВИЭ способы ее улавливания, накопления и использования в объектах потребления энергии в условиях Арктики.

- конструкции принципы работы и область применения основных составляющих объектов ВИЭ.

- особенности конструкции при учете экологических и технико-экономических причин.

Уметь:

- производить элементарные расчеты гелиоустановок и других устройств, использующих ВИЭ.

Владеть:

- методиками расчета электроэнергетических параметров объектов ВИЭ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решение задач на тему:

«Использование ветровой энергии»

Этапы проведения практической работы

1. Изучить пройденный материал лекционных занятий по дисциплине «Общая энергетика».
2. Выполнить и защитить лабораторные работы №1,2 и 4 в соответствии в сборнике №3 лабораторных работ по дисциплине «Общая энергетика».
3. Приступить к решению задач, используя следующие физико-технические закономерности по ветровой энергетике.

1. Основные закономерности и определения системы генерации

Для генерации электроэнергии от ветровой энергии в основном применяются ветровые генераторы, представленные на рисунке 2.2.

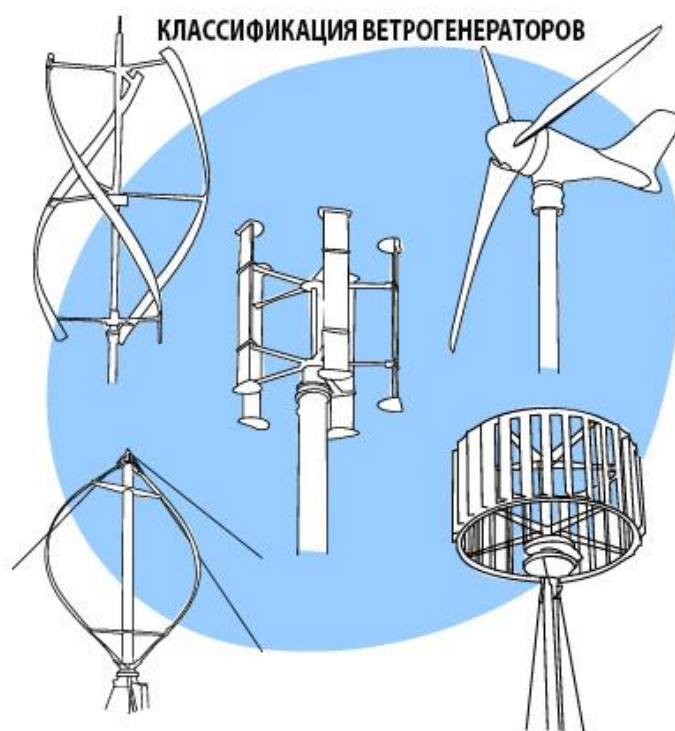


Рисунок 2.2 – Общая классификация ветровых генераторов (вертикальные и горизонтальные)

Более детальное описание горизонтального ветрогенератора представляется на рисунке 2.3.

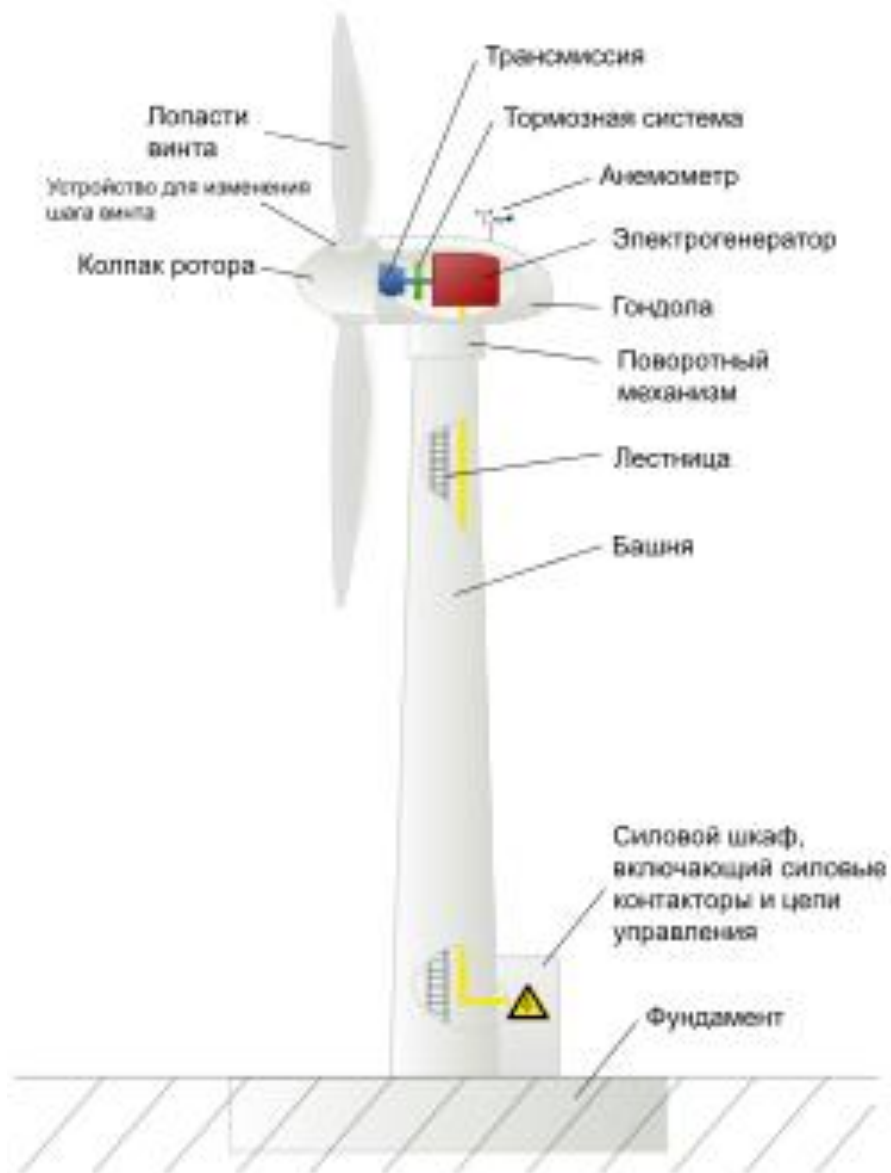


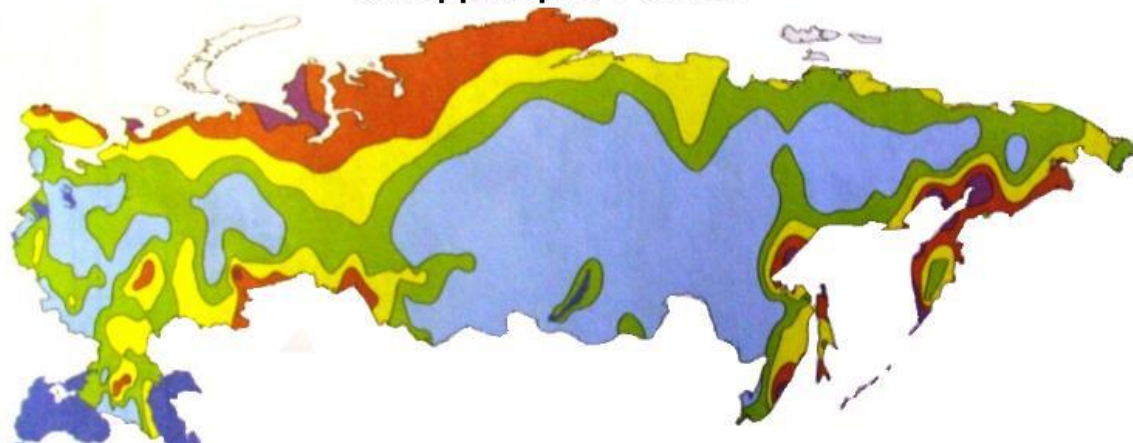
Рисунок 2.3 – Структура горизонтального ветрогенератора с приведением комплектующих внутренней части

Далее представляется формула расчета удельной мощности ветрового потока:

$$N_{\text{ветр}} = \frac{\rho \cdot V^3}{2} \quad (1)$$

где $N_{\text{ветр}}$ – мощность ветрового потока, Вт; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; V – скорость ветра, м/с, величина которой представлена на рисунке 2.4.

Распределение значений среднегодовых скоростей ветра на территории России.



	Закр ытая местность	Откр ытая местность	Морской берег	Откр ытое море	Холмы и горы
	>6,0 м/с	>7,5 м/с	>8,5 м/с	>9,0 м/с	>11,5 м/с
	5,0-6,0	6,5-7,5	7,0-8,5	8,0-9,0	10-11,5
	4,5-5,0	5,5-6,5	6,0-7,0	7,0-8,0	8,5-10
	3,5-4,5	4,5-5,5	5,0-6,0	5,5-7,0	7,0-8,5
	<3,5 м/с	<4,5 м/с	<5,0 м/с	<5,5 м/с	<7,0 м/с

Рисунок 2.4 – Таблица показателя среднегодовой скорости ветра на территории России

На основании вышеуказанного рисунка 1.3 необходимо учитывать характер местности, где непосредственно устанавливается ветрогенератор.

Также необходимо учесть расчет реальной мощности ветрогенератора с учетом потерь при преобразовании энергии ветра в механическую, в самом ветроколесе, потерь на трение в подшипниках и затрат энергии на собственные нужды:

$$N = \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{\rho * V^3}{2} * \eta_{вэу} \quad (2)$$

где N – реальная мощность ветрогенератора, Вт; D – диаметр лопасти ветрогенератора, м; ρ – фактическая плотность воздуха, кг/м³; V – скорость ветра; $\eta_{вэу}$ – действительный коэффициент мощности, принимается – 0,4.

На рисунке 2.5 представляется общая схема комплектующих солнечной электростанции.



Рисунок 2.5 – Общая схема ветровой электростанции

2. Показатели общих потерь ветровой электростанции

Однако одним из необходимых условий является учет общих потерь энергии при преобразовании скорости ветра в ветровой системе, которые включают в себя:

- потери в проводах – 1%.
- потери в инверторе – 3-7%.
- потери шунтирующих диодов – 0,5%.
- потери изменении условий окружающей среды.

При оптимальной компоновке оборудования эффективность ветровой системы в 85% считается очень хорошей. На практике возможны случаи, когда общие потери могут достигать значения 25-30 % из-за плохого качества оборудования или неправильного подбора компонентов системы и других факторов.

3. Основные закономерности и определения системы накопления энергии

В соответствии с рисунком 2.6 одним из главных комплектующих солнечной электростанции является система накопления энергии, состоящее

из группы соединений силовых аккумуляторов. В связи с этим на рисунке 2.7 представляется общий вид системы накопления энергии из литий-ионных аккумуляторов.



Рисунок 2.6 – Общий вид системы накопления энергии из Li-ion-ых аккумуляторов

На примере существующих объектов солнечной энергетически на территории нашего региона предприятия АО «Сахаэнерго» эксплуатируются в основном свинцовые и гелиевые аккумуляторы, служба работы которых составляет 2-4 года по факту. Также необходимо отметить, что система накопления энергии должна размещаться в отапливаемых помещениях, где температура помещения должно составлять не менее 15,00⁰С. В этой связи на рисунке 1.5. представляется прямая зависимость емкости системы накопления энергии от температуры хранения на примере аккумулятора Delta DTM 12200L.

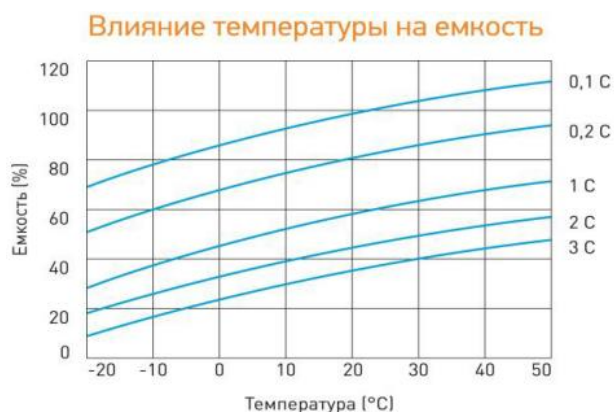


Рисунок 2.7 – Влияние температуры на емкость аккумулятора Delta DTM 12200L

Вместе с тем существуют определенные практические закономерности расчета системы накопления энергии, представленные на следующих формулах.

$$Q_0 = \frac{\sum P_{\text{сут}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}} * K}$$

где $\sum P_{\text{сут}}$ – это суммарное суточное потребление электроэнергии, Вт*ч;
 Q_0 – общая (суммарная) емкость система накопления энергии (силовых

аккумуляторов), $A^*ч$; $U_{ном}$ – номинальное напряжение выдаваемое инвертором из солнечной электростанции для питания нужд потребителя, Вольт; K – коэффициент потерь на заряд-разряд аккумуляторов, преобразование постоянного напряжения в переменное, обычно принимают равным 1,2.

4. Изменение плотности воздуха

Плотность воздуха (ρ) изменяется в зависимости от температуры окружающей среды (T) и влажности воздуха (ϕ), где в программе дисциплины «Тепломассообмен» существуют определенные физико-математические зависимости, которые представляются в следующих формулах [16].

$$P_{нас} = 6,1078 * 10^{\frac{7,5*(271,15+T)-2048,625}{(271,15-35,85)}}$$

где $P_{нас}$ – давление насыщенного пара, Па; T – температура воздуха, град. $^{\circ}C$.

$$P_{н} = P_{нас} * \frac{\phi}{100}$$

где $P_{н}$ – давление водяного пара, Па; ϕ – относительная влажность воздуха, %.

$$P_{в} = P_{атм} - P_{н}$$

где $P_{в}$ – парциальное давление воздуха, Па; $P_{атм}$ – атмосферное давление, Па ($\approx 101325,00$ Па).

$$\rho = \frac{\left(\frac{P_{н}}{287,058} + \frac{P_{в}}{461,495}\right)}{271,15 + T}$$

где ρ – расчетная плотность воздуха, $кг/м^3$.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{ВЭУ}$) и силы тока ($I_{ВЭУ}$) ветрогенератора посредством использования мультиметра и скорость ветра посредством использования анемометра.

5. Решение задач

Задача №1.

Ветроэлектрическая установка при любой скорости ветра поддерживает постоянным коэффициент быстроходности, равный 8. При какой скорости ветра скорость концов лопастей ветроколеса?

Задача №2.

Крупная ВЭУ имеет ветроколесо диаметром 100 м, вращающееся с постоянной угловой скоростью. При какой угловой скорости вращения скорость концов лопастей достигнет скорости звука?

Задача №3.

Радиус ветроколеса R , м, скорость ветра до колеса V_0 , м/с, после колеса V_2 , м/с. Определить: скорость ветра в плоскости ветроколеса V_1 , мощность ветрового потока P_0 , мощность ветроустановки P и силу F , действующую на ветроколесо. Плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

В таблице 2.1 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 2.1.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
R , м	21	25	31	36
V_0 , м/с	6,1	7,2	8,4	9,5
V_2 , м/с	3	3	3	4

Задача №4.

Через ометающее сечение S протекает воздушный поток со скоростью v . Определить кинетическую энергию ветроколеса E_v . $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

В таблице 2.2 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 2.2.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
S , м ²	150	200	180	90
V , м/с	11	16	9	5,8

Задача №5.

Ветроустановка мощностью P , кВт, скорость ветра V_0 , давящая на площадь колеса S , $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$. Определить радиус ветроколеса и скорость ветра после ветроколеса.

В таблице 2.3 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 2.3.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	250	460	478	515
$V_0, \text{ м/с}$	8,2	9,1	10,5	13,1
$P, \text{ кВт}$	100	150	200	250

Задача №6.

Скорость ветра V_0 , давящая на колесо сечением S , стационарной ветроустановки. Определить мощность P , ветроустановки. $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

В таблице 2.4 представлены четыре варианта задания для группы студентов.

Таблица 2.4.

Величина	Варианты			
	1	2	3	4
$S, \text{ м}^2$	410	520	600	690
$V_0, \text{ м/с}$	6,2	7,3	8,11	9
$F, \text{ кг*м/с}$	2100	2950	3960	5000

Задача №7.

Группе фермерских хозяйств ежедневно необходимо 1100 кВт*ч электроэнергии. Какую площадь должны занимать СЭ при суточном времени освещения СЭ 3 часа. ЭДС СЭ $V_0 = 0,5 \text{ В}$, эффективность – $2 \cdot 10^{-2} \text{ А/см}^2$.

Задача №8.

Район X имеет следующие среднегодовые фотоэлектрические ресурсы: мощность светового потока, приходящего на 1 м^2 – $0,58 \text{ кВт}$; Среднесуточное время освещения, имеющегося СЭ 3,6 часа; КПД солнце-энергетической установки – 7%. Какую энергию способна давать фотоэлектрическая установка при площади панелей $S = 15 \text{ м}^2$ за месяц работы.

Задача №9.

Осветительная система подстанции питается от аккумуляторной батареи на-пряжением $U = 16 \text{ В}$, заряженной до 50 А*ч , потребляемый ток $I = 5 \text{ А}$. Батарея работает ежедневно 5 часов.

1) Как расположены СЭ?

2) Как собрана электрическая цепь? Допол-нительные данные: КПД аккумулятора = 80%, ЭДС СЭ $V_0 = 0,5 \text{ В}$, суточное время освещения СЭ = 4

часа, эффективность СЭ – $2 \cdot 10^{-2} \text{ А} \cdot \text{см}^2$.

Задача №10.

Фермерское хозяйство ежедневно потребляет 600 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя ветровую электростанцию. Данный объект находится на территории ГО «город Якутск». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по ветровой энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип ветрогенератора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
3. Рассчитать необходимое количество ветрогенераторов, чтобы электроснабжение было 100%-ным на период «Февраль-Ноябрь».
4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.
5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.
7. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №11.

Фермерское хозяйство ежедневно потребляет 800 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя ветровую электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Чурапчинский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дорогие технологии по ветровой энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип ветрогенератора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Проанализировать внедрения технологий, позволяющий увеличить энергоэффективность ветрогенератора по системе диаграммы Исикавы или стандартного SWOT-анализа.
3. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
4. Рассчитать необходимое количество ветрогенераторов, чтобы электроснабжение было 100%-ным на период «Февраль-Ноябрь».
5. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом

класса напряжения и возможной мощности.

6. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
7. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.
8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №12.

Коневодческое хозяйство ежедневно потребляет 50 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя ветро-солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Вилуйский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по ветро-солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип ветрогенератора и фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.
3. Рассчитать необходимое количество ветрогенераторов и солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным на период «Январь-Ноябрь».
4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.
5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.
6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.
7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.
8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №13.

Оленеводческое хозяйство ежедневно потребляет 20 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя ветро-солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Оленекский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по ветро-солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип ветрогенератора и фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.
2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса

напряжения и возможной мощности.

3. Рассчитать необходимое количество ветрогенераторов и солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным на период «Февраль-Ноябрь».

4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.

5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.

6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.

7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.

8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №14.

Оленеводческое хозяйство ежедневно потребляет 25 кВт*ч. Владелец данного предприятия планирует построить у себя ветро-солнечную электростанцию. Данный объект находится на территории МР «Нижнеколымский улус (район)». Владелец предприятия делает приоритет на более дешевые технологии по ветровой и солнечной энергетике.

Необходимо рассчитать следующее:

1. Подобрать тип ветрогенератора и фотоэлектрической панели с учетом класса напряжения и возможной мощности.

2. Подобрать определенную модель инвертора с учетом класса напряжения и возможной мощности.

3. Рассчитать необходимое количество ветрогенераторов и солнечных панелей, чтобы электроснабжение было 100%-ным на период «Февраль-Ноябрь».

4. Подобрать определенную модель контроллера заряда с учетом класса напряжения и возможной мощности.

5. Подобрать определенную модель системы накопления энергии из силовых аккумуляторов.

6. Рассчитать необходимое количество силовых аккумуляторов.

7. Сделать таблицу оптимальных углов наклона солнечных панелей по каждому месяцу.

8. Провести необходимые экономические расчеты – IRR, NPV, PP и т.д.

Задача №15.

Имеется ветрогенератор с радиусом лопасти 10 метров, которая эксплуатируется на территории Арктики в п. Быков Мыс на период «Январь-

Апрель» в условиях постоянного изменения температуры и влажности воздуха.

Необходимо найти:

1. Рассчитать среднемесячный показатель плотности воздуха в зависимости от относительной влажности воздуха и ее температуры по каждому месяцу эксплуатации.

Реальную мощность ВЭУ по каждому месяцу на основании метеорологических параметров¹.

¹ Используйте интернет-ресурс gismeteo.ru

6. Инструкции по оформлению самостоятельной работы студента

Самостоятельная работа студента при выполнении вышеуказанных задач должно состоять из следующих пунктов [11]:

1. Титульный лист с указанием ФИО, группы и варианта.
2. Содержание.
3. Условие задачи.
4. Решение задачи.
5. Ответ по итогам решения задачи.
6. Заключение на основании выполненной работы.
7. Список использованных источников.
8. Приложение, если таковые есть (рекомендуется привести схемы, рисунки и т.д.).

Также требования к оформлению работ представляется в следующих нормативно-правовых актах:

1. ГОСТ 7.32-2001 СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления (с Изменением N 1).
2. ГОСТ 2.105-95 ЕСКД. Общие требования к текстовым документам (с Изменением N 1).
3. ГОСТ Р 7.0.97-2016 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу (СИБИД). Организационно-распорядительная документация. Требования к оформлению документов (с Изменением N 1).
4. ГОСТ 7.12-93 СИБИД. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.
5. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Основные требования к чертежам (с Изменениями N 1-11).

РАЗДЕЛ 3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТОВ

Порядок выполнения лабораторных работ

1. Для выполнения лабораторных работ студенты распределяются по отделениям (3-4 человека). Каждая группа имеет свой график прохождения практикума.

2. Подготовка к лабораторной работе включает: знакомство с описанием лабораторной работы, ответы на контрольные вопросы и оформление отчета (форма отчета приводится ниже).

3. В конце занятия, после проверки правильности проведенных измерений и предварительных расчетов, преподаватель подписывает протокол лабораторной работы.

4. На следующем занятии полностью оформленный отчет по предыдущей работе, включающий расчет погрешностей измерений, подписывается преподавателем (вторая подпись преподавателя).

5. После каждого цикла работ проводится защита выполненных работ, на которой проверяется знание студентом теории данного раздела Общей энергетики и методов проведения экспериментов в лабораторных работах данного цикла.

Образец формы отчета по лабораторной работе

1. Фамилия, имя студента.
2. Факультет, группа, номер отделения.
3. Название работы.
4. Краткая теория к работе.
5. Схема установки. Пояснения к схеме.
6. Таблица спецификации измерительных приборов.
7. Данные установки (заполняются в процессе выполнения работы).
8. Таблицы результатов измерений.
9. Расчетная формула и формулы для погрешностей.
10. Предварительный расчет (выполняется к окончанию работы).
11. Полный расчет (выполняется к следующему занятию).
12. Окончательное значение измеренной величины $x \pm \Delta$
13. Вывод.

Пример заполнения таблицы спецификации приборов

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Единица измерения	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.					
2.					

Основы теории погрешностей физических измерений

Неотъемлемой частью экспериментальных исследований, в том числе и проводимых в физическом практикуме, являются измерения физических величин. Измерения могут быть прямыми или косвенными. При прямом измерении значение измеряемой величины определяют непосредственно по показаниям измерительных приборов (например, измерение длины стержня линейкой), а при косвенном измерении окончательный результат может быть получен только после проведения соответствующих расчетов (например, для определения площади пластины необходимо воспользоваться формулой $S = a \cdot b$).

Используемые при измерении технические средства, прошедшие необходимый контроль, называются средствами измерения, а величины, получаемые с их помощью, принимаются как результат измерения.

Все измерения сопряжены с погрешностями, поэтому в результате измерений получают не истинное значение искомой величины, а значение, приближенное к нему. В конечном итоге, можно лишь указать доверительные границы интервала, в пределах которого лежит измеряемая величина. Так, измеряя длину стержня с помощью штангенциркуля с точностью нониуса 0,1 мм, можно лишь указать, что истинное значение длины l лежит, например, в интервале $13,4 \leq l \leq 13,6$ мм, если измеренное значение $l = 13,5$ мм, что и отражается в форме записи результата измерения:

$$l = (13,5 \pm 0,1) \text{ мм}$$

Погрешность измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения. Различают абсолютную и относительную погрешность измерения.

Абсолютная погрешность – это величина, равная отклонению измеренного значения от истинного значения измеряемой величины:

$$\Delta X = X_{\text{изм}} - X_{\text{ист}}$$

Так как истинное значение неизвестно, то на практике можно дать лишь приближенное значение абсолютной погрешности.

Относительная погрешность равна отношению абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{\text{изм}}} * 100\%$$

Очевидно, что именно относительная погрешность характеризует качество измерения, его точность. Эта величина безразмерна и, как правило,

выражается в процентах.

Классификация погрешностей прямых измерений

По характеру проявления в эксперименте различают систематическую погрешность, случайную погрешность и грубые промахи.

Систематическая погрешность измерения – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной (по величине и знаку) при повторных измерениях. По источнику появления погрешности можно разделить на несколько групп.

Одна из них – это систематические погрешности, природа и величина которых известны (например, сдвиг нуля измерительного прибора), эти поправки могут быть определены до начала измерений и учтены в конечном результате. Примером этого типа погрешностей является также методическая погрешность. Она определяется недостатками выбранного метода измерения или неточностью расчетных формул. Так, если взвешивать тело на аналитических весах без введения поправки на потерю веса груза в воздухе, то появится ошибка взвешивания, которую можно классифицировать как методическую.

Другая группа систематических погрешностей – это погрешности, для которых известно их предельное значение, но неизвестен знак. К ним, в частности, относится инструментальная погрешность. Она обусловлена конструкцией измерительного прибора, неточностью его изготовления. Величина этой погрешности определяется классом точности прибора, но знак ее неизвестен, поэтому инструментальную погрешность принято записывать со знаком \pm .

Случайная погрешность – это составляющая погрешности, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Эта погрешность вызывается причинами, которые не всегда поддаются оценке. Она проявляется при повторных измерениях в виде разброса измеряемых значений, как по величине, так и по знаку. Случайная ошибка носит вероятностный характер. Ее можно уменьшить за счет увеличения числа измерений и соответствующей статистической обработки результатов измерений.

Грубые промахи обусловлены либо небрежным отсчетом, либо временной неисправностью прибора или внезапным сильным внешним воздействием.

Окончательный результат прямого измерения после исключения выявленных систематических погрешностей и грубых промахов необходимо

представить в виде:

$$X = X_{\text{изм}} \pm \Delta X$$

где $X_{\text{изм}}$ – значение измеряемой величины, ΔX – полная погрешность измерения.

Оценка погрешностей прямых измерений при однократных наблюдениях

Систематическая погрешность измерения Δx в общем случае включает в себя инструментальную погрешность $\Delta x_{\text{инс}}$, методическую погрешность и погрешность считывания.

Инструментальную погрешность будем оценивать ее предельным значением. Металлические измерительные линейки изготовлены с высокой точностью. Их миллиметровые деления наносятся с погрешностью не более $\pm 0,05$ мм. Однако кроме этой погрешности необходимо учитывать погрешность считывания, которая может быть равна четверти деления, т.е. $\pm 0,25$ мм. Тогда предельное значение погрешности будет равно $\pm 0,3$ мм. Учитывая, что указатели в лабораторных установках отстоят от поверхности линейки на несколько миллиметров, в качестве предельного значения инструментальной погрешности линейки можно принять $\pm 0,5$ мм (в некоторых лабораторных работах она может достигать $1 \div 2$ мм).

Предельная инструментальная погрешность штангенциркуля определяется точностью нониуса (цена деления дополнительной шкалы). Так, если она равна 0,1 мм, то инструментальная погрешность измерения принимается равной $\pm 0,1$ мм. Предельную инструментальную погрешность электроизмерительных стрелочных приборов (амперметров, вольтметров и т. д.) можно определить по классу точности прибора К:

$$\Delta X_{\text{инс}} = \frac{K * X_{\text{max}}}{100}$$

где X_{max} – наибольшее значение измеряемой величины, указанное на шкале, К – выраженная в процентах относительная погрешность показаний прибора.

Для определения погрешности цифровых измерительных приборов необходимо руководствоваться их паспортными данными, указанными на учебных стендах. В любом случае их предельная инструментальная погрешность не может быть ниже единицы последнего разряда, высвечиваемого на индикаторной шкале прибора.

Случайные погрешности

Проведя несколько измерений одной и той же величины одним и тем же прибором можно обнаружить, что численные результаты этих измерений будут отличаться друг от друга на величину, большую, чем инструментальная погрешность. В этом случае говорят о случайной погрешности измерений.

Очевидно, что в отсутствие систематической погрешности наиболее близким к истинному значению измеряемой величины будет среднеарифметическое значение:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n},$$

где x_i – результат i -го измерения, $i = 1, 2 \dots n$.

При расчете среднего следует придерживаться правила: ошибка вычислений должна быть хотя бы на порядок меньше ошибки измерений. Кроме среднего значения, необходимо оценить доверительные границы интервала, в пределах которого с вероятностью P находится истинное значение измеряемой величины, P – коэффициент надежности (достоверности).

Полуширина этого интервала и определяет случайную погрешность измерения. Для серии с малым числом измерений ($n = 3$ или $n = 5$) случайную погрешность следует рассчитывать по формуле:

$$\Delta x_{\text{сл}} = t_{P,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}},$$

где $(X_i - \bar{X})$ – отклонение результата i -го измерения от среднеарифметического значения, $t_{P,n}$ – коэффициент Стьюдента, который зависит как от числа измерений n , так и от надежности P . В физических экспериментах обычно выбирают $P = 0,95$.

Значения коэффициента Стьюдента можно найти по табл. 1.

Таблица 1

P	$t_{p,2}$ $n = 2$	$t_{p,3}$ $n = 3$	$t_{p,5}$ $n = 5$	$t_{p,7}$ $n = 7$	$t_{p,10}$ $n = 10$
0,9	6,314	2,920	2,131	1,943	1,833
0,95	12,706	4,303	2,776	2,447	2,262
0,99	63,667	9,925	4,604	3,707	3,250

Суммарная погрешность прямого измерения

Если определены предельная инструментальная погрешность измерения $\Delta x_{\text{инс}}$, связанная с использованием того или иного измерительного прибора, и случайная погрешность $\Delta x_{\text{сл}}$, то суммарная погрешность прямого измерения вычисляется по формуле:

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{\text{инс}})^2 + (\Delta x_{\text{сл}})^2}.$$

Предварительно необходимо округлять значения случайной и предельной инструментальной погрешностей до трех значащих цифр. При окончательном расчёте погрешности применяют правила округления, которые приведены ниже на с.11. Результат прямого измерения записывается в следующей форме: $X = X \pm \Delta X$; $P = 0,95$.

Это означает, что с вероятностью 0,95 истинное значение X лежит в пределах от $X - \Delta X$ до $X + \Delta X$.

При однократном измерении его результат записывается только с учетом инструментальной погрешности измерительного прибора. Она либо указывается на самом приборе (например, штангенциркуль), либо определяется по классу точности стрелочного прибора (например, вольтметр), либо равна единице последнего разряда цифрового измерительного прибора. При записи результатов измерений следует придерживаться следующих правил:

1. Числовое значение измеряемой величины должно быть кратно минимальному значению шкалы прибора.
2. Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же порядка, что и числовое значение инструментальной погрешности.

Так, например, для штангенциркуля с инструментальной погрешностью $\Delta l = \pm 0,1$ мм результат измерения должен быть записан в следующей форме:

$$l = (83,7 \pm 0,1) \text{ мм}$$

3. Погрешности величин, заданных на лабораторном стенде, равны

единице последнего разряда в записи этих данных.

Так, например, если указано, что масса пушки $m = 185$ г, то в качестве погрешности следует взять $\Delta = m \pm 1$ г и тогда:

$$m = (185 \pm 1) \text{ г}$$

4. При многократных измерениях необходимо оценить случайную погрешность. Если случайная погрешность окажется на порядок меньше инструментальной, то ее следует отбросить, и числовое значение измеряемой величины записывать с учетом только инструментальной погрешности.

Если обе погрешности одного порядка, то в этом случае учитываются обе погрешности, и при расчете суммарной погрешности применяются следующие **правила округления**:

1. Число, выражающее суммарную погрешность измерения, округляется до одной значащей цифры; если первая значащая цифра 1 или 2, то округление производят до двух значащих цифр.

2. Числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же порядка, что и числовое значение абсолютной (суммарной) погрешности.

3. При округлении целых чисел все отброшенные при округлении цифры заменяются множителем 10^m , где m – число отброшенных цифр. (Например, если $\Delta x = 1327$, то после округления следует записать $\Delta x = 13 \cdot 10^2$, если $\Delta x = 851$, то после округления получим $\Delta x = 9 \cdot 10^2$).

4. Если при округлении первая отбрасываемая цифра больше или равна пяти, то предыдущая, сохраняемая цифра, увеличивается на единицу. В противном случае эта цифра не изменяется.

Например, если после расчетов оказалось, что суммарные погрешности измерений равны 0,47; 0,064; 0,128; 342, то следует записать:

$$\Delta x_1 = 0,5; \Delta x_2 = 0,06; \Delta x_3 = 0,13; \Delta x_4 = 3 \cdot 10^2.$$

Если при этом измеряемая величина равна 3,425; 12,8356; 9.025; 8395,7, то результат необходимо представить в форме:

$$x_1 \pm \Delta x_1 = 3,4 \pm 0,5;$$

$$x_2 \pm \Delta x_2 = 12,84 \pm 0,06;$$

$$x_3 \pm \Delta x_3 = 9,03 \pm 0,13;$$

$$x_4 \pm \Delta x_4 = (84 \pm 3) \cdot 10^2.$$

Погрешности косвенных измерений

Если числовое значение искомой величины $F(x, y, z, \dots)$ находится по

формуле, связывающей ее с параметрами x, y, z, \dots , найденными из прямых измерений, то погрешность этой величины (погрешность косвенных измерений) находят по правилу:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \cdot \Delta x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \cdot \Delta y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \cdot \Delta z^2 + \dots}$$

где $\frac{\partial F}{\partial x}$, $\frac{\partial F}{\partial y}$ и т. д. – частные производные функции $F(x, y, z, \dots)$ по переменным x, y, z, \dots ; $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \dots$ – суммарные погрешности прямых измерений x, y, z, \dots .

Так, для объема бруска $V = a \cdot b \cdot c$ погрешность ΔV равна

$$\Delta V = \sqrt{(\bar{b} \cdot \bar{c})^2 \cdot \Delta a^2 + (\bar{a} \cdot \bar{c})^2 \cdot \Delta b^2 + (\bar{a} \cdot \bar{b})^2 \cdot \Delta c^2},$$

или

$$\Delta V = V \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c}\right)^2}.$$

В описании каждой лабораторной работы приведены формулы для расчета погрешности косвенных измерений.

В расчетные формулы часто входят универсальные константы, иррациональные числа. Погрешности этих величин – это погрешности округления их значений. Например, если число $\pi = 3,1415926\dots$ округлить до значения $\pi = 3,14$, то погрешность $\Delta\pi = 0,0016$; если $\pi = 3,141$, то $\Delta\pi = 0,0006$ и т. д.

Количество значащих цифр в числе π и других иррациональных числах следует выбирать так, чтобы относительная погрешность этих величин была мала по сравнению с суммарной относительной погрешностью прямых измерений.

Для справочных данных погрешность составляет 5 единиц разряда, следующего за последней значащей цифрой. Для данных установки (если их погрешность не указана) погрешность равна единице последнего разряда в записи этих данных. Так, если на установке задан момент инерции маятника $I_0 = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, то $\Delta I_0 = 0,001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

6. Пример статистической обработки результатов измерений

Пусть необходимо найти длину окружности диска. Диаметр D измерен с помощью штангенциркуля, точность нониуса которого равна 0,1 мм. Проведено 5 измерений, результаты которых сведены в табл. 2.

Таблица 2

№	D_i , мм	$ \Delta D_i $, мм
1	12,8	0,22
2	12,6	0,02
3	12,4	0,18
4	12,6	0,02
5	12,5	0,08
Среднее	12,58	—

Среднее значение диаметра равно

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^5 D_i}{5} = \frac{12,8 + 12,6 + 12,4 + 12,6 + 12,5}{5} = 12,580 \text{ мм.}$$

Зная \bar{D} , найдем $\Delta D_i = \bar{D} - D_i$. Соответствующие данные внесены в табл. 2. Случайную погрешность определим по формуле Стьюдента. Учитывая, что при $n = 5$ и $P = 0,95$ коэффициент Стьюдента $t = 2,776 \approx 2,8$, получим

$$\Delta D_{\text{сл}} = t_{P,n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{D} - D_i)^2}{n(n-1)}} = 2,78 \cdot \sqrt{\frac{0,22^2 + 0,02^2 + 0,18^2 + 0,02^2 + 0,08^2}{5 \cdot (5-1)}} = 0,1841 \text{ мм.}$$

С учетом округления $\Delta D_{\text{сл}} = 0,18 \text{ мм.}$

Так как диаметр измерялся штангенциркулем, то инструментальная погрешность равна цене деления нониуса (дополнительной шкалы) $\Delta D_{\text{инс}} = 0,1$ мм.

В результате суммарная погрешность прямого измерения:

$$\Delta D = \sqrt{(\Delta D_{\text{инс}})^2 + (\Delta D_{\text{сл}})^2} = \sqrt{0,18^2 + 0,1^2} = 0,2059 \text{ мм}$$

или с учетом округления $\Delta D = 0,21$ мм.

Окончательный результат прямого измерения представим в виде

$$D = (12,58 \pm 0,21) \text{ мм}; P = 0,95.$$

Длина окружности $L = \pi D$. Погрешность косвенного измерения

$$\Delta L = \sqrt{\pi^2 \Delta D^2 + D^2 \Delta \pi^2}.$$

Относительная погрешность этого измерения

$$\frac{\Delta L}{L} = \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \pi}{\pi}\right)^2}.$$

Относительная погрешность при измерении диаметра

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{0,21}{12,58} = 0,017.$$

Следовательно, число π следует округлять так, чтобы

$$\frac{\Delta \pi}{\pi} \ll \frac{\Delta D}{D}.$$

Этому условию удовлетворяет значение $\pi = 3,14$. При этом

$$\frac{\Delta \pi}{\pi} = 0,00048. \text{ Тогда}$$

$$\bar{L} = \pi \bar{D} = 3,14 \cdot 12,58 = 39,5012 \text{ мм}.$$

Так как $\frac{\Delta L}{L} \approx \frac{\Delta D}{D} = 0,017$, то $\Delta L = \bar{L} \cdot 0,017 = 0,672$ мм или с

учетом округления $\Delta L = 0,7$ мм. Тогда окончательный результат измерения можно представить в виде

$$L = (39,5 \pm 0,7) \text{ мм.}$$

Указания к составлению графиков

Результаты измерения физических величин часто необходимо представить в виде графиков, наглядно показывающих связь между физическими величинами.

Для построения графиков удобно пользоваться миллиметровой бумагой, придерживаясь следующей последовательности:

1. Выбрать масштабы для откладываемых на графике величин.

2. На оси декартовой системы координат нанести деления, расстояния между которыми отвечают выбранному масштабу. Деления наносятся равномерно!

3. Нанести экспериментальные точки и построить по ним график.

При выборе масштабов надо исходить из следующего:

а) на графике должны быть отмечены результаты всех измерений;

б) начало координат не обязательно должно совпадать с нулевым значением откладываемой величины. За начало координат можно принять целое число, ближайшее к наименьшему значению измеренных величин;

в) график должен быть удобен для использования, поэтому одно деление масштабной линейки должно соответствовать 1, 2, 5, 10 или 25, 50 единицам откладываемой величины или такому же количеству долей единицы. Промежуточные значения, получаемые на опыте, на оси не наносятся. У концов координатных осей необходимо указать обозначение откладываемой по оси величины и единицу ее измерения.

Наносимые на график экспериментальные точки надо изображать в виде кружочков радиусом менее 1 мм. График изображается гладкой линией, проходящей не через точки, а между ними, так, чтобы разброс экспериментальных точек по обе стороны от линии был примерно одинаков. Недопустимо проводить ломаную линию, состоящую из отрезков прямых, соединяющих соседние точки.

Графические зависимости, построенные по результатам измерений, иногда используются для нахождения физических величин. Как правило, это

зависимости, допускающие аппроксимацию линейной функцией $y = kx + c$, графически изображаемой прямой линией. Искомая величина определяется либо по точке пересечения прямой с одной из координатных осей, либо по тангенсу угла наклона к оси абсцисс.

В первом случае по графику (рис.1) находят координаты точки пересечения построенной прямой с осью (например, $x = 0$, $y = a$). Для оценки погрешности параллельно экспериментальной прямой проводят две пунктирные прямые (одну выше, а другую ниже) так, чтобы большая часть экспериментальных точек оказалась между пунктирными линиями. Если эти линии пересекают ось ординат в точках $y = a_1$ и $y = a_2$, то погрешность искомой величины a равна

$$\Delta a = \frac{|a_2 - a_1|}{\sqrt{n}},$$

где n – полное число экспериментальных точек на графике.

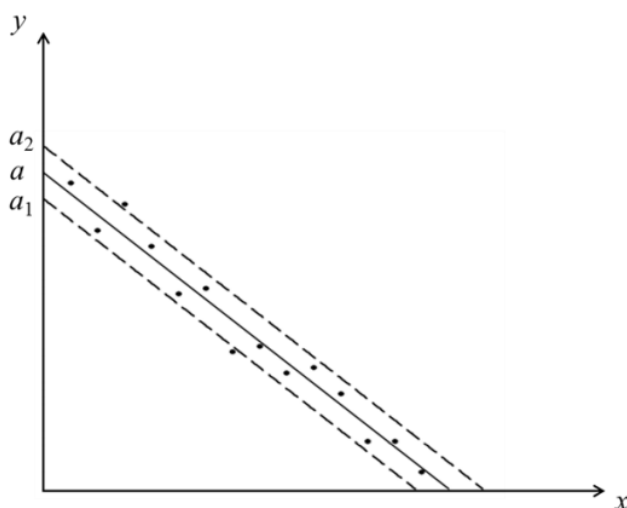


Рис. 1

Во втором случае определяется коэффициент k , равный тангенсу угла наклона экспериментальной прямой к оси абсцисс. Из графика рис. 2 $k = a/b$, где b и a – координаты наиболее удаленной от начала координат точки графика.

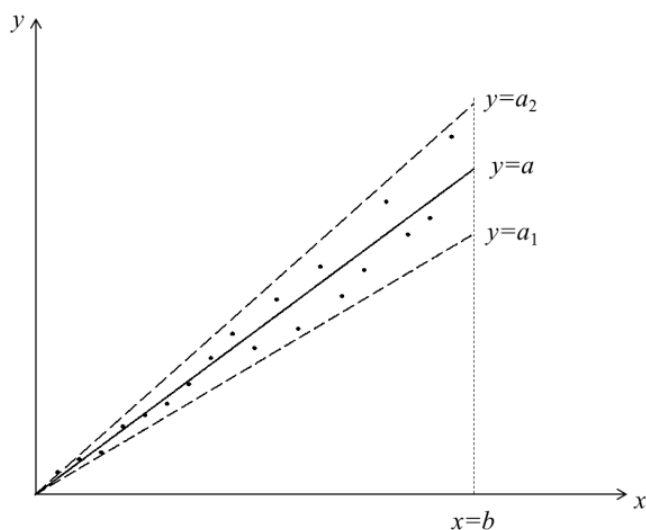


Рис.2

Для оценки погрешности измерения из начала координат проводят две пунктирные прямые так, чтобы большая часть экспериментальных точек оказалась между ними. Из графика определяются $k_1=a_1/b$ и $k_2=a_2/b$, где a_1 и a_2 – ординаты точек на пунктирных прямых с абсциссой $x = b$. Тогда:

$$\Delta k = \frac{|k_2 - k_1|}{\sqrt{n}},$$

(n – полное число экспериментальных точек на графике).

Для оценки погрешности из начала координат проводят две пунктирные прямые так, чтобы большая часть экспериментальных точек оказалась между ними. Из графика определяются $k_1=a_1/b$ и $k_2=a_2/b$, где a_1 и a_2 – ординаты пунктирных прямых при $x = b$. Тогда:

$$\Delta k = \frac{|k_2 - k_1|}{\sqrt{n}},$$

(n – полное число экспериментальных точек на графике).

Лабораторная работа №1

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Цель работы:

Ознакомление с приемами измерения электротехнических величин и определение напряжения и силы тока солнечной панели, а также расчет ее мощности генерации с учетом погрешностей проведенных измерений.

1. Перечень используемого оборудования

В Таблице 1 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №1.

Таблица 1.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
1.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 P	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
2.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
3.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
4.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
5.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
6.	Калькулятор	1	Расчет мощности

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующей формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}} * \cos A$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А; $\cos A$ – коэффициент мощности солнечной панели, принимается в виде 1,00.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 2 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 2.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр и калькулятор.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 45° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 2.

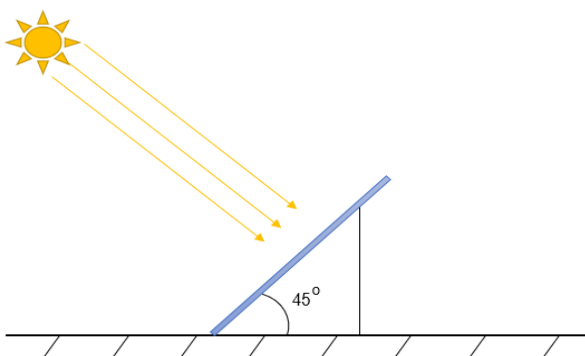


Рисунок 2 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 1 по общей схеме, представленной на рисунке 3. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 3 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 2 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра с интервалом 5 минут.

8. Измерить необходимые величины не менее 6 раз в течение 30 минут.

9. Результаты измерений записать в таблице 3.

Таблица 3.

№ п/п	U_i , В	$ \Delta U_{\text{сп}} $, В	I_i , А	$ \Delta I_{\text{сп}} $, А	Время, мм/чч	Вид погоды
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

3. Обработка результатов опыта

1. Найти средние значения:

$$U_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}, \quad I_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n}$$

где n – число измерений (≤ 6).

2. Рассчитать мощность генерации фотоэлектрической панели по следующей формуле:

$$P_{\text{ср}} = U_{\text{ср}} * I_{\text{ср}} * \cos A$$

где $P_{\text{ср}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; $U_{\text{ср}}$ – среднее напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{ср}}$ – средняя сила тока солнечной панели, А; $\cos A$ – коэффициент мощности солнечной панели, принимается в виде 1,00.

3. Найти модуль отклонения от среднего значения для каждого результата прямого измерения:

$$|\Delta U_{\text{сп}}| = |U_{\text{ср}} - U_i| \quad |\Delta I_{\text{сп}}| = |I_{\text{ср}} - I_i|$$

Результаты записать в таблице 3.

4. Рассчитать погрешности измеренных величин – случайную и суммарную. Случайные погрешности для числа измерений $n = 5$ и надежности (доверительной вероятности) $P = 0,95$ рассчитываются по формулам:

$$\Delta U_{\text{сл}} = 2,78 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta U_i)^2}{n(n-1)}}, \quad \Delta I_{\text{сл}} = 2,78 * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta I_i)^2}{n(n-1)}}$$

5. Далее вычисляется суммарная погрешность по следующим формулам:

$$\Delta U = \sqrt{(\Delta U_{\text{сл}})^2 + (\Delta U_{\text{инс}})^2}, \quad \Delta I = \sqrt{(\Delta I_{\text{сл}})^2 + (\Delta I_{\text{инс}})^2},$$

6. Записать результаты измерений линейных величин с учетом правил округления в виде:

$$U = U_{\text{ср}} \pm \Delta U, \quad I = I_{\text{ср}} \pm \Delta I$$

7. Рассчитать относительные погрешности:

$$\partial_U = \frac{\Delta U}{U_{\text{ср}}}, \quad \partial_I = \frac{\Delta I}{I_{\text{ср}}},$$

8. Рассчитать погрешность мощности генерации фотоэлектрической панели по следующей формуле:

$$\Delta P_{\text{сп}} = P_{\text{ср}} * \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2}$$

9. Рассчитать фактическое значение мощности генерации фотоэлектрической панели:

$$P_{\text{сп}} = P_{\text{ср}} + \Delta P_{\text{сп}}$$

10. Сделать вывод по выполненной работе.

4. Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми, какие - косвенными?
2. Что называется абсолютной и относительной погрешностью измерений физической величины?
3. Как определяются предельная инструментальная, случайная, суммарная погрешности измерений?
4. Как определяется погрешность табличной величины?
5. Что называется доверительным интервалом?
6. Правила округления погрешности измерения.

Лабораторная работа №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ОТ ОСВЕЩЕННОСТИ

Цель работы:

Ознакомление с приемами определения зависимости электротехнических величин солнечной панели от внешних параметров.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 4 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №2.

Таблица 4.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
1.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
2.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
3.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
4.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
5.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
6.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости
7.	Люксометр	1	Измерение освещенности

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}} * \cos A$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А; $\cos A$ – коэффициент мощности солнечной панели, принимается в виде 1,00.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 5 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 5.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-
2.	Люксометр	0-10 000,00	лк	$\leq 0,15\%$	-

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр, люксометр и ноутбук.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 45° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 4.

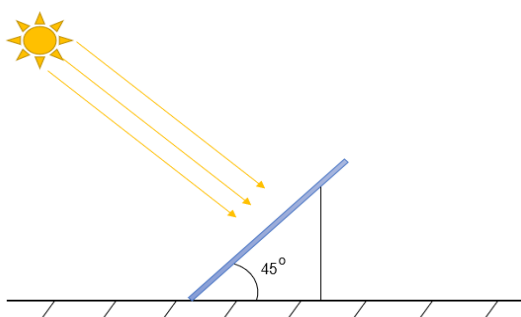


Рисунок 4 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 5. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 5 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра и освещенности с помощью люксметра с интервалом 5 минут.

8. Измерить необходимые величины не менее 6 раз в течение 30 минут.

9. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

10. Результаты измерений записать в таблице 6.

Таблица 6.

№ п/п	U_i , В	I_i , А	$P_{сп}$, Вт	E , лк	Время, мм/чч	Вид погоды
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

3. Обработка результатов опыта

1. Построить график зависимости напряжения (U) от освещенности (E) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

2. Построить график зависимости силы тока (I) от освещенности (E) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

3. Построить график зависимости мощности (P) от освещенности (E) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

4. При определении уравнения зависимости проверить на точность выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений освещенности (E), где разброс конечных значений U , I и P не должно превышать $\pm 15\%$.

5. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от освещенности.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое солнечная панель?
2. Расскажите о принципе работы солнечной электростанции?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от освещенности?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от освещенности?
5. Что такое люксометр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о принципе выработки электроэнергии от солнечной панели.

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ОТ ПЛОЩАДИ ПАНЕЛИ

Цель работы:

Ознакомление с приемами определения зависимости электротехнических величин солнечной панели от внешних параметров.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 7 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №3.

Таблица 7.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
1.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
2.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
3.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
4.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
5.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
6.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости
7.	Плотный хлопчатый материал	1	Накрытие панели

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}} * \cos A$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А; $\cos A$ – коэффициент мощности солнечной панели, принимается в виде 1,00.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 8 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 8.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр и ноутбук.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 45° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 6.

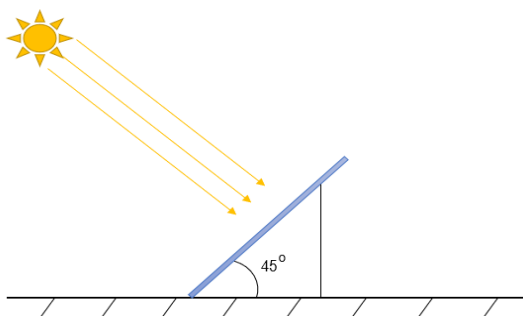


Рисунок 6 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 7. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 7 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра с интервалом 5 минут с учетом ОБЯЗАТЕЛЬНОГО НАКРЫТИЯ поверхности солнечной панели с помощью плотного хлопчатого материала, начиная от 10% площади фотоэлектрической панели до 100% (на каждый шаг 10% поверхности).

8. Измерить площадь ($S_{\text{сп}}$) освещенной части фотоэлектрической панели на каждый шаг.

9. Измерить необходимые величины не менее 10 раз в течение 50 минут.

10. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

11. Результаты измерений записать в таблице 9.

Таблица 9.

№ п/п	U_i , В	I_i , А	$S_{\text{сп}}$, м ²	Е, лк	Время, мм/чч	Вид погоды
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						

3. Обработка результатов опыта

1. Построить график зависимости напряжения (U) от площади освещаемой части фотоэлектрической панели (S) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

2. Построить график зависимости силы тока (I) от площади освещаемой части фотоэлектрической панели (S) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

3. Построить график зависимости мощности (P) от площади

освещаемой части фотоэлектрической панели (S) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

4. При определении уравнения зависимости проверить на точность выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений площади освещаемой части фотоэлектрической панели (S) где разброс конечных значений U, I и P не должно превышать $\pm 15\%$.

5. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от площади.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое контроллер заряда?
2. Расскажите о принципе работы сетевого инвертора?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от площади солнечной панели?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от площади солнечной панели?
5. Что такое мультиметр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках солнечной энергетики.

Лабораторная работа №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГЕНЕРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ОТ УГЛА НАКЛОНА

Цель работы:

Определение зависимости электроэнергетических параметров солнечной панели от угла наклона относительно поверхности земли.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 1 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №1.

Таблица 1.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
8.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
9.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
10.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
11.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
12.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
13.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости
14.	Смартфон с функцией углометра	1	Измерение угла наклона

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}}$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра и угол наклона солнечной панели посредством использования смартфона с функцией углометра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.
- При измерении силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр

включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 0-20 Ампер.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 2 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 2.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
12.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-
2.	Смартфон с функцией углометра	0-180,00	Градус	$\leq 1,00\%$	-

13. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр, смартфон и ноутбук.

14. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

15. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 45° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 2.

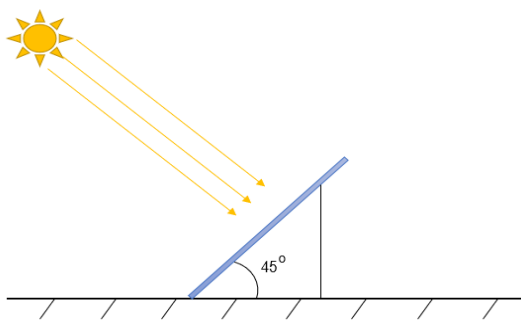


Рисунок 2 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

16. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 3. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 3 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

17. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

18. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра при ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ угла наклона солнечной панели на 1° в пределах (30° ; 45°).

19. Измерить угла наклона солнечной панели на каждый шаг с интервалом 1 градус на 4 минуты.

20. Измерить необходимые величины не менее 15 раз в течение 60 минут.

21. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

22. Результаты измерений записать в таблице 3.

Таблица 3.

№ п/п	U_i , В	I_i , А	$P_{\text{сп}}$	α , град	Время, мм/чч	Вид погоды
13.				30		
14.				31		
15.				32		
16.				33		
17.				34		
18.				35		
19.				36		
20.				37		
21.				38		
22.				39		
23.				40		
24.				41		
25.				42		
26.				43		
27.				44		

28.				45		
-----	--	--	--	----	--	--

3. Обработка результатов опыта

6. Построить график зависимости напряжения (U) от угла наклона солнечной панели (α) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

7. Построить график зависимости силы тока (I) от угла наклона солнечной панели (α) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

8. Построить график зависимости мощности (P) от угла наклона солнечной панели (α) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

9. При определении уравнения зависимости проверить на точность выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений от угла наклона солнечной панели (α) относительно поверхности земли, где разброс конечных значений U , I и P не должно превышать $\pm 15\%$.

10. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от освещенности.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое контроллер заряда?
2. Расскажите о принципе работы сетевого инвертора?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от площади солнечной панели?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от угла наклона солнечной панели (α) относительно поверхности земли?
5. Что такое мультиметр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках солнечной энергетики.

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Цель работы:

Определение температурного коэффициента электроэнергетических параметров солнечной панели в осенний период.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 4 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №2.

Таблица 4.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
1.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
2.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
3.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
4.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
5.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
6.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}}$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.
- При измерении силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 0-20 Ампер.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 5 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 5.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-
2.	Цифровой термометр	-60; +100	Град. Цельсия	$\pm 2,00^{\circ}\text{C}$	

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр, смартфон и ноутбук.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 45° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 4.

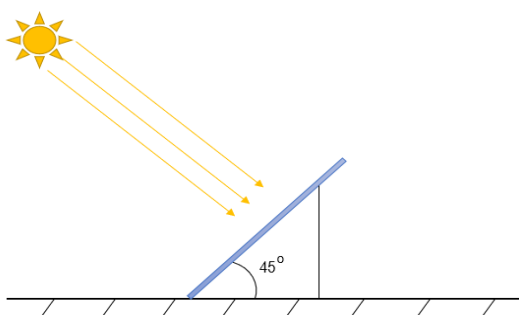


Рисунок 4 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 5. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 5 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (U) и силы тока (I) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра при ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ температуры окружающей среды (T).

8. Измерить температуру окружающей среды на каждый шаг с интервалом 1 градус шкалы Цельсия. В этой связи измерение параметров U, I и T рекомендуется произвести в разные дни, где температура меняется.

9. Измерить необходимые величины не менее 5 шагов в ОСЕННИЙ период, где предел изменения температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

10. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

11. Результаты измерений записать в таблице 6.

Таблица 6.

№ п/п	U _i , В	I _i , А	P _{сп}	T, °C	Время, мм/чч	Вид погоды
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

3. Обработка результатов опыта

1. Построить график зависимости напряжения (U) от температуры окружающей среды (T) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

2. Построить график зависимости силы тока (I) от температуры окружающей среды (T) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

3. Построить график зависимости мощности (P) от температуры окружающей среды (T) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

4. При определении уравнения зависимости проверить на точность

выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений от температуры окружающей среды (T), где разброс конечных значений U , I и P не должно превышать $\pm 15\%$.

5. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (T).

6. Принять зависимость напряжения (U) от температуры окружающей среды (T) в виде линейной функции и найти итоговый температурный коэффициент.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое цифровой термометр?
2. Расскажите о принципе работы солнечной панели?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от температуры воздуха?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (T)?
5. Что такое мультиметр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках солнечной энергетики.

Лабораторная работа №6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Цель работы:

Определение температурного коэффициента электроэнергетических параметров солнечной панели в зимний период.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 7 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №3.

Таблица 7.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
1.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
2.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
3.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
4.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
5.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
6.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}}$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.
- При измерении силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 0-20 Ампер.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 8 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 8.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-
2.	Цифровой термометр	-60; +100	Град. Цельсия	$\pm 2,00^{\circ}\text{C}$	

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр, смартфон и ноутбук.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 60° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 6.

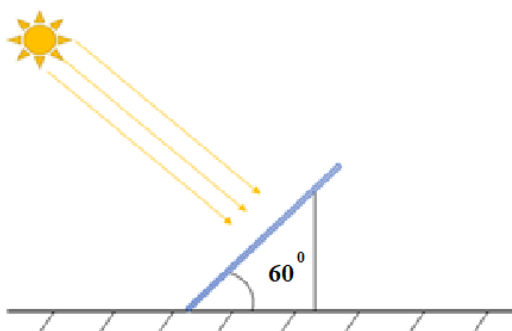


Рисунок 6 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 7. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 7 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра при ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ температуры окружающей среды (Т).

8. Измерить температуру окружающей среды на каждый шаг с интервалом 1 градус шкалы Цельсия. В этой связи измерение параметров U , I и T рекомендуется произвести в разные дни, где температура меняется.

9. Измерить необходимые величины не менее 5 шагов в ЗИМНИЙ период, где предел изменения температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

10. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

11. Результаты измерений записать в таблице 9.

Таблица 9.

№ п/п	U_i , В	I_i , А	$P_{\text{сп}}$	T , $^{\circ}\text{C}$	Время, мм/чч	Вид погоды
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

3. Обработка результатов опыта

1. Построить график зависимости напряжения (U) от температуры

окружающей среды (Т) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

2. Построить график зависимости силы тока (I) от температуры окружающей среды (Т) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

3. Построить график зависимости мощности (Р) от температуры окружающей среды (Т) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

4. При определении уравнения зависимости проверить на точность выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений от температуры окружающей среды (Т), где разброс конечных значений U, I и Р не должно превышать $\pm 15\%$.

5. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (Т).

6. Принять зависимость напряжения (U) от температуры окружающей среды (Т) в виде линейной функции и найти итоговый температурный коэффициент.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое цифровой термометр?
2. Расскажите о принципе работы солнечной панели?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от температуры воздуха?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (Т) в зимний период?
5. Что такое мультиметр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках солнечной энергетики в зимний период.

Лабораторная работа №7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ

Цель работы:

Определение температурного коэффициента электроэнергетических параметров солнечной панели в весенний период.

1. Перечень используемого оборудования

В таблице 10 представляется перечень используемого и необходимого оборудования для проведения Лабораторной работы №4.

Таблица 10.

№	Наименование оборудования	Кол-во	Назначение
12.	Фотоэлектрическая панель SM 150-12 Р	1	Генерация электроэнергии от солнечного света
13.	Гибридный контроллер мощностью 650 Вт	1	Направление заряда в АКБ
14.	Аккумуляторная батарея 75 А*Ч	1	Накопление электроэнергии
15.	Инвертор 12/220 мощностью 600 Вт	1	Преобразование электроэнергии
16.	Мультиметр	1	Измерение напряжения и силы тока
17.	Ноутбук с программой MS Office Excel	1	Расчет зависимости

2. Описание метода измерений

Расчет мощности генерации солнечной панели представлен в следующем формуле:

$$P_{\text{сп}} = U_{\text{сп}} * I_{\text{сп}}$$

где $P_{\text{сп}}$ – расчетная мощность солнечной панели, Вт; U – фактическое напряжение солнечной панели, В; $I_{\text{сп}}$ – фактическая сила тока солнечной панели, А.

Непосредственно измеряются фактические показатели напряжения ($U_{\text{сп}}$) и силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели посредством использования мультиметра.

Вместе с тем перед проведением измерений мультиметр настраивается следующим образом:

- При измерении напряжения ($U_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 12-200 Вольт.
- При измерении силы тока ($I_{\text{сп}}$) солнечной панели мультиметр включается в режим постоянного тока для измерения в пределах 0-20 Ампер.

2. Порядок выполнения работы

1. В таблице 11 представляется перечень измерительных приборов.

Таблица 11.

№ п/п	Название прибора	Пределы измерения	Цена деления	Инструментальная погрешность	Поправка на сдвиг нуля
1.	Мультиметр с функцией	-	-	-	-
1.1	Вольтметр	2,00-600,00	Вольт	$\leq 0,15\%$	-
1.2	Гальванометр	0,10-10,00	Ампер	$\leq 0,15\%$	-
2.	Цифровой термометр	-60; +100	Град. Цельсия	$\pm 2,00^{\circ}\text{C}$	

2. Визуально проверить физическую исправность используемого оборудования, такие как: фотоэлектрическая панель, контроллер заряда, аккумуляторная батарея, инвертор, мультиметр, смартфон и ноутбук.

3. Проверить уровень заряда аккумуляторной батареи, где величина заряда равна не менее 30% и не более 90%.

4. Разместить фотоэлектрическую панель на поддерживающую конструкцию при наклоне 30° относительно поверхности земли в соответствии с рисунком 8.

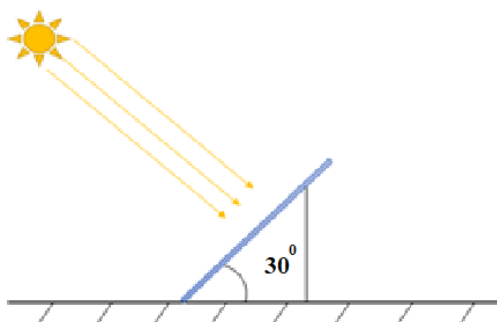


Рисунок 8 – Общий вид размещения фотоэлектрической панели

5. Соединить используемые оборудования из п. 1, 2, 3 и 4. в соответствии с таблицей 4 по общей схеме, представленной на рисунке 9. При соединении кабелей оборудования обязательно следовать правилам фазировки, а именно: соединять кабели строго «+» к «+» и «-» к «-»



Рисунок 9 – Общая блок-схема соединения лабораторной установки

6. После соединения необходимого оборудования в соответствии с рисунком 5 включить подачу питания со стороны фотоэлектрической панели посредством замыкания фазового кабеля данной панели в контроллер заряда.

7. Начать измерение напряжения (В) и силы тока (А) со стороны фотоэлектрической панели посредством использования мультиметра при ОБЯЗАТЕЛЬНОМ ИЗМЕНЕНИИ температуры окружающей среды (Т).

8. Измерить температуру окружающей среды на каждый шаг с интервалом 1 градус шкалы Цельсия. В этой связи измерение параметров U, I и T рекомендуется произвести в разные дни, где температура меняется.

9. Измерить необходимые величины не менее 5 шагов в ВЕСЕННИЙ период, где предел изменения температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

10. Рассчитать мощность генерации солнечной панели с помощью вышеуказанной формулы в пункте 2 данной лабораторной работы.

11. Результаты измерений записать в таблице 12.

Таблица 12.

№ п/п	U_i , В	I_i , А	$P_{\text{сп}}$	T , $^{\circ}\text{C}$	Время, мм/чч	Вид погоды
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

3. Обработка результатов опыта

1. Построить график зависимости напряжения (U) от температуры

окружающей среды (Т) относительно поверхности земли на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

2. Построить график зависимости силы тока (I) от температуры окружающей среды (Т) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

3. Построить график зависимости мощности (Р) от температуры окружающей среды (Т) на базе программы MS Office Excel с использованием точечной диаграммы, функции «Добавить линию тренда» и показать уравнение зависимости.

4. При определении уравнения зависимости проверить на точность выведенного уравнения зависимости посредством введения различных значений от температуры окружающей среды (Т), где разброс конечных значений U, I и Р не должно превышать $\pm 15\%$.

5. Сделать вывод по выполненной работе и приведением анализа зависимости генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (Т).

6. Принять зависимость напряжения (U) от температуры окружающей среды (Т) в виде линейной функции и найти итоговый температурный коэффициент.

4. Контрольные вопросы

1. Что такое цифровой термометр?
2. Расскажите о принципе работы солнечной панели?
3. Какие виды зависимостей есть у мощности генерации солнечной панели от температуры воздуха?
4. Как определяется зависимость мощности генерации солнечной панели от температуры окружающей среды (Т) в весенний период?
5. Что такое мультиметр и как делать на нем измерения?
6. Расскажите о преимуществах и недостатках солнечной энергетики в весенний зимний период.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков Э.Н. (2017), «Солнечная энергетика может стать одним из ключевых факторов формирования нового технологического цикла», в сборнике: Промышленная энергетика. 2017.
2. Бессель В.В., Кучеров В.Г., Мингалеева Р.Д. Изучение солнечных фотоэлектрических элементов: Учебно-методическое пособие. – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016.
3. Андрей Повный. Как устроены и работают солнечные батареи [Электронный ресурс] режим доступа <https://recyclemag.ru/article/kak-ustroeny-i-rabotajut-solnechnye-batarei> (Дата обращения: 25.04.2020).
4. Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. Исследование и моделирование процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт. В материалах X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2019» (МНТК «ИМТОМ–2019»). Ч. 2. – Казань, 2019. – С. 436-439.
5. Нуруллин Э.Г., Местников Н.П., Альзаккар А.М-Н. Исследование зависимости электроэнергетических процессов солнечной электростанции СЭ-150. Диспетчеризация и управление в электроэнергетике: матер. XV Всерос. открытой молод. науч.-практ. конф. (Казань 21–22 октября 2020 г.) / редкол. Э.Ю. Абдуллазянов (отв. редактор) [и др.]. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2020. – 403 с.
6. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 128.
7. Общая энергетика (электронный ресурс): уч. пособие\ А.Ф.Константинов\.-Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020.-1-электрон.опт. диск ISBN 978-5-7513-2905-1.
8. Нуруллин Э.Г., Основы научных исследований: Учебное пособие / Э.Г. Нуруллин, - Казань: Казанский ГАУ, 2017 – С. 108.
9. Д.В. Рыжков., Методические указания к выполнению выпускной квалификационной работы магистра. Для магистров очной и заочной формы обучения направления подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», по программе магистратуры «Энергообеспечение предприятий» и «Перспективные технологии эффективного использования

топливно-энергетических ресурсов» / Сост.: Д.В. Рыжков. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 52 с.

10. Шерьязов. С.К., Шелубаев М.В. Использование ветроустановки в системе электроснабжения// Вестник КрасГАУ. 2010. — №4. С 210-213.

11. Соломин Е.В. Методологические основы разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок для агропромышленного комплекса России: автореф.дис. на соиск. учен.степ. доктора техн. наук(12.11.12)/ Соломин Евгений Викторович; Барнаул,2012. – С.3-4.

12. Лаптева Е.А., Сайтбалов М.В. Монография / Тепломассообмен и энергоэффективность противоточных пленочных аппаратов; под ред. А. Г. Лаптева ; ФГБОУ ВПО "КГЭУ". - М. : Теплотехник, 2014. - 207 с.

Учебное издание
Местников Николай Петрович
Альзаккар Ахмад Мухаммед-Насер
ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА
Учебно-методическое пособие

Дата подписания к использованию 18.05.2021.

Тираж 10 экз. Заказ № 707

Издательство
Отпечатано с готовых оригинал-макетов
в типографии ООО РИЦ «ОФСЕТ»
677008, г. Якутск, ул. Билибина 10, 10А, тел. 36-92-91