

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра Відновлюваних джерел енергії  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Кізь Олексія Юрійовича  
(ПІБ)

академічної групи 141м-17-3  
(шифр)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії  
(офіційна назва)

на тему Прогнозування генерації вироблення електричної енергії на основі  
(назва за наказом ректора)

даних про погодні умови

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Ципленков Д.В.			
розділів:				
Розділ 1	Ципленков Д.В.			
Розділ 2	Ципленков Д.В.			
Розділ 3				

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	Ципленков Д.В.			
----------------	----------------	--	--	--

Дніпро  
2018

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
Відновлюваних джерел енергії  
(повна назва)

Шкрабець Ф.П.  
\_\_\_\_\_  
(підпис)                      (прізвище, ініціали)  
" \_\_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**кваліфікаційної роботи ступеню \_\_\_\_\_ магістра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Кізь О.Ю. академічної 141м-17-3  
\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)                      групи                      (шифр)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
\_\_\_\_\_  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії  
\_\_\_\_\_  
(офіційна назва)

на тему Прогнозування генерації вироблення електричної енергії на основі  
\_\_\_\_\_  
(назва за наказом ректора)  
даних про погодні умови  
\_\_\_\_\_

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.11.18 № 1913-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічний	Привести актуальність проблеми генерування електричної енергії від ВДЕ та огляд обладнання метеостанції	
Спеціальний	Привести огляд основних методів прогнозування електричної енергії від ВДЕ, розробити методіку та програмне забезпечення на її основі для функціонування метеостанції	
Економічний	Виконати розрахунки витрат при розробці ПЗ	

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)                      (прізвище, ініціали)

Дата видачі **10.10.2018**

Дата подання до екзаменаційної комісії **26.12.18**

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)                      (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 77 страниц, 6 таблицы, 23 рисунка, 54 источников.

Объект разработки: метеостанция и метеоданные для обеспечения прогнозирования выработки электроэнергии.

Цель дипломной работы: привести обзор основных методов прогнозирования для солнечной и ветроэнергетики, а также программное обеспечение для определения данных погодных условий для прогнозирования.

Во введении описывается наличие проблемы с генерацией электрической энергии с использованием источников возобновляемой энергии и предлагается некоторые способы реализации их решения с помощью прогнозирования.

В первом разделе приведено актуальность и проблемы возобновляемых источников энергии. Основные проблемы для выработки от этих источников и пути их решения. Приведен обзор применяемого оборудования на примере готовой метеостанции.

Во втором разделе приводится обзор основных методов прогнозирования генерации электрической энергии в солнечной и ветроэнергетике. Выполняется расчет по приведенной методике и приводится программный код для работы метеостанции.

В экономическом разделе определена трудоемкость при обработке программного продукта и рассчитаны затраты на создание программного кода.

МЕТЕОСТАНЦИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ МЕТЕОСТАНЦИИ, РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ, АРДУИНО.

## ABSTRACT

Explanatory note: 77 pages, 6 tables, 23 figures, 54 sources.

The object of development: meteorological station and weather data to ensure the prediction of electricity generation.

The purpose of the thesis: provide an overview of the main forecasting methods for solar and wind energy, as well as software for determining weather data for forecasting.

The introduction describes the existence of a problem with the generation of electrical energy using renewable energy sources and proposes some ways to implement their solution using prediction.

The first section presents the relevance and problems of renewable energy sources. The main problems for the development of these sources and their solutions. An overview of the equipment used at the weather station.

The second section provides an overview of the main methods for predicting the generation of electrical energy in solar and wind energy. The calculation is performed according to the above methodology and the program code for the meteorological station is provided.

In the economic section, there is a certain labor intensity in the processing of a software product and the costs of creating software code are calculated.

WEATHER STATION, SOLAR ENERGY FORECASTING, WIND ENERGY FORECASTING, WEATHER STATION EQUIPMENT, PROGRAM DEVELOPMENT, ARDUINO.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 77 сторінок, 6 таблиць, 23 рисунків, 54 джерел.

Об'єкт розробки: метеостанція та метеоданні для забезпечення прогнозування генерації електроенергії.

Мета дипломної роботи: привести огляд основних методів прогнозування для сонячної та вітроенергетики, а також програмне забезпечення для визначення даних погодних умов для прогнозування.

У вступі описується наявність проблемі з генерацією електричної енергії з використанням відновлювальних джерел енергії і пропонуються деякі способи реалізації їх вирішення за допомогою прогнозування.

У першому розділі приводиться актуальність і проблеми відновлювальних джерел енергії. Загальні проблеми для генерування від цих джерел та шляхи їх вирішення. Приводиться огляд використовуваного устаткування на прикладі готової метеостанції.

У другому розділі проводиться огляд основних методів прогнозування генерації електричної енергії для сонячної та вітроенергетики. Виконується розрахунок згідно приведеної методики та приводиться програмний код для функціонування метеостанції.

В економічному розділі розрахована трудомісткість при обробці програмного продукту і розраховані витрати на створення програмного коду

**МЕТЕОСТАНЦІЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ПРОГНОЗУВАННЯ ВІТРОЕНЕРГІЇ, ОБЛАДНАННЯ МЕТЕОСТАНЦІЇ, РОЗРОБКА ПРОГРАМИ, АРДУІНО.**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b>	8
<b>Раздел 1 Анализ метеобеспечения систем с возобновляемыми источниками энергии</b>	9
1.1 Проблема и актуальность возобновляемых источников энергии	9
1.2 Зависимость выработки электрической энергии возобновляемыми источниками энергии от погодных условий	12
1.2.1 Солнечная энергия	12
1.2.2 Энергия движения воздушных масс	13
1.3 Пути решения проблем выработки электроэнергии с использованием возобновляемых источников энергии и основных систем	15
1.3.1 Децентрализованная система	15
1.3.2 Система аккумуляции	18
1.3.3 Система контроля	19
1.4 Метеостанция. Обзор оборудования метеостанции	21
1.4.1 Анемометр	24
1.4.2 Флюгер	26
1.4.3 Барометр	27
1.4.4 Термогигрометр	28
1.4.5 Пиранометр	30
1.4.6 Дождемер (плювиометр)	32
1.4.7 Пиргелиометр	34
1.5 Вывод по разделу	35
<b>Раздел 2 Анализ методов прогнозирования и разработка программного обеспечения для метеостанции</b>	36
2.1 Техническая реализация прогнозирования	36
2.2 Актуальность прогнозирования выработки электроэнергии от возобновляемых источников энергии	37

2.2.1 Прогнозирование генерации от солнечных панелей	37
2.2.2 Прогнозирование генерации в ветроэнергетике	39
2.3 Методы реализации прогнозирования	40
2.3.1 Прогнозирование для солнечной энергии	40
2.3.2 Методы с использованием массива данных параметров ветра за прошедший срок для одной турбины	45
2.3.3 Методы с использованием метеорологической информации для одной турбины	46
2.3.4 Методы прогнозирования энергии ветра для ветропарка с использованием массива данных параметров ветра за прошедший срок	47
2.4 Калибровка датчиков и выходные данные для прогнозирования	49
2.4.1 Калибровка датчика направления ветра	50
2.4.2 Калибровка датчика скорости ветра	52
2.4.3 Калибровка датчика атмосферного давления	55
2.4.4 Калибровка датчика температуры и влажности	56
2.4.5 Калибровка датчика интенсивности солнечного излучения	60
2.5 Описание созданного программного пакета	62
2.6 Вывод по разделу	64
<b>Раздел 3 Технико-экономическое обоснование</b>	<b>65</b>
3.1 Определение трудоемкости обработки программного продукта	65
3.2 Расчет затрат на создание программного продукта	68
3.3 Вывод по разделу	70
<b>Общие выводы</b>	<b>72</b>
<b>Список использованных источников</b>	<b>73</b>
<b>Приложение А</b>	<b>78</b>
<b>Приложение Б</b>	<b>79</b>

## ВВЕДЕНИЕ

С развитием новых технологий рост нужды человечества в электроэнергии возрастает с каждым днем. Развитие различных источников энергии набирает оборот. Одним из стремительно развивающихся можно обозначить именно альтернативную энергетику. На сегодняшний день, понятие альтернативной энергетики ассоциируется с преимущественно чистой, экологичной и неиссякаемой энергией.

Одним из видов альтернативной энергетики является солнечная и ветроэнергетика. Эти два направления приобрели огромную популярность, ведь они являются источниками децентрализованного энергоснабжения, что позволяет им вырабатывать электричество для объектов, удаленных от общей энергосистемы. Нельзя не заметить, что эти ресурсы наиболее всего зависят от погоды, характер которой, в основном переменчив.

Основными путями решения такой проблемы является именно прогнозирование выработки электрической энергии от данных типов возобновляемых источников. Технологии прогноза погоды постоянно совершенствуются, появляются все большее разнообразия методов прогнозирования, которые опираются на все более точные прогнозы погоды, анализ статистических данных. Методы прогнозирования, в основном, в своем алгоритме действия используют данные погодных условий на базе предыдущих и действующих значений. С этой целью используются специальные метеостанции, включающие в себя набор разнообразных датчиков.

Однако для качественной оценки и определения погодных параметров, необходимо четкая настройка и калибровка, в связи с чем, появляется необходимость в контроле специальным программным обеспечением

Данная работа подразумевает как теоретическую базу, так и практическую часть, которая была выполнена во время прохождения практики в университете немецкого города Ройтлинген.



## РАЗДЕЛ 1

### АНАЛИЗ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

#### 1.1 Проблема и актуальность возобновляемых источников энергии

На сегодняшний день, роль возобновляемых источников энергии в Украине и мире быстрым темпом увеличивает свое значение и популярность. Все больше стран мира повышают долю нетрадиционных источников энергии по отношению к традиционным. Эта тенденция роста связана с неиссякаемым потенциалом ВИЭ, довольно малым сроком окупаемости электростанций на их основе, потенциалом использования в любой точке планеты возможностью перехода на определенный уровень автономности потребления энергии некоторыми предприятиями и частными потребителями, что в результате приводит к довольно немалому уровню экономии, так как затраты на их использование снижаются и стабильны, тогда как общая ценовая тенденция для ископаемых видов топлива находится в обратном направлении, а также с достаточно высоким уровнем экологичности данного вида энергии сравнительно традиционными источниками, а именно тем что они не производят ни парниковых газов, которые вызывают изменение климата, ни загрязняющих выбросов.

Развитие чистой энергии имеет жизненно важное значение для борьбы с изменением климата и ограничения его самых разрушительных последствий. Проблема глобального потепления ежегодно набирает обороты, ускоряя свой рост. Температура Земли повысилась в среднем на  $0,85^{\circ}\text{C}$  с конца XIX века, заявляет National Geographic в своем специальном выпуске в ноябре 2015 года об изменении климата [1].

Возобновляемые источники энергии получили важную поддержку со стороны международного сообщества в рамках Парижского соглашения, подписанного на Всемирном саммите по вопросам климата, которое состоялось во французской столице в декабре 2015 года.

Соглашение, которое вступит в силу в 2020 году, устанавливает в первый раз в истории обязательную глобальную задачу. Почти 200 стран, подписавших Конвенцию, обязались сократить объем эмиссии вредных веществ, для того чтобы средняя температура планеты в конце текущего столетия оставалась «значительно ниже» 2 °С, а именно предела выше которого изменение климата будет иметь более катастрофические последствия. Цель состоит в том, чтобы попытаться сохранить его в пределах 1,5 °С.

Аналогичным образом, переход к энергетической системе, основанной на возобновляемых технологиях, будет иметь очень позитивные экономические последствия. По данным Международного агентства по возобновляемой энергии (IRENA), удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 36% к 2030 году приведет к дополнительному глобальному росту на 1,1% ежегодно (что эквивалентно 1,3 трлн долларов), а также повысит уровень занятости в этом секторе до более чем 24 миллионов человек, по сравнению с 9,2 миллионами на сегодняшний день [1].

Подводя итог об актуальности возобновляемых источников энергии можно выделить ряд некоторых преимуществ, а именно:

- Изменение климата и экологичность;
- Неистощаемость;
- Снижение энергетической зависимости;
- Конкурентоспособность.

Рассмотрим их.

#### *Изменение климата и экологичность.*

Возобновляемые источники энергии не выделяют парниковые газы в процессах производства энергии, что делает их самым чистым, самым жизнеспособным решением для предотвращения ухудшения состояния окружающей среды.

### *Неистощаемость.*

По сравнению с обычными источниками энергии, такими как уголь, газ, нефть и ядерные запасы, которые являются конечными, чистая энергия является доступной и бесконечной так как, к примеру солнечные лучи, падающие на землю или движение воздушных масс, как естественных циклов, также бесконечны, отсюда и их название «возобновляемые источники энергии». Это делает их неотъемлемым элементом в устойчивой энергетической системе, которая позволяет развивать энергетику без риска для будущих поколений.

### *Снижение энергетической зависимости.*

Коренная природа чистых источников энергии дает преимущество местной экономике и придает смысл термину «энергетическая независимость». Зависимость от импорта ископаемого топлива приводит к зависимости экономических и политических краткосрочных целей страны-поставщика, что может поставить под угрозу стабильность энергоснабжения. Но везде в мире есть возобновляемый ресурс - будь то ветер, солнце, вода или органический материал - доступный для устойчивого использования энергии.

### *Конкурентоспособность.*

Основные технологии ВИЭ, такие как ветротурбины и солнечные фотопанели, резко сокращают их затраты, так как они полностью конкурируют с обычными источниками во все больших аспектах и способах применения. Эффект масштабов и инноваций уже привел к тому, что возобновляемые источники энергии становятся наиболее устойчивым решением, не только экологически, но и экономически, для обеспечения электроэнергией всего мира.

## 1.2 Зависимость выработки электрической энергии возобновляемыми источниками энергии от погодных условий

### 1.2.1 Солнечная энергия

Как известно, выработка электроэнергии возобновляемыми источниками прямо и полностью зависит от погоды того или иного региона или области. Так в некоторой местности, к примеру преобладающей солнечной погодой, безоблачным климатов и малыми ветровыми потоками, целесообразней использовать энергию солнца, и наоборот в областях с более мощным ветровым потенциалом – энергию ветра, а также устанавливать гибридные системы генерации на основе ВИЭ на территориях с переменным климатом, что повысит уровень бесперебойности выработки энергии. Однако существуют различные проблемы генерации электроэнергии от ВИЭ. Одной из таких, довольно существенных, проблем является нестабильность выработки электрической энергии. Связанна она непосредственно с погодными условиями.

Солнечное излучение, величина не постоянная и зависит от многих факторов – от времени года, времени суток, географического положения и погодных условий. Выработку электроэнергии от этого излучения можно вычислить, пользуясь формулой(1.1):

$$E = \frac{I \cdot K_o \cdot V_{\text{модуля}} \cdot K_{\text{пот}}}{U_{\text{испыт}}}, \quad (1.1)$$

где  $I$  – интенсивность солнечного излучения, попадающее на поверхность Земли в горизонтальной плоскости  $\left[\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}\right]$ ,  $V_{\text{модуля}}$  – номинальная мощность солнечной батареи [кВт],  $U_{\text{испыт}}$  – интенсивность солнечной радиации, при которой фотоэлектрические модули тестируются (условия STC), то есть  $1000 \text{ Вт/м}^2$ ,  $K_o$  – поправочный коэффициент (табличное значение),  $K_{\text{пот}}$  –

коэффициент, учитывающий потери солнечной батареи при преобразовании и передаче электроэнергии.

Из выражения (1.1) видно, что количество энергии вырабатываемой солнечными модулями имеет прямопропорциональную зависимость от количества солнечного излучения. Учитывая, что остальные параметры, такие как, к примеру, номинальная мощность солнечной батареи относительно постоянные величины, то можно сделать вывод, что именно интенсивность излучения имеет внушительное влияние. А общая доля от всех потерь, связанных с этим параметром – может достигать 13%.

Так же нельзя не учитывать температуру окружающей среды. Общие потери энергии при преобразовании солнечного излучения в фотоэлектрической системе, связанные с ростом температуры модуля и составляют они 4-8% от общей вырабатываемой энергии и 30-35 % от количества всех потерь.

### 1.2.2 Энергия движения воздушных масс

Энергия ветра, являясь производной энергии Солнца, образуется за счет неравномерного нагревания поверхности Земли. Каждый час Земля получает 100 000 000 000 000 кВт·ч энергии Солнца. Около 1-2 % солнечной энергии преобразуется в энергию ветра[2]. Ветер, как первичный источник энергии, ничего не стоит. К тому же, этот источник энергии может использоваться децентрализованно.

Рассмотрим какую часть кинетической энергии ветра преобразует ветроколесо ВЭУ (Рис. 1.1).

Мощность ветрогенератора можно вычислить по формуле:

$$P_{ВЭУ} = 0.5 \cdot P_{п} \cdot \xi \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген}, \quad (1.2)$$

где  $P_{\Pi}$  – мощность ветрового потока проходящего через площадь ометания ветроколеса [Вт],  $\xi$  – коэффициент использования энергии ветра ( $C_p$ ),  $\eta_{ред}$  – КПД редуктора,  $\eta_{ген}$  – КПД генератора.

Отсюда,

$$P_{\Pi} = V^3 \cdot \rho \cdot S, \quad (1.3)$$

где  $V$  – скорость ветра [м/с],  $\rho$  – плотность воздуха [кг/м<sup>3</sup>],  $S$  – площадь, на которую дует воздушный поток [м<sup>2</sup>].

В реальных условиях максимально возможно получить 30-40% от потенциальной энергии воздушного потока. Это ограничение связано с технологическим и физическим выполнением ветрогенератора [2].

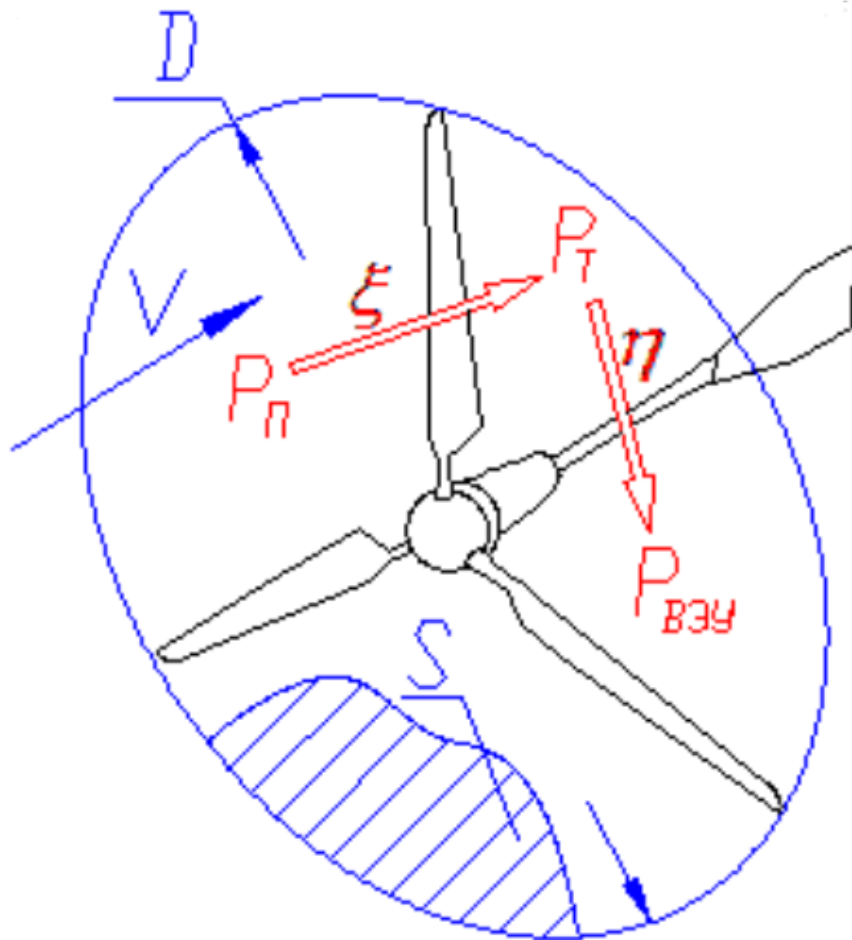


Рис.1.1 – Схема преобразования энергии ветра на ветроколесе

Следуя из выражений (1.2) и (1.3) можно сделать вывод, что вырабатываемая ветрогенератором электроэнергия сильно зависит от скорости ветрового потока, который приходится на ометаемую площадь ветроколеса. Например, уменьшение скорости ветра в 2 раза приведет к уменьшению мощности ветра в 8 раз, и наоборот. Зная заранее предполагаемые скорости ветра, можно использовать эту энергию наиболее эффективно.

Так же следует учитывать, что большая скорость ветра не всегда определяет большую генерацию энергии. Так как при больших скоростях ветра выработка электрической энергии (ЭЭ) может уменьшаться, связано это с типом ветрогенератора.

Такая зависимость от погодных условий может привести к недостаточно хорошей генерации ЭЭ, а также повлечь даже аварийные ситуации. Для этого следует знать среднюю скорость ветра для используемого того или иного региона.

### **1.3. Пути решения проблем выработки ЭЭ с использованием ВДЕ помощью основных систем**

#### **1.3.1 Децентрализованная система**

Децентрализованное производство электроэнергии является противоположностью централизованного производства электроэнергии, так как, источники, вырабатывающие энергию, не принадлежат к энергетической системе, а сохраняют свою автономность, создавая свою систему генерации, накопления и потребления этой энергии.

Энергетические системы в Европе в основном построены для размещения центральных электростанций, что означает крупные установки для сжигания ископаемого топлива, атомные станции и гидроэлектростанции. Эти тенденции стремительно меняются, все большей популярности

приобретают распределенные энергоресурсы, которые внедряются в энергосистему [3].

Распределенные энергетические ресурсы относятся к энергосистеме и, как предполагается, включают не только распределенную генерацию, но и реакцию на энергопотребление и спрос. Конечные пользователи становятся не только производителями, но и активными участниками операций балансировки сети.

Во-первых, распределенная генерация состоит из относительно небольших мощностей генерации, подключенных к распределительной сети (среднее и низкое напряжение: 110 кВ и ниже). Источник первичной энергии часто возобновляется (ветер, солнечная энергия, биомасса, биогаз, гидро, геотермальная или океаническая) и часто доступны на местном уровне.

Однако это определение не является ограничивающим, так как в некоторых случаях ископаемое топливо также может использоваться в качестве основного источника энергии. Поскольку ТЭЦ повышают энергоэффективность, они также являются частью ДГ, хотя в некоторых случаях они могут использовать ископаемое топливо. ТЭЦ часто используются местными игроками, такими как муниципалитеты, компании или домашние хозяйства.

Основными препятствиями для децентрализованных энергетических систем являются:

- увеличение требований к резервам из-за прерывистого и незапланированного производства
- необходимость прогнозирования;
- избыточное производство и хранение энергии;
- потребность в дополнительных услугах;
- эксплуатация и диапазон работы системы на уровне передачи и распределения;
- безопасность поставок;
- обновление сетевой инфраструктуры;
- гибкость.



Интеллектуальные сети или смарт-грид - это модернизированная сеть электроснабжения, которая использует информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации о производстве энергии и потреблении энергии, что автоматически повышает эффективность, надежность, экономические выгоды и устойчивость производства и распределения электроэнергии.

Реакция на спрос не обязательно экономит энергию, а скорее сдвигает энергетические нагрузки во времени. Это очень важно, поскольку оно потенциально позволяет избежать необходимости излишнего энергоснабжения в периоды низкого спроса или высокого предложения.

Управление небольшими конечными пользователями должно выполняться автоматически на уровне пользователя, для которого требуется онлайн-связь. В этом отношении интеллектуальные счетчики представляют собой ключевую технологию реакции на спрос. Распределительные сети также должны будут все шире развиваться в сторону интеллектуальных сетей.

Интеллектуальные сети являются активными и динамичными сетями электроснабжения, где они функционируют как посредник для активных конечных пользователей, в отличие от традиционной пассивной системы сверху вниз (однонаправленная, производитель-потребитель). Появление интеллектуальных сетей потребует значительных изменений в работе всех электросетей [4].

Не последним, но одним из основных частей и ключевым компонентом децентрализованной энергосистемы является накопление или аккумуляция выработанной энергии. Оно позволит хранить часть энергии, создаваемой прерывистыми источниками в часы низкого потребления, и подавать эту энергию обратно в энергосистему, когда это наиболее необходимо, например, в часы пик.

Аккумуляторы электро- и теплоэнергии, теплохранилища, хранилища сжатого воздуха и водорода уже приобрели популярность и активно используются на сегодняшний день. Новые технологии стремительно

развиваются, становясь все больше и больше актуальными, и перспективными для будущего хранения энергии [4].

### 1.3.2 Система аккумуляции

Одной из причин ограниченного использования нетрадиционных источников энергии является их нестабильность в работе: отсутствие солнечной энергии и ветра предопределяет периодичность энергоснабжения, а неравномерная скорость ветра и интенсивность солнечного излучения приводит к нестабильности энергетических характеристик.

Благодаря применению надежных и эффективных систем аккумуляции энергии повышается устойчивость энергосистем на основе ВИЭ, при этом обеспечивается не только стабильное и бесперебойное энергоснабжение потребителей, но и повышается коэффициент использования энергетического оборудования за счет накопления пиковой и низкопотенциальной энергии, которая не может быть использована потребителем без соответствующих преобразований.

Основными функциями аккумуляторов энергии в энергосистемах на основе ВИЭ являются:

- обеспечение бесперебойного энергоснабжения потребителей за счет накопления избыточной энергии с последующим ее использованием в периоды отсутствия или недостатка энергии;
- обеспечение оптимального режима работы источников энергии и потребителей за счет выравнивания колебаний в энергосистеме;
- повышение потенциала энергии до необходимого уровня при накоплении низкопотенциальной энергии;
- преобразование энергии одного вида в другой в зависимости от нужд потребителей.

В систему аккумуляции электроэнергии от ВИЭ можно отнести различные типы накопителей энергии: электрохимические батареи,

суперконденсаторы, сверхпроводящие устройства, ротационные, пневматические и другие. Они относятся к типу краткосрочных.

Наиболее доступным решением для пользователей является электрохимические аккумуляторы. Тем не менее, необходимость в расчете размера для обеспечения энергией и правильным ее распределением на короткие сроки имеет место и играет важную роль.

Электричество, генерируемое с использованием фотоэлектрических панелей, ветрогенераторов или других источников, ограничено наличием входной энергии в разных формах. Они имеют прямую зависимость от метеорологических явлений и погодных условий, как скорость ветра его температура, облачность и др.

В то же время важным фактором для проектирования системы аккумулирования является вид нагрузки и потребления энергии. Например, отличие в потреблении днем и ночью, в будние или праздничные дни.

Любой вид системы ВИЭ включает в себя СА для балансировки производства энергии в короткие периоды времени. СА обычно формируется последовательным параллельным подключением батарей. Наиболее часто используемыми типами батарей являются свинцово-кислотные батареи. Возможность прогнозирования выработки электроэнергии, даже на короткие сроки, позволило бы спроектировать СА наиболее точным и энергоэффективным образом и обеспечить более надежную систему обеспечения электрической энергией, и что самое главное более устойчивую.

### **1.3.3 Система контроля.**

В категории возобновляемых источников энергии системы солнечной энергии все чаще используются для получения чистого электричества.

Большая часть методов контроля в системах преобразования солнечной энергии на основе фотогальванического эффекта (состоящих из солнечных модулей преобразователей и электрического заряда) предполагает, что система солнечных модулей работает в максимальной точке мощности [5].

Эти структуры управления основаны на измерении электрической мощности (1.3):

$$P = UI, \quad (1.3)$$

а также изменении сопротивления нагрузки фотомодулей в целях обеспечения максимальной точки мощности.

Существует ряд методов, основанных на том что интенсивность солнечного излучения является постоянной:

- **Изменение сопротивления в соответствии с изменением мощности**

Этот метод управления основан на измерении вырабатываемой электроэнергии со временем и изменением сопротивления нагрузки в зависимости от (1.4) [6], [7]:

$$\Delta P_r = P_r(k) - P_r(k - 1), \quad (1.3)$$

где  $P_r(k)$  – электрическая мощность в момент времени  $t_k$ .

На первой фазе рабочая точка  $P_1$  находится вблизи максимальной точки мощности  $P_{\text{оптим}}$ , после рабочая точка перемещается в сторону  $P_4 \rightarrow P_5$ , в то время как сопротивление нагрузки увеличивается, как показано на рисунке 1.2.

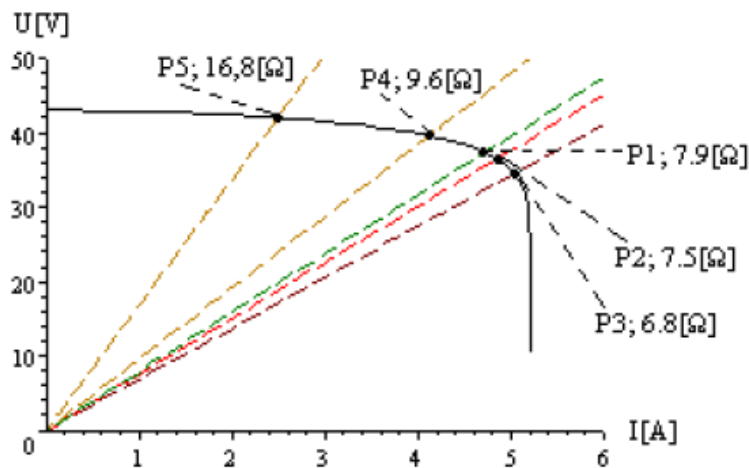


Рис. 1.2 – Изменение мощности при различных сопротивлениях нагрузок

Также, для контроля выработанной электрической энергии на СЭС или децентрализованных объектах, используют контроллеры. [8]

Электронный модуль, называемый контроллером для солнечной батареи, предназначен выполнять целый ряд контрольных функций в процессе заряда/разряда аккумулятора, сохраняющего энергию солнечной батареи.

- **Применение контроллеров заряда**

Существует два вида используемых на практике контроллеров заряда:

- PWM контроллер;
- MPPT контроллер.

Принцип работы PWM контроллера основан на алгоритмах широтно-импульсной модуляции. Данный вид контроллера своим функционалом уступает более современному, но работает на достаточно хорошем уровне эффективности.

MPPT контроллеры – своим принципом действия используют отслеживание точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking). Они более функциональны по сравнению с предыдущим типом, но имеют более высокую стоимость, а также их эффективность в выигрыше по мощности проявляется в полной мере при больших площадях фотоэлектрических столов. Поэтому они больше подходят для систем солнечной энергетики глобального назначения.

#### **1.4 Метеостанция. Обзор оборудования метеостанции.**

Для оценки и измерения погодных условий существуют специальные сооружения – метеостанции. Метеостанция представляет собой совокупность измерительных приборов для метеорологических измерений. Обычно их размещение регулируется особенностями ландшафта. Такие станции лучше размещать на отдаленных от близлежащих препятствий мест (деревья, здания, стены и т.д.), она должна быть легкодоступна для обслуживания отчистки и

ремонта, при размещении следует придерживаться определенных норм, правил и стандартов для отдельных измерительных приборов и оборудования. При соблюдении всех условий по размещению и установке можно добиться положительных результатов и получить более точные, а главное правильные данные о погодных условиях.

Обычно классические метеостанции имеют ряд стандартных приборов для измерения характеристик погодных условий. Рассмотрим это оборудование на примере обычной современной метеостанции университета Reutlingen Hochschule города Ройтлинген, Федеративной Республики Германия.

Метеостанция выполнена на алюминиевом каркасе из специального прочного профиля и крепится к крыше, специальными крепежами на стальную балку. Датчик температуры и влажности закреплен на затененной части крыши для обеспечения высокой точности измерения (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Внешний вид метеостанции

Датчики интенсивности солнечного излучения (пиранометры) были установлены согласно правилам и стандартам установки данного вида оборудования. Метеостанция имеет в наличии два пиранометра (рис. 1.4), пиранометр общей солнечной иррадиации и пиранометр с затеняющим кольцом.



Рис. 1.4 – Пиранометры

Данная метеостанция расположена на краю специального технического помещения на крыше одного из учебных корпусов (рис. 1.5). Вокруг не имеется особых препятствий для прохождения воздуха, попадания на датчик дождя воды, а также само помещение имеет защиту от попадания молнией, что позволяет удовлетворить все требования и рекомендации по установке каждого датчика.

Расположение в таком помещении обеспечивает стабильное подключение к Интернет сети через Wi-fi, а также все необходимые условия для электрических соединений проводников и подключения к сети университета, для дальнейшего приема данных и их обработки.

Данная метеостанция включает в себя набор датчиков, а именно:





Рис. 1.5 Расположение метеостанции на учебном корпусе университета

- датчик скорости ветра;
- датчик направления ветра;
- датчик атмосферного давления;
- датчик температуры и влажности;
- датчик интенсивности солнечного излучения;
- датчик дождя;

Рассмотрим их особенности.

#### 1.4.1. Анемометр

Анемометр – прибор для определения изменения скорости движения воздушных масс (скорости ветра) [единица измерения – м/с<sup>2</sup>]. По принципу действия можно выделить механические анемометры, которые используют кинетическую энергию ветра для выполнения вращения специального чашечного колеса, тепловые – используют изменение температуры



измерительной проволоки от движения воздуха, а также ультразвуковые, которые определяют скорость ветра по средству изменения скорости звука в газе.

Характеристики датчика скорости ветрового потока и его внешний вид приведены в табл. 1.1 и рис. 1.6 соответственно [9], [10].

Таблица 1.1 Характеристики анемометра

Датчик	Скорость ветра	Арт.№	4.3519.19.00.141	1006806
Производитель	Thies Clima, Göttingen <a href="https://www.thiesclima.com/">https://www.thiesclima.com/</a>			
Технические данные	Принцип измерения:	Opto-electronic		
	Диапазон измерения:	0.5 – 50 m/s	Точность:	$\pm 3\% = \pm 0.5 \text{ м/с}$
	Вес:	0.75 kg		
	Напряжения источника:	9 – 30 В DC или 24 В AC/DC	Ток:	5 mA (P=1.5Вт)
	Нагрев:	20 Вт, 24 В AC/DC		20 Вт/24 В = = 834 mA
	Выходные данные:	4 -20 mA		
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Зеленый Analog A1 (pin3)	Желтый GND (pin4)	
	Источник питания:	Белый + (pin1)	Коричневый - (pin2)	
	Не присоединены:	Серый (pin5)	Розовый (pin6)	
	Внешние провода:	Length: 3,5m,		
	Резистор:	[250 Ом] Измерение (28.06.18): 247.8 Ом $R = U/I = 5 \text{ В} / 20 \text{ mA} = 250 \text{ Ом}$		
	Заметки:	[4], [5]		

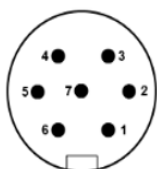


Рис. 1.6 – Чашечный анемометр

Для точных выходящих данных датчик необходимо размещать на расстоянии в 10 раз большем, чем близлежащие препятствия.

### 1.4.2. Флюгер

Флюгер или как еще его называют анеморумбометр – прибор для определения направления ветра [единица измерения –  $1^\circ$ ]. В классическом виде он представляет собой изделие из различного материала, закрепленного на оси для его вращения под действие сил движения воздушных масс.

На метеостанции используются более новые флюгеры, которые работают по принципу передачи электрического сигнала, при их вращении.

Характеристики датчика направления ветрового потока и его внешний вид приведены в табл. 1.2 и рис. 1.7 соответственно [11], [12].

Таблица 1.2. Характеристики флюгера

Датчик	Направление ветра	Арт.№	4.3129.00.141	1006531 0604042
Производитель	Thies Clima, Göttingen <a href="https://www.thiesclima.com/">https://www.thiesclima.com/</a>			
Технические данные	Принцип измерения:	Opto-electronic		
	Диапазон измерения:	0-360°	Разрешение:	11,25°
	Вес:	1,1 кг	Погрешность:	$\pm 5^\circ$
	Напряжения источника:	15-30 В DC или 24 В AC	Ток:	20 Вт/24 В = = 834 mA
	Нагрев:	20 Вт, 24 В AC/DC		
	Выходные данные:	4-20 mA		
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Зеленый Analog A0 (pin3)	Желтый GND (pin4)	
	Источник питания:	Белый + (pin1)	Коричневый - (pin2)	
	Не присоединены:	Серый (pin5)	Розовый (pin6)	
	Внешние провода:	Длина: 3,5 м, LiYCY 6*0,25мм <sup>2</sup>		
	Резистор:	[250 Ом] Измерение (26.06.18): 248.6 Ом $R = U/I = 5 \text{ В} / 20 \text{ mA} = 250 \text{ Ом}$		
	Заметки:	[2], [3]		

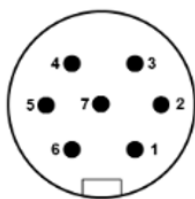




Рис. 1.7 – Флюгер

Требования к размещению флюгера аналогичные к размещению анемометра.

### **1.4.3. Барометр**

Барометр – устройство измерения атмосферного давления. На метеостанциях используются барометры мембранного типа, принцип действия которых основан на свойстве мембранной анероидной коробки деформироваться при изменении атмосферного давления. Линейные перемещения мембран преобразуются в электрический сигнал, который поступает на компьютерную плату, которая преобразовывает этот сигнал в значение равное атмосферному давлению.

Характеристики датчика атмосферного давления и его внешний вид приведены в табл. 1.3 и рис. 1.8 соответственно [13].

Данный датчик не имеет особых требований к размещению.

Таблица 1.3. Характеристики барометра

Датчик	Атмосферное давление	Арт.№	835503.301.1006.0002	P12.2.1.00
Производитель	Lufft, <a href="http://www.lufft.com">http://www.lufft.com</a>			
Технические данные	Принцип измерения:	Capacitive Ceramic		
	Диапазон измерения:	0-1200 мбар	Погрешность:	± 3 мбар(-40°C... +60°C)
	Вес:	360 гр.		
	Напряжения источника:	7-15 В DC	Ток:	≤ 4 mA
	Нагрев:	4 – 20 mA		
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Зеленый	A2 (pin2)	
	Источник питания:	Белый + (pin1)		Коричневый – (pin7)
	Не присоединены:	Желтый		
	Внешние провода:	Длина: 3 м		
	Резистор:	[250 Ом] Измерение (25.06.18): 248.1 Ом		
	Заметки:	[9]		

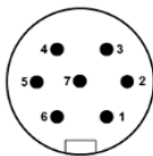


Рис. 1.8 – Барометр

#### 1.4.4 Термогигрометр

Это устройство предназначено для измерения влажности воздуха окружающей среды [единица измерения – 1%]. Различные типы гигрометров работают, контролируя изменения определенных параметров, таких как точка

росы, емкость и электрическое сопротивление, чтобы выяснить фактическую влажность. Выгоднее и намного целесообразнее устанавливать датчики влажности совместно с датчиками температуры (рис. 1.9). Такой тип гигрометров своим принципом работы берет за основу использование емкости и электрического сопротивления что дает: высокую степень рабочей стабильности, практически линейные и точные характеристики измерения, хорошая динамичность режима работы, стабильность точки росы, низкие температурные коэффициенты и низкий уровень гистерезиса. Обычно такие датчики оснащены защитным экраном или защитным фильтром (рис. 1.10) от прямого попадания ультрафиолетового излучения, осадков или внешних возможных источников повреждения, в зависимости от модели также имеет небольшую охлаждающую систему в виде электрического куллера или вентилятора, который осуществляет циркуляцию нагретого воздуха между фильтром и самим датчиком.

Термометры измеряют температуру воздуха окружающей среды. [единица измерения – °C]. По типам термометры бывают механические, жидкостные, электронные, термоэлектрические, инфракрасные, газовые и т.д.

Такие термометры имеют широкий диапазон измерения температуры, от (– 30 °C) до +70 °C.

Характеристики датчика температуры и влажности, окружающей приведены в табл. 1.4 [14], [15].



Рис. 1.9 – Термогигрометр



Рис. 1.10 – Защитный экран для термогигрометра

Таблица 1.4. Характеристики термогигрометра

Датчик	Термогигрометр	1.1005.54.241 Nr 55361 KRC 3/5-B24	
Производитель	Thies Clima, Göttingen <a href="https://www.thiesclima.com/">https://www.thiesclima.com/</a>		
Технические данные	Принцип измерения:	Capacitive	
	Диапазон измерения:	Темп.: -30... +70°C	Погрешность: ± 0.2 °C
		Влаж.: 0 ... 100%	
	Вес:	0.45 кг.	
	Напряжения источника:	12-30 В DC	Ток:
Выходные данные:	Термометр:	4 -20 mA	
	Гигрометр:	4-20 mA	
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Коричневый A4 (Влажность)(pin2)	Зеленый A3 (Температура)(pin3)
	Источник питания:	Белый + (pin1)	
	Не присоединены:	Желтый	
	Внешние провода:	Длина: 5 м (20 x 115 мм)	
	Резистор:	Термометр:	[150 Ом] Измер. (25.06.18): 146.9 Ом
Гигрометр:		[150 Ом] Измер. (25.06.18): 146.6 Ом	
Заметки:	[7], [8]		

Данный датчик не имеет особых требований к размещению.

### 1.4.5. Пиранометр

Научно-исследовательские организации и промышленные компании, работающие в сфере возобновляемой энергетики, климатологии, сельского хозяйства, водных ресурсов и защиты окружающей среды, нуждаются в точном и надежном измерении солнечной энергии. Такие измерения производятся при помощи пиранометров – радиометрических приборов, специально разработанных для измерения суммарной солнечной энергии в диапазоне длин волн от 300 до 3000 нанометров (нм), поступающей на плоскую поверхность (рис. 1.11) [единица измерения – Вт/м<sup>2</sup>].

Для обеспечения требуемых спектральных и угловых характеристик пиранометры используют датчики на основе набора термопар, защищенные стеклянным или кварцевым полусферическим колпаком. Так же, на примере

пиранометра компании Kipp & Zonen снабжены встроенными пузырьковыми уровнями и регулируемыми по высоте опорами.

Характеристики датчика интенсивности солнечного приведены в табл. 1.5 [16].

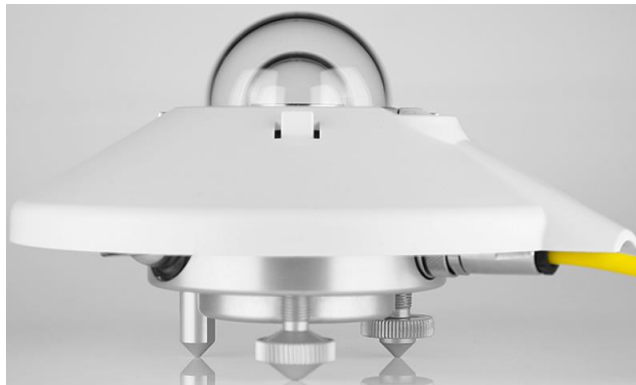
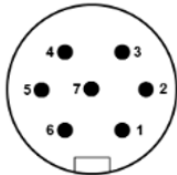


Рис. 1.11 – Пиранометр

Таблица 1.5. Характеристики пиранометра

Датчик	Пиранометр	Арт.№	CMP 11		
Производитель	Kipp & Zonen, <a href="http://www.kippzonen.com/">http://www.kippzonen.com/</a>				
Технические данные	Принцип измерения:	Actinometer principle			
	Диапазон измерения:	0 – 1600 Вт/м <sup>2</sup>	Чувствительность:	10 Вт/м <sup>2</sup>	
	Вес:	0.75 кг			
	Напряжения источника:	12 В DC	Ток:		
	Нагрев:	–		–	
	Выходные данные:	4-20 мА			
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Зеленый (+ analog input)	Коричневый (ground analog)		
	Источник питания:	Белый (+)	Черный (-)		
	Не присоединены:	Красный ;	Голубой	Желтый	Серый - Modbus
	Внешние провода:	Длина: 10 м			
	Резистор:	248.8 Ом [Измерение: 26.07.2018]			
	Заметки:	[10]			



Требования к размещению: расстояние от препятствий в 10 раз больше высоты препятствий, направление выхода кабеля из датчика должно соответствовать рис. 1.12.

Так же существуют различные компоновки пиранометров, например, с затеняющим кольцом (рис. 1.13). Комбинация пиранометра с затеняющим кольцом представляет собой простое решение для измерения рассеянного излучения неба. Это кольцо требует всего лишь простую подстройку каждые несколько дней, чтобы обеспечить полное затенение колпака пиранометра при движении солнца по небосводу.

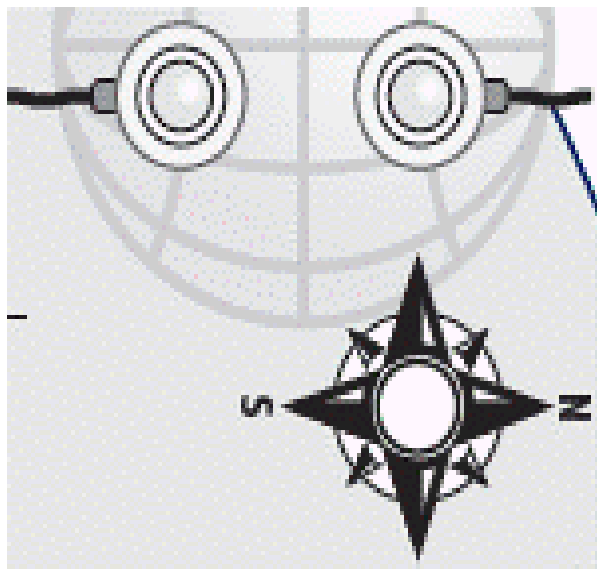


Рис. 1.12 – Размещение пиранометра      Рис. 1.13 – Пиранометр, компоновка с затеняющим кольцом.

#### 1.4.6. Дождемер (плювиометр)

С помощью этого устройства непрерывно регистрируют количество жидких и твердых осадков и их интенсивность с привязкой по времени, к примеру, от начала дождя до времени его окончания. Они бывают различных типов, основные из которых это датчик дождя (рис. 1.14), а также может использоваться датчик измерения количества осадков (рис. 1.15).





Рис.1.14 – Датчик дождя

Требования к размещению: 1 м над землей на стальной трубе с бетонным основанием, расстояние от препятствий как минимум в 4 раза больше их высоты.

Характеристики датчика дождя приведены в табл. 1.6 [17].

Таблица 1.6. Характеристики датчика дождя

Датчик	Датчик дождя	Арт.№	187606	
Производитель	B+V Thermo-Technik GmbH bb-sensors.com			
Технические данные	Принцип измерения:	Electrolytic AC measurements		
	Диапазон измерения:	0...1	Точность:	Зависит от чувствительности
	Вес:	200 гр.		
	Напряжения источника:	24 В AC/DC	Ток:	50 mA
	Нагрев:			40-180 mA (PTC)
	Выходные данные:	0 – 5 В		
Подключение к Ардуино/ Доп. плата / Источник питания	Сигнал:	Зеленый D4 (pin3)	Желтый GND (pin5)	
	Источник питания:	Белый + (pin1)	Коричневый - (pin2)	
	Не присоединены:	Серый	Розовый	
	Внешние провода:	Длина: 3 м		
	Резистор:	-		
	Заметки:	[6]		

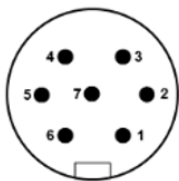




Рис. 1.15 – Датчик измерения количества осадков

#### **1.4.7. Пиргелиометр**

Еще инструмент для измерения иррадиационной активности, который предназначен специально для измерения энергии прямого солнечного излучения. Он имеет угол зрения равный  $5^\circ$ . Это достигается специальной формой коллимационной трубы и конструкцией датчика. Пиргелиометр снабжен кварцевым окном, которое защищает датчик от внешних воздействий и пропускает излучение в спектральном диапазоне длин волн от 200 до 4000 нм. Пиргелиометр (рис. 1.16) также снабжен козырьком для защиты от осадков и встроенным устройством юстировки (данный датчик не используется в указанной метеостанции).

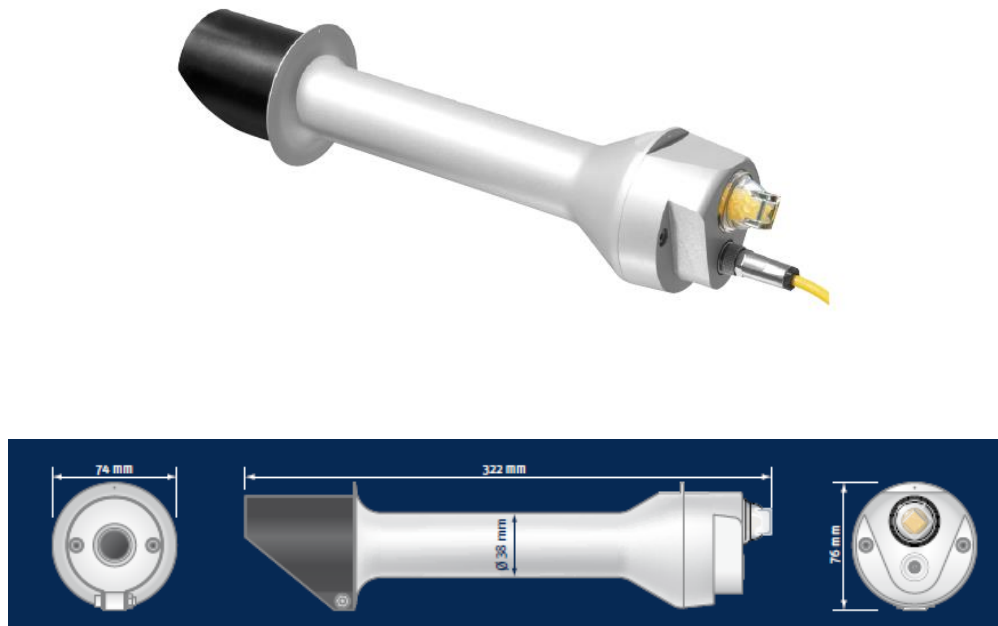


Рис. 1.16 – Пиргелиометр

### 1.5 Вывод по разделу

В данном разделе было изложено актуальность и проблема возобновляемых источников и основные преграды для генерации электрической энергии с помощью их использования.

Рассмотрены пути решения этой проблемы с помощью основных систем: децентрализованной, аккумуляции и контроля.

Выполнен обзор основного оборудования, применяемого на метеостанциях на примере готовой метеостанции.

## РАЗДЕЛ 2

### АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МЕТЕОСТАНЦИИ

#### 2.1 Техническая реализация прогнозирования

Электрическая нагрузка отдельных потребителей, а, следовательно, и суммарная их нагрузка, определяющая режим работы электростанций в энергосистеме, непрерывно меняется. Потребление электрической энергии различно в зависимости от времени суток, например, днем и ночью, утром или в середине дня. В определенный момент времени эта нагрузка достигает своего максимума (пика нагрузки). Децентрализованная система энергообеспечения с использованием возобновляемых источников энергии, способна понизить этот максимум, по средство обеспечения электрической энергией некоторых потребителей, тем самым снизив нагрузку на электростанции использующие традиционные виды энергии.

Однако возобновляемые источники, имеют не всегда стабильную выработку электричества, так как зависят от погодных условий. Зная, наперед, потенциальную выработку энергии от ВИЭ, дало бы возможность и позволило реализовать более точную оценку уменьшения пика нагрузок с помощью энергии, например, солнца или движения воздушных масс. Тут немаленькую роль играет именно прогнозирование возможной выработки энергии в зависимости от метеоданных той или иной области.

Чтобы обеспечить безопасную и экономичную интеграцию фотоэлектрических модулей в энергосеть, точное прогнозирование мощности, вырабатываемой фотомодулями стало важнейшим элементом систем энергоменеджмента.

## **2.2 Актуальность прогнозирования выработки электроэнергии от возобновляемых источников энергии**

### **2.2.1 Прогнозирование генерации от солнечных панелей**

Солнечная энергия играет важную роль в распределенной энергетической системе. В последние годы фотоэлектрические системы все чаще устанавливаются во всем мире. Поскольку она производит чистую энергию, кроме того, развитие технологии продолжается, поэтому надежность увеличивается, а цена наоборот снижается. Однако для реализации фотоэлектрической системы существенным ограничением фотоэлектрической системы является неопределенность мощности солнца.

Ясная солнечная погода приводит к росту генерации электричества, а дождливые дни и пасмурная погода с плотной облачностью вызывают падение объемов выработки электроэнергии. В качестве прерывистого источника энергии генерация от фотогальванических модулей приводит к значительной нестабильности за счет не постоянной выработки, что создает серьезные проблемы для стабильности системы, баланса электроэнергии, компенсации реактивной мощности, частотной характеристики и т. д.

Поскольку выходная мощность фотоэлектрических напрямую связана с солнечной радиацией на уровне земли, а возможности уже развитых технологий не позволяют управлять погодными условиями, поэтому актуальным вопросом является необходимость прогнозирования объемов электроэнергии, которую произведет солнечная электростанция.

Прогноз объемов выработки электроэнергии солнечной станцией – это в первую очередь прогнозирование количества солнечной радиации, которое получают солнечные панели. Она зависит от множества факторов, основными из которых являются климатические и метеорологические условия – положение солнца на небе, длительность светового дня, облачность, осадки, сила ветра и т.д.

Прогнозирование солнечной энергии играет ключевую роль в установке, эксплуатации и обслуживании солнечного фотоэлектрического парка, а также

в точном распределении солнечной энергии и планировании. Солнечная энергия варьируется в зависимости от солнечной радиации и погодных параметров, таких как температура окружающей среды, скорость ветра, облачность. Чтобы эффективно достичь высокого проникновения коммерческой солнечной энергии в сеть, необходимо разработать полезные методологии прогнозирования для интеграции солнечной энергии в электрическую сеть.

Качественные прогнозы будущей выработки электричества позволяют производителям электроэнергии и сетевым операторам активно управлять переменной производительностью солнечных электростанций, тем самым оптимально интегрируя солнечные ресурсы в общую энергосистему страны.

Точное прогнозирование может помочь улучшить качество электроэнергии, подаваемой в электрическую сеть, и, таким образом, уменьшить вспомогательные расходы.

Солнечные прогнозы на нескольких временных горизонтах играют важную роль в управлении хранением фотоэлектрических систем, систем управления в зданиях, больницах, школах и т. д., управлении солнечными тепловыми электростанциями, а также в регулировании сетей и планировании мощности. Он позволяет операторам сети адаптировать нагрузку для оптимизации транспортировки энергии, выделять необходимую энергию баланса из других источников, если нет солнечной энергии, планировать операции по техническому обслуживанию на производственных площадках и принимать необходимые меры для защиты производства от экстремальных явлений.

Выбор метода прогноза также зависит от того, какие именно данные необходимо получить в итоге. К примеру, прогноз суммарной выработки электроэнергии за определенное количество времени (за час, несколько часов или сутки) или изменение объемов генерации на протяжении определенного отрезка времени требуют использования различных математических моделей и подходов.

### 2.2.2 Прогнозирование генерации в ветроэнергетике

Возобновляемые источники энергии, такие как энергия ветра, становятся все более и более важными, поскольку энергетический кризис и кризис окружающей среды становятся все более серьезными. С последних десятилетий мощность ветроэнергетики быстро увеличилась во всем мире. Управление этими энергиями для удовлетворения спроса в энергосистеме является одним из наиболее эффективных подходов к сокращению выбросов при сжигании угля. Однако из-за неопределенной атмосферы и неопределенного солнечного света существует высокая неопределенность в скорости ветра и выработке энергии ветра, так как эта энергия является энергией с непредсказуемым и изменчивым характером и вырабатываемой мощности соответственно. Это затрудняет управление этими возобновляемыми источниками для удовлетворения неопределенных потребностей социального потребления, поскольку энергосистема нуждается в балансе в реальном времени. Несбалансированная сеть нанесет огромный ущерб, поэтому сетевым операторам приходится увеличивать стоимость генерации на других видах электростанций, чтобы обеспечить постоянную сбалансированность энергосистемы. С учетом этих факторов подобный источник электроэнергии должен быть подключен к жестким энергосистемам, чтобы избежать пагубного влияния на стабильность и качество электроэнергии. Это является главным мотиватором к тому, чтобы с большей точностью прогнозировать мощность, вырабатываемую с помощью кинетической энергии ветра.

Системным операторам необходимо прогнозировать изменения вырабатываемой ВЭС мощности и точно знать объемы выработки, чтобы планировать необходимый объем резерва и управлять процессами в сети с учетом прогнозных данных. Для уменьшения объема резервной мощности и повышения уровня проникновения ВЭС в энергосистему необходимо точное прогнозирование скорости ветра. Также необходимо отметить, что прогнозирование скорости ветра играет важную роль в распределении

балансирующей мощности. Наряду с этим, прогнозирование мощности ветра позволяет планировать объем мощности на сутки вперед и участвовать на рынке электроэнергии.

## 2.3 Методы реализации прогнозирования

### 2.3.1 Прогнозирование для солнечной энергии

#### *Прогнозирование по временным промежуткам*

Существует три типа прогнозирования, общепринятые в мире, как показано на рис. 2.1. Краткосрочное прогнозирование выполняется до 7 дней. Краткосрочное прогнозирование выработки электроэнергии фотоэлектрическими приборами обеспечивает безопасность эксплуатации генерации и распределения. Краткосрочное прогнозирование также повышает безопасность работы сети. Среднесрочное прогнозирование рассчитано на срок от одной недели до одного месяца. Это позволяет улучшить качество распределения электричества в энерго системе, предсказывая возможную генерацию энергии в будущем. Долгосрочное прогнозирование выполняется на срок от одного месяца до одного года. Долгосрочное прогнозирование выработки электроэнергии фотоэлектрической системой полезно для качества генерации, передачи и распределения энергии в аспекте надежного функционирования сети.



Рис. 2.1 – Схема классификации по времени



### ***Прогнозирование на основе исторических данных о величине солнечной инсоляции***

В зависимости от исторических данных солнечного излучения прогнозирование может быть разделено на два типа: статистический и метод обучения.

Статистические методы используются в прогнозировании временных рядов на основе длительного времени, в котором используются данные временных рядов прошлых лет. Точность этого метода будет больше, поскольку он использует данные последних лет, и, как правило, этот метод применяется для краткосрочного прогнозирования. В этом методе выходные значения прогнозируются с помощью входных переменных для модели в статистическом анализе. В статистическом методе требования к ряду входных данных меньше по сравнению с методом обучения, поэтому для вычисления выходной мощности требуется меньше усилий.

Метод обучения требует огромного набора данных для точного прогнозирования временных рядов. Подкатегории вышеупомянутых двух методов показаны на рис. 2.2 [18]. Была сделана модель прогнозирования солнечного излучения фотоэлектрических модулей с использованием статистического метода и сравнена с факторным анализом и методами бинарных деревьев [19]. В этой работе метрологические и прогнозируемые данные были успешно использованы для прогнозирования мощности на один день вперед, на два дня вперед и на три дня вперед.

### ***Классификация по методам и техникам прогнозирования***

Многие исследователи классифицируют модели прогнозирования в зависимости от методики, используемой для прогнозирования. Есть много методов, используемых для разработки модели прогнозирования фотоэлектрических модулей. Некоторые из моделей и методов описаны ниже.

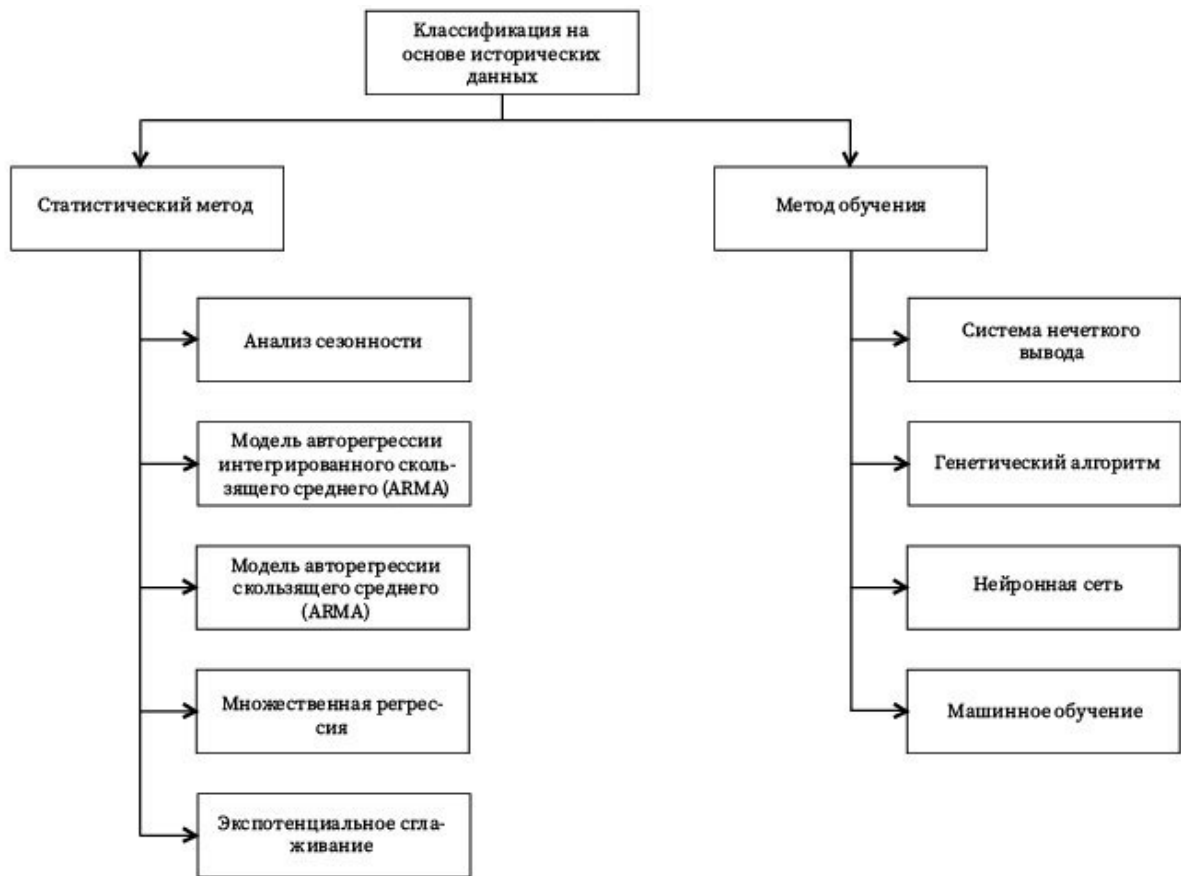


Рис. 2.2 – Схема категорий методов на основе исторических данных

### *Модель устойчивости*

Это очень базовая модель прогнозирования, которая обычно используется для проверки того, является ли прогнозируемое значение какой-либо модели лучшим или нет. Она в основном используется для краткосрочного прогнозирования солнечной активности. Она определяет критерии для других моделей прогнозирования. Модель устойчивости в основном используется для прогнозирования на 1 час вперед, так как временной диапазон прогнозирования с увеличением уменьшает точность модели устойчивости [18].

### *Модель ARMA*

Это сочетание модели авторегрессии (AR) и модели скользящего среднего (MA). Эта модель хороша для понимания и прогнозирования

будущего значения определенного временного ряда. Недостатком модели является то, что временные ряды должны быть стационарными [20], [18].

### *Метод регрессии*

Это статистический метод, используемый для установления связи между независимой переменной и зависимой переменной. В этой модели зависимая переменная предсказывается знанием независимой переменной. Прогнозируется генерация фотоэлектрической энергии тремя различными моделями [21]. Регрессионная модель с использованием температуры и солнечного излучения в качестве входных данных дала лучший результат по сравнению со случаем, когда в качестве входных данных был взят любой из них.

### *Модель ESSS*

Модель экспоненциального сглаживания (Exponential smoothing state space) является моделью на основе ряда Фурье. Его прогнозные показатели сравниваются с традиционными методами прогнозирования, такими как ARIMA, ARMA и т.д., и установлено, что модель ESSS дает более точный результат в 5-20-минутном горизонте прогнозирования [22].

### *Физический метод*

При таком способе прогнозирования выход в основном зависит от погодных условий, таких как солнечная радиация и температура. В целом этот метод используется для долгосрочного прогнозирования. Был использован гибридный метод прогнозирования мощности фотоэлектрических лучей с использованием физической гибридной искусственной нейронной сети (PHANN), который представляет собой комбинацию физических ограничений и стандартного ANN, и прогнозируемый результат лучше, чем стандартный метод ANN как в солнечном, так и в облачном небе [23].

### *Нейронная сеть*

Это самый мощный инструмент для прогнозирования параметров электроэнергии, включая прогнозирование мощности фотоэлектрической генерации. Искусственная нейронная сеть (ANN) быстро используется большинством исследователей в области прогнозирования фотоэлектрической мощности из-за нелинейности в погодных данных. ANN является хорошим инструментом, когда существует сложная и нелинейная связь между данными без каких-либо предварительных предположений.

ANN была реализована для разработки моделей с использованием различных входных векторов [24], и установлено, что по мере добавления большего количества погодных переменных в качестве вектора входных данных к этой ANN прогнозирование становится более точным и удовлетворительным. Модель анализа временных рядов – нейронная сеть обратной связи с линиями задержки, также была использована для прогнозирования фотовольтаических модулей, где в процессе обучения модель использует солнечное излучение в качестве входных данных, часы в качестве экзогенного входа и данные о генерации фотомодуля в качестве эндогенного входа, что приводит к хорошему прогнозу с ошибкой менее 5% [25]. Для прогнозирования генерации фотопанелей использовалась нейронная сеть, и было установлено, что прогнозируемый результат лучше регрессионного метода [21]. Прогнозируемое значение модели зависит от метеорологических факторов и корреляции между независимой переменной и зависимой переменной. Если коэффициент корреляции между переменными высок, то результат прогнозирования более точен.

### *Модель нечеткого вывода*

Модель нечеткого вывода с рекуррентной нейронной сетью (RNN) успешно применена в прогнозировании фотоэлектрических систем [26]. RNN-это инструмент прогнозирования нейронных сетей временных рядов, широко используемый в качестве инструмента прогнозирования. С помощью этого

метода было сделано прогнозирование производства фотоэлектрической энергии на 24 часа вперед. Модель нечеткого вывода использовалась для сглаживания метеорологических данных, используемых для прогнозирования генерации фотоэлектрической энергии. RNN прогнозирует выходную мощность фотоэлектрической энергии после обучения, используя нормализованные данные, полученные из системы нечеткого вывода.

### **2.3.2 Методы с использованием массива данных параметров ветра за прошедший срок для одной турбины**

В этой методе историческая информация о ветре включает в себя исторические данные о ветровой энергии и исторические данные о скорости ветра.

Они могут быть использованы в качестве общих входных данных для прогноза энергии ветра. Существует не так много работ, опубликованных в методах, содержащих только историческую информацию о ветре для одной турбины. Таким образом, эти методы разделены на две временные шкалы: краткосрочное прогнозирование (менее чем на 1 день вперед) и долгосрочное прогнозирование (от 1 дня до 1 недели вперед).

#### ***Краткосрочное прогнозирование***

В методах краткосрочного прогнозирования только с исторической информацией о скорости ветра метод временных рядов всегда используется с измерениями с короткими интервалами. В [27] традиционный метод цепей Маркова (MC) с преимуществом функции эмпирического кумулятивного распределения (ECD) скорости ветра используется для прогнозирования энергии ветра на один шаг вперед. В [28] несколько моделей авторегрессионного скользящего среднего (ARMA) используются для прогнозирования энергии ветра на 10 минут вперед или на 1 час вперед на 6 часов. Помимо методов временных рядов, для получения лучшего результата прогнозирования используется подход к настройке модели в [29]. Сначала он

использовал алгоритм кластеризации  $k$ , чтобы объединить входные данные в 5 сценариях. Затем он выбирает наиболее подходящий алгоритм из Random Forest Algorithm (RFA), Boosting Tree Algorithm (BTA), Support Vector Machine (SVM), нейронной сети (NNE) для 5 сценариев соответственно на основе исторических данных.

### *Долгосрочное прогнозирование*

В методах долгосрочного прогнозирования, использующих только историческую информацию о ветре, метод временных рядов и его варианты также часто встречаются. В [30] метод, объединяющий временные ряды и единичное экспоненциальное сглаживание (SES), используется для прогнозирования на 120 шагов вперед. В [31] для прогнозирования скорости ветра на 2 дня вперед используется модель дробного авторегрессионного интегрированного скользящего среднего ( $f$  ARIMA). Кроме того, гибридный метод показан в [32] для прогнозирования почасовой мощности ветра на 48 часов вперед. Этот метод объединяет реконструкцию фазового пространства (PSR), анализ основных компонентов (PCA) и сеть распределения ресурсов (RAN).

### **2.3.3 Методы с использованием метеорологической информации для одной турбины**

В этих методах используется метеорологическая информация, которая включает в себя такие параметры как температуру атмосферы, относительную влажность, давление воздуха, местность вокруг ветрогенераторов и другую географическую информацию. Они могут использоваться вместе с массивом данных параметров ветра за прошедший срок для прогноза энергии ветра. Исследование в данной области начисляет небольшое количество статей или научной литературы. Условно эти методы можно поделить на две временные шкалы: краткосрочное прогнозирование и долгосрочное прогнозирование.

### *Краткосрочное прогнозирование*

В [33] предложен двухэтапный метод улучшения результатов краткосрочного прогнозирования. На первом этапе данные численного прогнозирования погоды (ЧПП) и реальные измерения используются для прогнозирования векторов ветра, которые состоят из скорости ветра и направления ветра. На втором этапе вектор ветра преобразуется в мощность с использованием эмпирической кривой. Среднеквадратичная ошибка (RMSE) составляет 2,69% для 45-ступенчатого прогнозирования.

### *Долгосрочное прогнозирование*

Региональная модель атмосферного ЧПП, а именно модель Eta, используется в [34] для прогнозирования скорости ветра для башни ветра на разных уровнях. Он улучшен с помощью методов Model Output Statistics (MOS) для получения лучшего результата прогнозирования. В [35] данные об искусственной нейронной сети (ANN) и ЧПП объединяются для прогнозирования энергии ветра на 200 часов вперед. Среднеквадратическое среднеквадратичное отклонение составляет менее 1/5 от этого по отдельным ИНС. В [36] дано сравнение между полиномиальной регрессией и NN для прогнозирования суточной скорости ветра или годовой скорости ветра. Характеристики этих методов приведены в таблице 3.

#### **2.3.4 Методы прогнозирования энергии ветра для ветропарка с использованием массива данных параметров ветра за прошедший срок**

Существует много методов прогнозирования для ветроэлектростанции, в которой исходными данными являются только исторические данные о ветре. Здесь используются четыре временные шкалы: ультра-краткосрочное прогнозирование (менее чем за 30 минут вперед), краткосрочное прогнозирование (от 30 минут до 6 часов вперед), среднесрочное прогнозирование (от 6 часов до 1 дня вперед) и долгосрочное прогнозирование (от 1 дня до 1 недели вперед).

### ***Ультра-краткосрочное прогнозирование***

В ультра-краткосрочном прогнозировании часто используется байесовская модель. В [37] байесовская модель структурного разрушения используется для прогнозирования скорости ветра на 90 секунд вперед или на 90 минут вперед. В [38] адаптивное байесовское обучение используется с нейронными сетями для прогнозирования энергии ветра от 5 минут до 30 минут вперед. Байесовский умозаключение вновь появилось с моделью марковского переключения (МС) в [39]. Кроме того, в [40] гибридный метод, объединяющий ANN и МС, используется для прогнозирования скорости ветра на 7,5 секунд вперед.

### ***Краткосрочное прогнозирование***

Когда горизонт прогнозирования становится длиннее, можно использовать различные методы для прогнозирования энергии ветра. В [41] SVM-модель Маркова используется для прогнозирования энергии ветра на 60 минут. Машина опорных векторов наименьших квадратов (LSSVM) представлена с помощью эмпирического вейвлет-преобразования (EWT) и сопряженного имитированного отжига (CSA) в [42] для прогнозирования скорости ветра на несколько шагов вперед. В [43] предложен новый метод краткосрочного прогнозирования, основанный на вейвлет-анализе и классическом анализе временных рядов. Конечно, ИНН нельзя забывать в краткосрочном прогнозировании. В [44] гибридный метод, основанный на эмпирической модовой декомпозиции (EMD) и ANN, используется для прогнозирования скорости ветра на 4 шага вперед с интервалом в 1 час.

### ***Среднесрочное прогнозирование***

Методы среднесрочного прогнозирования аналогичны методам краткосрочного прогнозирования для ветряной электростанции, тогда как временной интервал входных данных больше, чем для краткосрочного прогнозирования. В [45] обобщенный РСА используется для автоматического



обнаружения закономерностей, скрытых в исторических данных, для прогнозирования скорости ветра. В [46] используется аналоговый ансамблевый метод для генерации вероятностных прогнозов энергии ветра на 72 часа вперед. Кроме того, гибридные методы также занимают важное место. В [47] гибридная модель KF-ANN на основе ARIMA используется для прогнозирования скорости ветра на один день вперед. В [48] предлагается комбинация вейвлет-преобразования (WT) и нечеткой сети ARTMAP для прогнозирования энергии ветра на день или неделю, которая оптимизируется с помощью алгоритма оптимизации Firefly (FF). Кроме того, нейронная сеть используется в качестве компонента в гибридном методе в [49] и [50] для прогнозирования энергии ветра или скорости ветра.

### *Долгосрочное прогнозирование*

В долгосрочном прогнозировании используются многие традиционные методы и их комбинации. ANN не может упустить шанс показать свой потенциал. В [51] представлен алгоритм объединения данных с использованием нескольких нейронных сетей. В [52] модифицированная модель ANN на основе EMD используется для прогнозирования скорости ветра на 3 шага вперед с суточным или месячным интервалом. В [53] гибридный метод, который объединяет нейронную сеть обратного распространения (BP), PSO и комплексный выбор параметров (CPS), используется для прогнозирования скорости ветра на 5 шагов вперед. Кроме того, Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) и SVM объединены для прогнозирования скорости ветра на 12 шагов вперед с интервалом в один месяц в [54].

## **2.4 Калибровка датчиков и выходные данные для прогнозирования**

Калибровка датчиков важный этап в создании метеостанции и в дальнейшем для снятия правильных параметров изменения погодных условий.

### 2.4.1 Калибровка датчика направления ветра

Калибровка флюгера не требует особых машин и оборудования, так как может быть настроен вручную поворотом движущейся головки в диапазоне, обозначенном выше, где  $0^\circ$  соответствует выходному сигналу в 4 мА, а  $359^\circ - 20$  мА. Учитывая встроенное сопротивление при подключении к плате контроля можно выделить значение выходного сигнала в числовых единицах:

Аналоговый сигнал Ардуино: 0-1023 числовых единиц;

Рабочее напряжение Ардуино: 0-5 В;

Диапазон измерения:  $0^\circ - 360^\circ$ , тогда минимальное значение выходного напряжения:

$$V_{min\Phi л} = I_{min\Phi л} \cdot R_{\text{флюгера}} = 4 \text{ мА} \cdot 248.6 \text{ Ом} \approx 0.9944 \text{ В} \approx 0^\circ,$$

Для определения минимального значения числовых единиц, необходимо знать количество вольт, соответствующее 1 числовой единице:

$$n_{VperDigit} = \frac{V_{max}}{Output_{max}} = \frac{5[\text{В}]}{1023[\text{числ. ед.}]} = 0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right],$$

Где  $V_{max}$  – максимальное рабочее значение платы Ардуино, а  $Output_{max}$  – максимальный выходной аналоговый сигнал.

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{Vmin\Phi л} = \frac{V_{min\Phi л}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9944 [\text{В}]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 203.35 [\text{числ. ед.}]$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{max\Phi\text{л}} = I_{max\Phi\text{л}} \cdot R_{\text{флюгера}} = 20 \text{ mA} \cdot 248.6 \text{ Ом} \approx 4.972 \text{ В} \approx 360^\circ;$$

$$n_{Vmax\Phi\text{л}} = \frac{V_{max\Phi\text{л}}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.972 \text{ [В]}}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ.ед.}} \right]} = 1016.77 \text{ [числ.ед.]}.$$

Количество вольт, соответствующее  $1^\circ$  поворота флюгера:

$$n_{Vper1^\circ} = \frac{V_{range\Phi\text{л}}}{\text{Диапазон измерения}_{max\Phi\text{л}}} = \frac{4.972 \text{ [В]} - 0.9944 \text{ [В]}}{360^\circ} = 0.011 \left[ \frac{\text{В}}{1^\circ} \right],$$

где

$$V_{range\Phi\text{л}} = V_{max\Phi\text{л}} - V_{min\Phi\text{л}}.$$

Количество числовых единиц, соответствующее  $1^\circ$  поворота флюгера в свою очередь:

$$n_{Dper1^\circ} = \frac{n_{Vper1^\circ}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.011 \left[ \frac{\text{В}}{1^\circ} \right]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ.ед.}} \right]} = 2.249 \left[ \frac{\text{числ.ед.}}{1^\circ} \right].$$

В итоге направление ветра в градусах будет равно:

$$\frac{n_{out\Phi\text{л}} \text{ [числ.ед.]} - n_{Vmin\Phi\text{л}} \text{ [числ.ед.]}}{n_{Dper1^\circ} \left[ \frac{\text{числ.ед.}}{1^\circ} \right]} = \text{Направление ветра } [^\circ].$$

### 2.4.2 Калибровка датчика скорости ветра

Калибровка анемометра происходит в специальной ветровой трубе, которая представляет собой канал, с регулируемым значением скорости ветра (рис. 2.3). Учитывая встроенное сопротивление при подключении к плате контроля:



Рис 2.3 – Анемометр внутри ветрового канала

Сравнивая значения скорости ветра ветрового канала и показание откалиброванного датчика получаем характеристики. Результаты калибровки представлены на рисунке 2.4.

Значение выходного сигнала в числовых единицах:

Аналоговый сигнал Ардуино: 0-1023 числовых единиц;

Рабочее напряжение Ардуино: 0-5 В;

Диапазон измерения:  $0 - 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , тогда минимальное значение

выходного напряжения:

$$V_{\min\text{Анем}} = I_{\min\text{Анем}} \cdot R_{\text{анемометра}} = 4 \text{ мА} \cdot 247.8 \text{ Ом} \approx 0.9912 \text{ В} \approx 0 \frac{\text{м}}{\text{с}} .$$

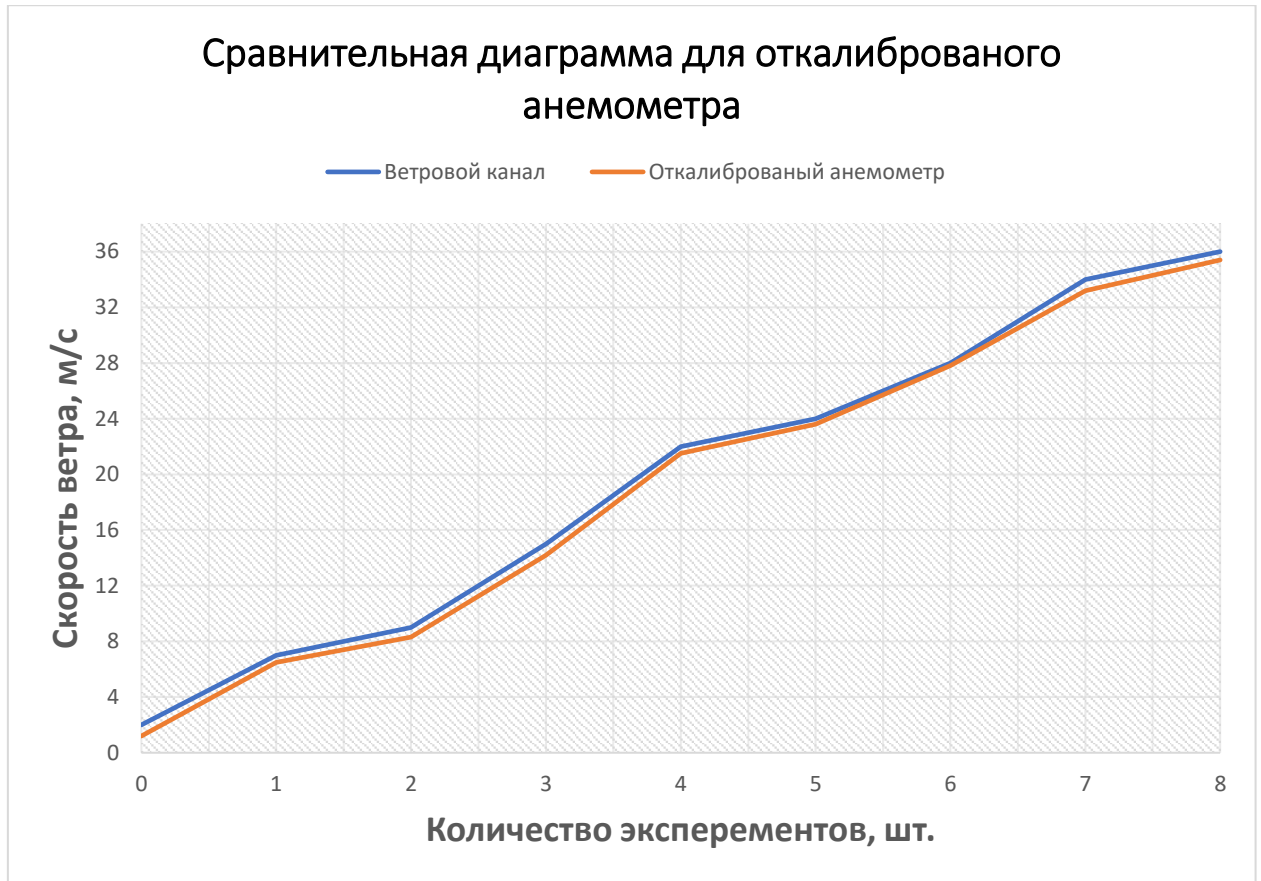


Рис. 2.4 – Сравнительная характеристика откалиброванного анемометра

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{VminАнем} = \frac{V_{minАнем}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9912[V]}{0.00489[\frac{В}{числ. ед.}]} = 202.7 [числ. ед.],$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{maxАнем} = I_{maxАнем} \cdot R_{анемометра} = 20 \text{ мА} \cdot 247.8 \text{ Ом} \approx 4.956 \text{ В} \approx 50 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$n_{VmaxАнем} = \frac{V_{maxАнем}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.956 [В]}{0.00489 \left[ \frac{В}{\text{числ. ед.}} \right]} = 1013.5 [\text{числ. ед.}].$$

Количество вольт, соответствующее 1 м/с:

$$\begin{aligned} n_{Vper\frac{m}{s}} &= \frac{V_{rangeАнем}}{\text{Диапазон измерения}_{maxАнем}} = \frac{4.956[В] - 0.9912[В]}{50\left[\frac{М}{с}\right]} \\ &= 0.0795 \left[ \frac{В}{\frac{М}{с}} \right], \end{aligned}$$

где

$$V_{rangeАнем} = V_{maxАнем} - V_{minАнем}$$

Количество числовых единиц, соответствующее 1 м/с скорости ветрового потока в свою очередь:

$$n_{Dper\frac{m}{s}} = \frac{n_{Vper\frac{m}{s}}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0795 \left[ \frac{В}{\frac{М}{с}} \right]}{0.00489 \left[ \frac{В}{\text{числ. ед.}} \right]} = 16.257 \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\frac{М}{с}} \right].$$

В итоге скорость ветра в м/с равно:

$$\frac{n_{outАнем} [\text{числ. ед.}] - n_{VminАнем} [\text{числ. ед.}]}{n_{Dper\frac{m}{s}} \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\frac{М}{с}} \right]} = \text{Скорость ветра} \left[ \frac{М}{с} \right].$$

### 2.4.3 Калибровка датчика атмосферного давления

Калибровка барометра сравнивалась с показаниями цифрового барометра в условиях разного давления, так как атмосферное давление при нормальных условиях равно 1 013,25 мбар, а ее отклонение колеблется в относительно небольших значениях, калибровка не требует значительной калибровочной техники.

Значение выходного сигнала в числовых единицах:

Аналоговый сигнал Ардуино: 0-1023 числовых единиц;

Рабочее напряжение Ардуино: 0-5 В;

Диапазон измерения: 0 – 1200 мбар, тогда минимальное значение выходного напряжения:

$$V_{minБ} = I_{minБ} \cdot R_{\text{флюгера}} = 4 \text{ мА} \cdot 248.1 \text{ Ом} \approx 0.9924 \text{ В} \approx 0 \text{ мбар.}$$

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{VminБ} = \frac{V_{minБ}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9924[\text{В}]}{0.00489\left[\frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}}\right]} = 202.94 \text{ [числ. ед. ],}$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{maxБ} = I_{maxБ} \cdot R_{\text{барометра}} = 20 \text{ мА} \cdot 248.1 \text{ Ом} \approx 4.962 \text{ В} \approx 1200 \text{ мбар;}$$

$$n_{VmaxБ} = \frac{V_{maxБ}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.962 [\text{В}]}{0.00489\left[\frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}}\right]} = 1014.72 \text{ [числ. ед. ].}$$

Количество вольт, соответствующее 1 мбар:

$$n_{Vpermbar} = \frac{V_{rangeБ}}{\text{Диапазон измерения}_{maxБ}} = \frac{4.962[V] - 0.9924[V]}{1200[\text{мбар}]}$$

$$= 0.0033 \left[ \frac{В}{\text{мбар}} \right]$$

Количество числовых единиц, соответствующее 1 мбар атмосферного давления в свою очередь:

$$n_{Dpermbar} = \frac{n_{Vpermbar}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0033 \left[ \frac{В}{\text{мбар}} \right]}{0.00489 \left[ \frac{В}{\text{числ. ед.}} \right]} = 0.67 \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\text{мбар}} \right],$$

В итоге атмосферное давление в мбар равно:

$$\frac{n_{outБ} [\text{числ. ед.}] - n_{VminБ} [\text{числ. ед.}]}{n_{Dpermbar} \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\text{мбар}} \right]} = \text{Атмосферное давление} [\text{мбар}].$$

#### 2.4.4 Калибровка датчика температуры и влажности

Для калибровки термогигрометра использовалась специальная нагревательная и охлаждающая камеры с незначительным изменением влажности. Откалиброванный датчик имеет незначительное отклонение от значения температуры в камере что видно из рисунка 2.5.



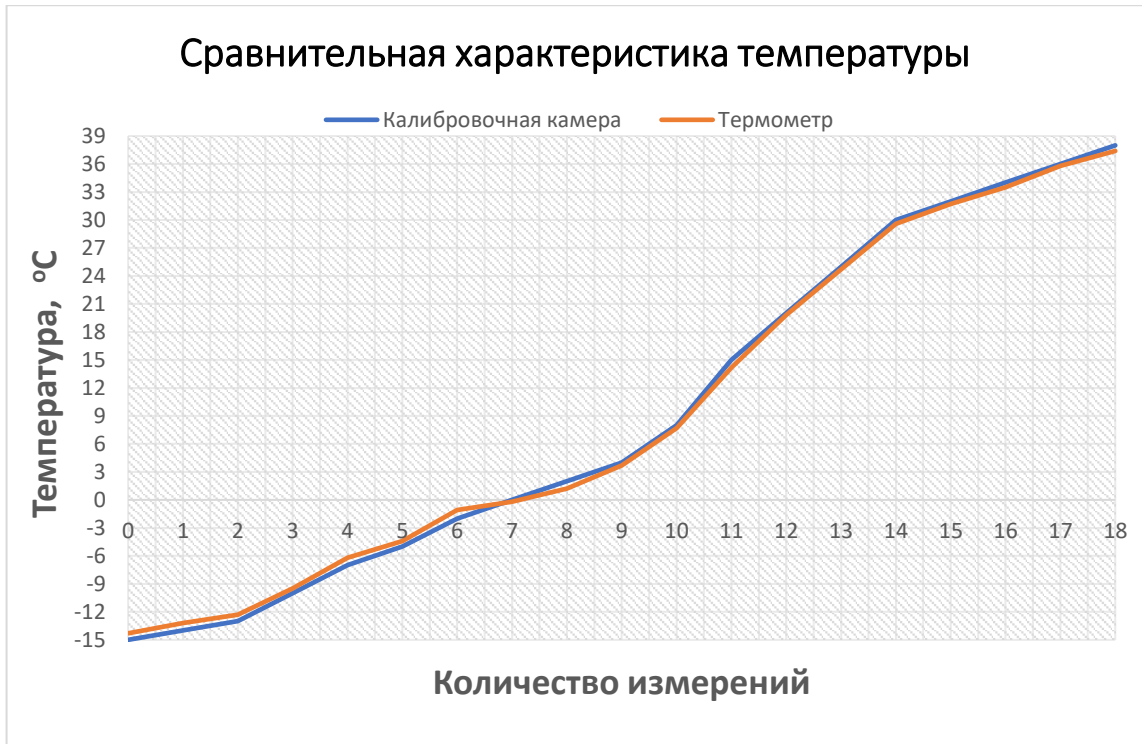


Рис 2.5 – Сравнительная характеристика откалиброванного термометра

Отклонение значений влажности составляет отклонение в пределах нормы и показано на рисунке 2.6.

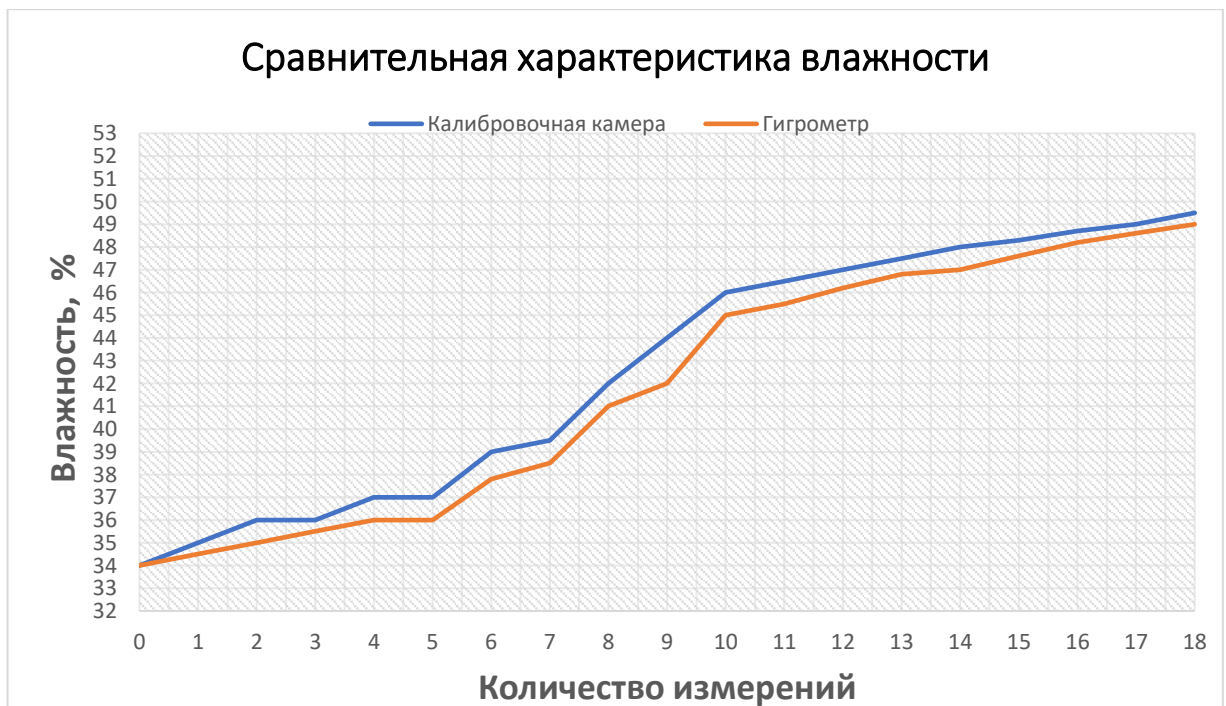


Рис. 2.6 – Сравнительная характеристика откалиброванного гигрометра

Значение выходного сигнала в числовых единицах:

Аналоговый сигнал Ардуино: 0-1023 числовых единиц;

Рабочее напряжение Ардуино: 0-5 В;

**Термометр:**

Диапазон измерений:  $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тогда минимальное значение выходного напряжения:

$$V_{minT} = I_{minT} \cdot R_{\text{термометра}} = 4\text{ мА} \cdot 146.9\text{ Ом} \approx 0.5876\text{ В} \approx -30\text{ }^{\circ}\text{C} .$$

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{VminT} = \frac{V_{minT}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.5876[\text{В}]}{0.00489[\frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}}]} = 120.16\text{ [числ. ед. ]},$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{maxT} = I_{maxT} \cdot R_{\text{термометра}} = 20\text{ мА} \cdot 146.9\text{ Ом} \approx 2.938\text{ В} \approx +70\text{ }^{\circ}\text{C} ;$$

$$n_{VmaxT} = \frac{V_{maxT}}{n_{VperDigit}} = \frac{2.938\text{ [В]}}{0.00489[\frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}}]} = 600.81\text{ [числ. ед. ]}.$$

Количество  $^{\circ}\text{C}$ , соответствующее 1 численной единице:

$$n_{^{\circ}\text{C perD}} = \frac{\text{Диапазон измерений}_{maxT} - \text{Диапазон измерений}_{minT}}{n_{VmaxT} - n_{VminT}} =$$

$$= \frac{70[^\circ\text{C}] - (-30)[^\circ\text{C}]}{600.81[\text{числ. ед.}] - 120.16[\text{числ. ед.}]} = 0.208 \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\text{числ. ед.}} \right].$$

Так как значения характеристик температуры в свой диапазон включают значения ниже 0 и пересчет по основной методике давал бы ошибку в конечном результате целесообразно ввести параметр, который бы регулировал весь допустимый температурный диапазон.

Таким образом, стабилизирующий коэффициент равен:

$$T_0 = (n_{outT} [\text{числ. ед.}] - n_{VminT}) \cdot n_{^\circ\text{C perD}}.$$

В итоге, с учетом стабилизирующего коэффициента, температура окружающей среды в  $^\circ\text{C}$ :

$$\text{Диапазон измерений}_{minT} + T_0 = \text{Температура окружающей среды} [^\circ\text{C}]$$

### **Гигрометр:**

Диапазон измерений: 0 % ... 100 %, тогда минимальное значение выходного напряжения:

$$V_{minT} = I_{minT} \cdot R_{\text{гигрометр}} = 4 \text{ мА} \cdot 146.6 \text{ Ом} \approx 0.5864 \text{ В} \approx 0 \%$$

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{VminT} = \frac{V_{minT}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.5864[\text{В}]}{0.00489[\frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}}]} = 119.92 [\text{числ. ед.}].$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{max\Gamma} = I_{max\Gamma} \cdot R_{гигрометр} = 20 \text{ мА} \cdot 146.6 \text{ Ом} \approx 2.932 \text{ В} \approx 100 \%;$$

$$n_{Vmax\Gamma} = \frac{V_{max\Gamma}}{n_{VperDigit}} = \frac{2.932 \text{ [В]}}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 599.59 \text{ [числ. ед.]}$$

Количество вольт, соответствующее 1 %:

$$n_{Vper1\%} = \frac{V_{range\Gamma}}{\text{Диапазон измерения}_{max\Gamma}} = \frac{2.932[V] - 0.5864[V]}{100[\%]} = 0.0234 \left[ \frac{\text{В}}{\%} \right]$$

Количество числовых единиц, соответствующее 1 % влажности в свою очередь:

$$n_{Dper1\%} = \frac{n_{Vper\%}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.0234 \left[ \frac{\text{В}}{\%} \right]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 4.785 \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\%} \right]$$

В итоге влажность в % равно:

$$\frac{n_{out\Gamma} \text{ [числ. ед.]} - n_{Vmin} \text{ [числ. ед.]}}{n_{Dper\%} \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\%} \right]} = \text{Влажность [ \%]}$$

#### 2.4.5 Калибровка датчика интенсивности солнечного излучения

Калибровка пиранометра заключалась в нахождении числового значение выходного сигнала, так как основная калибровка была выполнена на изготовительном предприятии.

Значение выходного сигнала в числовых единицах:

Аналоговый сигнал Ардуино: 0-1023 числовых единиц;

Рабочее напряжение Ардуино: 0-5 В;

Диапазон измерений:  $0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} - 1600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ , тогда минимальное значение выходного напряжения:

$$V_{\min\Pi} = I_{\min\Pi} \cdot R_{\text{пиранометр}} = 4 \text{ мА} \cdot 248.8 \text{ Ом} \approx 0.9952 \text{ В} \approx 0 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Учитывая полученный результат определим диапазон значений числовых единиц.

Минимальное значение числовых единиц равно:

$$n_{V\min\Pi} = \frac{V_{\min\Pi}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.9952 \text{ [В]}}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 203.51 \text{ [числ. ед.]},$$

По аналогии определяем максимальное значение выходного напряжения и значение числовых единиц, соответствующее ему:

$$V_{\max\Pi} = I_{\max\Pi} \cdot R_{\text{пиранометр}} = 20 \text{ мА} \cdot 248.8 \text{ Ом} \approx 4.976 \text{ В} \approx 1600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$n_{V\max\Pi} = \frac{U_{\max\Pi}}{n_{VperDigit}} = \frac{4.976 \text{ [В]}}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 1017.6 \text{ [числ. ед.]},$$

Количество вольт, соответствующее  $1 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ :

$$\begin{aligned} n_{Vper \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} &= \frac{U_{\text{range}\Pi}}{\text{Диапазон измерения}_{\max\Pi}} = \frac{4.976 \text{ [В]} - 0.9952 \text{ [В]}}{1600 \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]} \\ &= 0.002488 \left[ \frac{\text{В}}{\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}} \right]. \end{aligned}$$

Количество числовых единиц, соответствующее  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  в свою очередь:

$$n_{Dper\frac{W}{m^2}} = \frac{n_{Vper\frac{W}{m^2}}}{n_{VperDigit}} = \frac{0.002488 \left[ \frac{\text{В}}{\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}} \right]}{0.00489 \left[ \frac{\text{В}}{\text{числ. ед.}} \right]} = 0.50879 \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}} \right].$$

В итоге интенсивность солнечного излучения в  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  равно:

$$\frac{n_{out\Pi} [\text{числ. ед.}] - n_{Vmin} [\text{числ. ед.}]}{n_{Dper\frac{W}{m^2}} \left[ \frac{\text{числ. ед.}}{\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}} \right]} = \text{Солнечная иррадиация} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right].$$

## 2.5 Описание созданного программного пакета

На основе методики расчета преобразования электрического сигнала, описанного в пункте 2.4 можно определить план работы алгоритма, проиллюстрированного на приведенной ниже блок-схеме (рис.2.7).

1. При изменении параметров погодных условий датчик подает электрический сигнал на плату-контроллер Ардуино;
2. Обработка электрического сигнала:
  - а. Проверка датчика на правильное подключение и правильную калибровку;
  - б. Преобразование входного сигнала по формулам из пункта 2.4
3. Обработка сигнала происходит каждую секунду и значение записывается в массив-вектор данных в течении одной минуты.
4. Элементы массива суммируются и делятся на количество входящих сигналов за эту минуту.

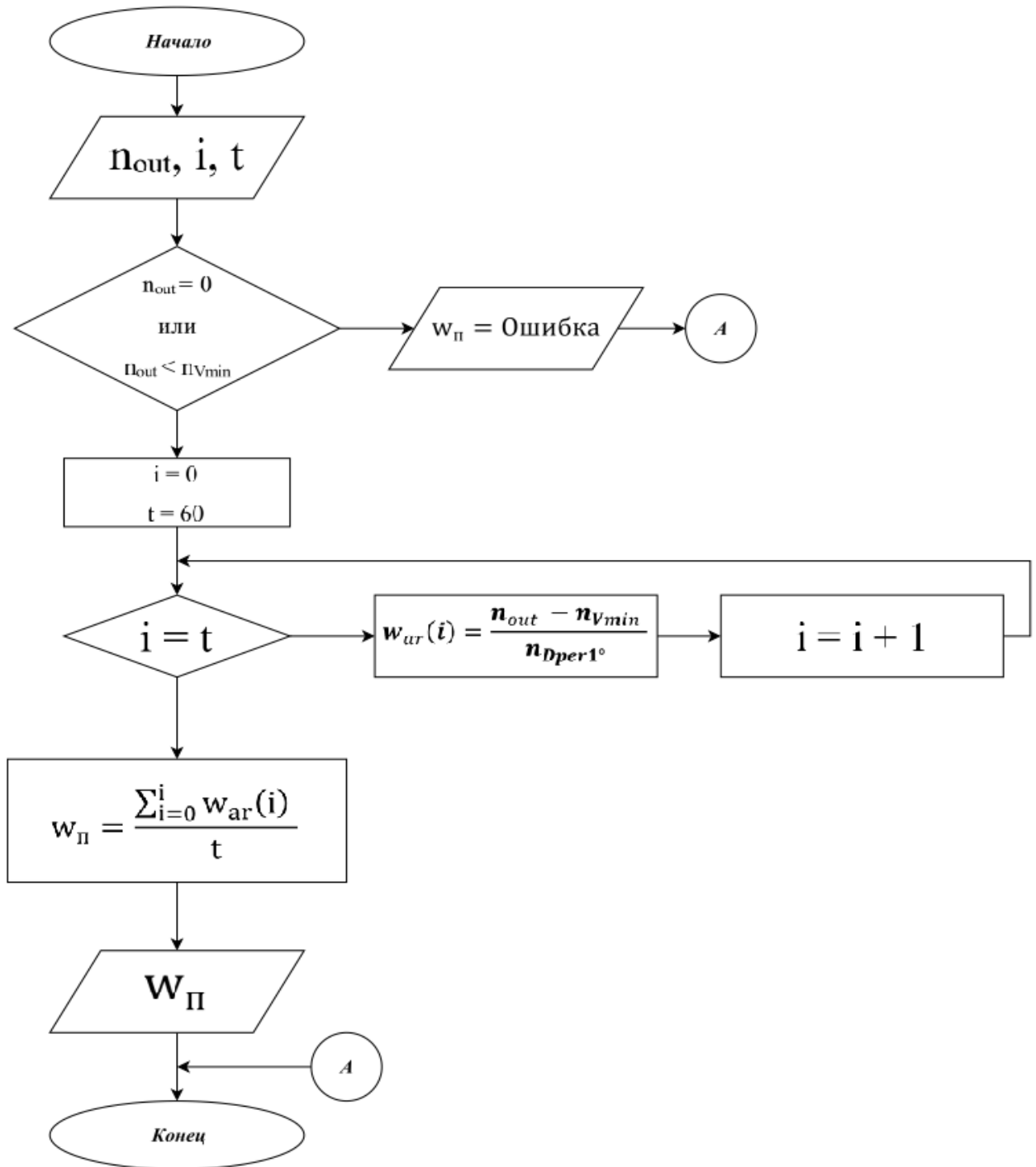


Рис.2.7 – Блок-схема программного кода

5. На выход подается среднее за минуту значение параметра погодного условия.

Данная блок-схема приведена для датчика направления воздушного потока, действие программного обеспечения для остальных датчиков аналогично, следуя указанной выше методике.

Программный код приведен в приложении Б.

## **2.6 Вывод по разделу**

В разделе была описана актуальность прогнозирования электрической энергии от ВДЕ в частности для ветро и солнечной энергетики.

Произведен обзор основных методов для прогнозирования выработки в солнечной и ветроэнергетике.

Выработана методика расчета по преобразованию электрического сигнала датчиков погодных условий, проиллюстрированы графики результатов калибровки.

По разработанной методике был написан программный код для работы метеостанции.



## РАЗДЕЛ 3

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Системы возобновляемых источников энергии набирают все большей популярности каждый день в связи со своей автономностью и неиссякаемостью. Существенным фактором, влияющим на выработку электрической энергии этих типов источников, является их зависимость от погодных условий. Знание о возможной генерации электричества дало бы возможность точно рассчитать работу ветропарков или солнечных электрических станций при их проектировании, что в свою очередь дало бы преимущество в стабильности вырабатываемой энергии, доступность информации о возможности покрытия мощности в пиковые часы с целью уменьшения нагрузки на объекты, которые используют традиционные источники энергии.

Однако для качественного прогноза генерации энергии необходимы точные и качественные параметры погодных условий.

В данном дипломном проекте предлагается создание программного продукта для преобразования электрического сигнала датчиков погоды в необходимые характеристики и параметры погодных условий и их дальнейшая обработка.

В экономическом разделе предлагается расчет трудоемкости обработки программного продукта, а также количество всех затрат, потребовавшихся при создании программного кода.

#### **3.1 Определение трудоемкости обработки программного продукта**

Нормирование труда в процессе создания программного обеспечения существенно усложнено из-за творческого характера работы программиста. Поэтому, трудоемкость обработки программного обеспечения может быть рассчитано на основе систем моделей с разной точностью оценки.

Трудоемкость обработки программного обеспечения можно рассчитать по формуле:

$$\begin{aligned}
 t &= t_0 + t_{\text{и}} + t_{\text{а}} + t_{\text{п}} + t_{\text{опл}} + t_{\text{д}} = \\
 &= 8 + 2.16 + 7.02 + 7.02 + 36.85 + 16.11 = 77.16 \text{ человеко-} \\
 &\quad \text{часов,}
 \end{aligned}$$

где  $t_0$  – затраты труда на подготовку и описание поставленной задачи;

$t_{\text{и}}$  – затраты труда на исследование алгоритма решения задания;

$t_{\text{а}}$  – затраты труда на обработку блок-схемы алгоритма;

$t_{\text{п}}$  – затраты труда на программирование по готовой блок схеме;

$t_{\text{опл}}$  – затраты труда на настройку программы на электронно-вычислительной машине;

$t_{\text{д}}$  – затраты труда на подготовку документации по заданию.

Составные части затрат труда определяются на основе условного количества операторов в программном обеспечении, которые обрабатывается, в число которых входят те операторы, которые необходимо написать в процессе работы над программой с учетом возможных уточнений в постановке задания и усовершенствования алгоритма.

Условное количество операторов в программе:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p) = 78 \cdot 1.4 \cdot (1 + 0.08) = 117.936,$$

где  $q = 78$  – предполагаемое количество операторов;

$c$  – коэффициент сложности программы;

$p$  – коэффициент коррекции программы в процессе ее обработки.

Коэффициент сложности программы  $c$  определяет относительную сложность программы по отношению к типовому заданию, сложность которого равно 1. Для данного программного обеспечения  $c = 1.4$ .

Коэффициент коррекции программы  $p$  определяет объем работ за счет внесения изменений в алгоритм или программу в следствии уточнения постановки задачи. В конкретном случае  $p = 0.08$ .

Оценка затрат труда на подготовку и описание задания зависит от конкретных условий и определяется на основе экспертных оценок. Для данного дипломного проекта  $t_0 = 8$  человеко – часов.

Затраты труда на изучение описания задания определяются с учетом уточнения описания и квалификации программиста по формуле:

$$t_{и} = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k} = \frac{117.936 \cdot 1.1}{75 \cdot 0.8} = 2.16 \text{ человеко – часов,}$$

где  $B$  – коэффициент увеличения затрат труда ( $B = 1.1$ );

$k$  – коэффициент квалификации программиста, который определяется в зависимости от стажа работы по специальности. Для данного случая  $k = 0.8$  (в данном случае опыт до 2 лет);

$p$  – коэффициент коррекции программы в процессе ее обработки.

Затраты труда на обработку алгоритма решения задания:

$$t_{а} = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} = \frac{117.936}{21 \cdot 0.8} = 7.02 \text{ человеко – часов.}$$

Затраты труда на составление программы по готовой блок-схеме:

$$t_{п} = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} = \frac{117.936}{21 \cdot 0.8} = 7.02 \text{ человеко – часов.}$$

Затраты труда на настройку программы на электронно-вычислительной машине рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{опл}} = \frac{Q}{4 \cdot k} = \frac{117.936}{4 \cdot 0.8} = 36.85 \text{ человеко - часов.}$$

Затраты труда на подготовку документации по заданию определяются по формуле:

$$t_{\text{д}} = t_{\text{др}} + t_{\text{до}} = 9.21 + 6.9 = 16.11 \text{ человеко - часов,}$$

где  $t_{\text{др}}$  – трудоемкость подготовки материалов к рукописи:

$$t_{\text{др}} = \frac{Q}{16 \cdot k} = \frac{117.936}{16 \cdot 0.8} = 9.21 \text{ человеко - часов;}$$

$t_{\text{до}}$  – трудоемкость редактирования, печати и оформления документации:

$$t_{\text{до}} = 0.75 \cdot t_{\text{др}} = 0.75 \cdot 9.21 = 6.9 \text{ человеко - часов,}$$

### 3.2 Расчет затрат на создание программного продукта

Затраты на создание программного продукта  $K_{\text{по}}$  включают затраты на заработную плату исполнителя программы  $Z_{\text{зп}}$  и машинного времени, необходимого для настройки программы на электронно-вычислительной машине  $Z_{\text{мв}}$ :

$$K_{\text{по}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мв}} = 4244 + 128 = 4372 \text{ грн.}$$

Заработная плата исполнителя определяется по формуле:

$$Z_{\text{зп}} = t \cdot C_{\text{пр}} = 77.16 \cdot 55 = 4244 \text{ грн.,}$$

где  $t$  – общая трудоемкость обработки программного обеспечения;

$C_{пр} = 55$  грн./час – средняя часовая заработная плата программиста с начислениями (в соответствии с данным из <https://jobs.dou.ua/salaries/>, для города Днепр с учетом малого опыта младшего разработчика).

Стоимость машинного времени, необходимого для настройки программы на электронно-вычислительной машине:

$$Z_{мв} = t_{опл} \cdot C_{мч} = 60.48 \cdot 2.12 = 128 \text{ грн.},$$

где  $t_{отл}$  – трудоемкость отладки программы на электронно-вычислительной машине, которая определяется по формулам из раздела 3.2;

$C_{мч}$  – стоимость машино-часов электронно-вычислительной машины, грн./часов.

Стоимость 1 часа машинного времени ПК, которая определяется по формуле:

$$\begin{aligned} C_{мч} &= P \cdot t_{ПК} \cdot C_e + \frac{\Phi_{зал} \cdot H_a}{F_{рг}} + \frac{K_{лпз} \cdot H_{апз}}{F_{рг}} = \\ &= 0,05 \cdot 1 \cdot 1.92072 \cdot 1.2 + \frac{9999 \cdot 0,4}{1993} + \frac{0 \cdot 0,4}{1993} = 2.12 \text{ грн.} \end{aligned}$$

где  $P = 0,05$  – установленная мощность ПК, кВт;

$C_e = 192.072$  – тариф на электроэнергию, коп/кВт\*год (для потребителей 2 категории, состоянием на июнь 2018 года, согласно данным из <https://maanim.com/indexes/140163-novye-tarify-na-elektroenergiyu-v-ukraine>);

$t_{ПК}$  – время работы ПК (1 час при );

$\Phi_{зал} = 9999$  грн – остаточная стоимость ПК на текущий год при его покупке в июне месяце 2017 года (Ноутбук марки «Асер», модели «Aspire ES1-732-P3T6» цена интернет-магазина «Розетка» по состоянию на июнь месяц 2017 года согласно: [http://rozetka.com.ua/acer\\_aspire\\_es1\\_732\\_p3t6\\_nx\\_gh4eu\\_012/p12694082/](http://rozetka.com.ua/acer_aspire_es1_732_p3t6_nx_gh4eu_012/p12694082/))

$H_a = 0,4$  – годовая норма амортизации на ПК, части единицы (состоянием на июнь 2018 года);

$H_{\text{апз}} = 0,4$  – годовая норма амортизации на лицензионное ПО, части единицы (состоянием на июнь 2018 года);

$K_{\text{лпз}} = 0$  грн, – стоимость лицензионного программного обеспечения, (Программное обеспечение для платы Ардуино: <https://www.arduino.cc/en/main/software>);

$F_{\text{рг}}$  – годовой фонд рабочего времени (при 40-а часовой рабочей неделе  $F_{\text{рг}} = 1993$  часов).

Определенные таким образом затраты на создание программного обеспечения являются частью одноразовых капитальных затрат на создание автоматизированной системы управления предприятием или другой аппаратуры автоматике.

Ожидаемая продолжительность обработки программного обеспечения:

$$T = \frac{t}{B_K \cdot F_p} = \frac{77.16}{1 \cdot 176} = 0.438 \text{ мес.}$$

где  $B_K$  – число исполнителей;

$F_p$  – месячный фонд рабочего времени (при 40-а часовой рабочей неделе  $F_p = 176$  часов).

### 3.3 Выводы по разделу

В данном разделе дипломного проекта были рассчитаны затраты при разработке и использовании рассматриваемого программного продукта. В сумме общие затраты:

$$K_{\text{по}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{мв}} = 4244 + 128 = 4372 \text{ грн.}$$

Затраты в такой сумме понесет потенциальный пользователь, занимающийся программированием метеостанции данного типа на основе данного программного кода.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В дипломном проекте были рассмотрены основные способы прогнозирования генерации электрической энергии с помощью солнечной и ветроэнергетики, а также их актуальность для ВДЕ.

Была составлена методика и алгоритм расчета калибровки датчиков погодных условий, которые являются наиболее популярны в применении на метеостанциях. По разработанной методике было создано программное обеспечение с целью обеспечения нормальной работы и функционирования метеостанции. Данный программный продукт позволит качественно и точно преобразовывать входной сигнал в выходное значение погодных условий, для дальнейшего создания базы данных этих характеристик и прогноза выработки электрической энергии для необходимого типа ВДЕ.

Так же во время прохождения преддипломной практики, была выполнена работа по настройке и калибровке датчиков согласно алгоритму разработанной методики.

В экономической части дипломного проекта были рассчитаны затраты связанные с трудоемкостью обработки и затраты на создание данного программного продукта.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ACCIONA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.acciona.com/renewable-energy/>
2. Альтернативная энергия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://alternativenergy.ru/vetroenergetika/81-raschet-vetrogeneratora.html>
3. Ackermann T., Anderson G., Soeder L. Distributed generation: a definition // Electric Power Systems Research, 2001, Vol.57, p. 195-204.
4. DIRECTORATE GENERAL FOR INTERNAL POLICIES Decentralized Energy Systems // INDUSTRY, RESEARCH AND ENERGY, 2010
5. Oozeki T., Otani K., and Kurokawa K.. “An Evaluation Method for PV System to Identify System Losses by Means of Utilizing Monitoring Data”. *Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*. Vol. 2, pp. 2319 -2322. Hawaii, May 2006.
6. Abbas D., Martinez A., Champenois G., Gaubert J.P., Kadri R., “Estimation of Wind Turbine and Solar Photovoltaic Energy Using Variant Sampling Intervals”, 978-1-4244-7855-2/10 ©2010 *IEEE*, pp. T 12-28 --T 12-34
7. Fracz R. and Dmowski A., “Monitoring and Control of Distributed Power Generation Systems such as Photovoltaic System”, *International PhD Workshop*, pp. 313-316, October 2008
8. Контроллер заряда солнечной батареи [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/kontroller-zaryada-solnechnoj-batarei.html>
9. Thies Clima, "Wind Transmitter - compact 4.3129.xx.140... 961," 37083 Göttingen, 2010.
10. Thies Clima, "Windsensor compact," [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://thiesclima.com/windsensor\\_compact.html](http://thiesclima.com/windsensor_compact.html).
11. Thies Clima, "Wind Direction Transmitter - compact 4.3129.xx.xxx," 37083 Göttingen, 2014.

12. Thies Clima, "Windrichtungssensor Compact," [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://thiesclima.com/windrichtungssensor\\_compact.html](http://thiesclima.com/windrichtungssensor_compact.html).
13. Lufft, "Drucksensor | Druck - Lufft," [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.lufft.com/de/producte/druck/drucksensor-835503>.
14. Thies Clima, "Hygro-ThermoTransmitter-compact 1.1005.54.xxx 1.1005.64.xxx," 37083 Göttingen, 2013.
15. Thies Clima, "Hydro - Thermogeber compact," [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://thiesclima.com/hydro-thermogeber.html>
16. KippZonen, "Pyranometer" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kippzonen.com/Product/12/CMP6-Pyranometer#.XCDJ-iNzCCo>
17. B+B sensors, "Operation manual Rain Detector REGME model 12 V AC/DC or 24 V AC/DC," D-78166 Donaueschingen, 2016.
18. Richard Perez, Sergey Kivalov, James Schlemmer, Karl Hemker Jr., David Renn and Thomas E. Hoff , "Validation of short and mediumterm operational solar radiation forecasts in the us," Solar Energy, pp.2161-2172, 2010.
19. F. Nomiya, J. Asai, T. Murakami and J. Murata, "A study on global solar radiation forecasting using weather forecast data," IEEconference, 978-1-61284-857-0/11, 2011.
20. M. Diagne, M. David, P. Lauret, J. Boland and N. Schmutz, "Review of solar irradiance forecasting methods and a proposition for small-scale insular grids," Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, pp.65 – 76, 2013.
21. S. H. Oudjana, A. Hellal and I. H. Mahamed, "Short term photovoltaic power generation forecasting using neural network," IEEE sponsored conference, 2012, 978-1-4577-1829-8/12/\$26.00 ©2012 IEEE.
22. Z. Dong, D. Yang, T. Reindl and W. M. Walsh, "Short-term solar irradiance forecasting using exponential smoothing state space model," Elsevier, Energy 55, pp. 1104-1113, 2013.
23. A. Gandelli, F. Grimaccia, S. Leva, M. Musseta and E. Ogliari, "Hybrid model analysis and validation for PV energy production forecasting," IEEE International Joint Conference on Neural Networks, pp.1957-1962, 2014.

24. M. G. De Giorgi, P. M. Congedo and M. Malvoni, "Photovoltaic power forecasting using statistical method: impact of weather data," *IET Sci. Meas. Technol.*, Vol. 8, Iss. 3, pp. 90–97, 2014.
25. M. Cococcioni, E. D' Andrea and B. Lazzerini, "24-hour-ahead forecasting of energy production in solar PV system," *11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pp.1276- 81, 2011.
26. A. Yona, T. Senjyu, T. Funabashi and C. H. Kim, "Determination method of insolation prediction with fuzzy and applying neural network for long term ahead PV power output correction," *IEEE transaction on sustainable energy*, VOL.4, NO.2, pp.527-533, 2013.
27. J. Tang, A. Brouste, and K. L. Tsui, "Some improvements of wind speed Markov chain modeling," *Renewable Energy*, vol. 81, pp. 52-56, 2015.
28. M. Milligan, M. Schwartz, and Y. Wan, "Statistical wind power forecasting models: Results for U.S. wind farms," in *Proc. Windpower*, Austin, TX, May 18–21, 2003.
29. A. Kusiak and W. Y. Li, "Short-term prediction of windpower with a clustering approach," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 10, pp. 2362-2369, 2010.
30. [E. Cadenas, O.A. Jaramillo, and W. Rivera, "Analysis and forecasting of wind velocity in chetumal, quintana roo, using the single exponential smoothing method", *Renewable Energy*, vol. 35, no. 5, pp. 925-930, 2010.
31. R. G. Kavasseri and K. Seetharaman, "Day-ahead wind speed forecasting using f-ARIMA models," *Renewable Energy*, vol. 34, no. 5, pp. 1388-1393, 2009.
32. L. Han, C. E. Romero, and Z. Yao, "Wind power forecasting based on principle component phase space reconstruction," *Renewable Energy*, vol. 81, pp. 737-744, 2015.
33. M. Khalid and A. V. Savkin, "A method for short-term wind power prediction with multiple observation points," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 27, no. 2, pp. 579-586, 2012.

34. L. Lazić, G. Pejanović, M. Živković, and L. Ilić, "Improved wind forecasts for wind power generation using the Eta model and MOS (Model Output Statistics) method," *Energy*, vol. 73, pp. 567-574, 2014.
35. H.W. Peng, F. R. Liu, and X. F. Yang, "A hybrid strategy of short term wind power prediction," *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 590-595, 2013.
36. D. H. Kim, G. N. Lee, and O. Kwon, "Wind power prediction at southwest coast of Korea from measured wind dataa)," *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 6, no. 6, 063101, 2014.
37. Y. Jiang, Z. Song, and A. Kusiak, "Very short-term wind speed forecasting with Bayesian structural break model," *Renewable Energy*, vol. 50, pp. 637-647, 2013.
38. R. Blonbou, "Very short-term wind power forecasting with neural networks and adaptive Bayesian learning," *Renewable Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 1118-1124, 2011.
39. Z. Song, Y. Jiang, and Z. Zhang, "Short-term wind speed forecasting with Markov-switching model," *Applied Energy*, vol. 130, pp. 103-112, 2014.
40. S. A. P. Kani, and M. M. Ardehali, "Very short-term wind speed prediction: A new artificial neural network–Markov chain model," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 1, pp. 738-745, 2011.
41. L. Yang, M. He, J. S. Zhang, and V. Vittal, "Support-Vector-Machine-Enhanced Markov Model for Short-Term Wind Power Forecast," *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 791-799, 2015.
42. J. M. Hu, J. Z. Wang, and K. L. Ma, "A hybrid technique for short-term wind speed prediction," *Energy*, vol. 81, pp. 563-574, 2015.
43. H. Liu, H. Q. Tian, C. Chen, and Y. F. Li, "A hybrid statistical method to predict wind speed and wind power," *Renewable Energy*, vol. 35, no. 8, pp. 1857-1861, 2010.
44. H. Liu, C. Chen, H. Q. Tian, and Y. F. Li, "A hybrid model for wind speed prediction using empirical mode decomposition and artificial neural networks," *Renewable Energy*, vol. 48, pp. 545-556, 2012.

45. Q. H. Hu, P. Y. Su, D. R. Yu, and J. F. Liu, "Pattern-Based Wind Speed Prediction Based on Generalized Principal Component Analysis," *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 866-874, 2014.
46. S. Alessandrini, L. D. Monache, S. Sperati, and J. N. Nissen, "A novel application of an analog ensemble for short-term wind power forecasting," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 768-781, 2015.
47. O. B. Shukur, and M. H. Lee, "Daily wind speed forecasting through hybrid KF-ANN model based on ARIMA," *Renewable Energy*, vol. 76, pp. 637-647, 2015.
48. A. U. Haque, M. H. Nehrir, and P. Mandal, "A Hybrid Intelligent Model for Deterministic and Quantile Regression Approach for Probabilistic Wind Power Forecasting," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 29, no. 4, pp. 1663-1672, 2014.
49. D. Lee and R. Baldick "Short-Term Wind Power Ensemble Prediction Based on Gaussian Processes and Neural Networks," *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 5, no. 1, pp. 501-510, 2014.
50. H. Quan, D. Srinivasan, and A. Khosravi, "Short-Term Load and Wind Power Forecasting Using Neural Network-Based Prediction Intervals," *IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems*, vol. 25, no. 2, pp. 303-315, 2014.
51. H. B. Azad, S. Mekhilef, and V. G. Ganapathy, "Long-Term Wind Speed Forecasting and General Pattern Recognition Using Neural Networks," *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 5, no. 2, pp. 546-553, 2014.
52. Z. H. Guo, W. G. Zhao, H. Y. Lu, and J. Z. Wang, "Multi-step forecasting for wind speed using a modified EMD-based artificial neural network model," *Renewable Energy*, vol. 37, no. 1, pp. 241-249, 2012.
53. C. Ren, N. An, J. Z. Wang, L. Li, B. Hu, and D. Shang, "Optimal parameters selection for BP neural network based on particle swarm optimization: A case study of wind speed forecasting," *Knowledge-Based Systems*, vol. 56, pp. 226-239, 2014.
54. J. M. Hu, J. Z. Wang, and G. W. Zeng, "A hybrid forecasting approach applied to wind speed time series," *Renewable Energy*, vol. 60, pp. 185-194, 2013.

**Приложение А**

## Ведомость материалов дипломного проекта

№ п/п	Формат	Обозначение	Наименование	Кол-во страниц	Приме чание
1	A4		Пояснительная записка	77	
2	A4		Графическая часть (презентация)	15	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программный код для платы контроллера Ардуино:

```
#include <Wire.h>
#include "RTCLib.h"
RTC_DS1307 rtc;
//#include <ArduinoJson.h>

int timestep = 1000;
int timestep_print = 1000;
int anzahl_messwerte = 60;

int i_wrtg_sensor ;
int i_wrtg ;
int i_wrtg_array[60];
int i_wrtg_mittelwert;

float i_wgsw_sensor ;
float i_wgsw ;
float i_wgsw_array[60];
float i_wgsw_mittelwert;

int i_druck_sensor ;
unsigned int i_ldruck ;
int i_ldruck_array[60];
int i_ldruck_mittelwert;

float i_temp_sensor ;
float i_temp ;
float i_temp_array[60];
float i_temp_mittelwert;

int i_lfeuchte_sensor ;
int i_lfeuchte ;
```

```
int i_lfeuchte_array[60];
int i_lfeuchte_mittelwert;
int i=0;

int i_pyranomDiffuse_sensor ;
int i_pyranomDiffuse ;
int i_pyranomDiffuse_array[60];
int i_pyranomDiffuse_mittelwert;

int i_pyranomGlobal_sensor;
int i_pyranomGlobal;
int i_pyranomGlobal_array[60];
int i_pyranomGlobal_mittelwert;

int Rain;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin (9600) ;
  rtc.begin();
  if(! rtc.isrunning())
  {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
    rtc.adjust(DateTime(__DATE__,__TIME__));
  }
}

void loop()
{
  delay(1000);

  // Wind Direction input singal (Analogpin A0)
  i_wrtg_sensor = analogRead (A0) ;
```



```

// Wind Velocity input signal (Analogpin A1)
i_wgsw_sensor = analogRead (A1) ;

// Air Pressure input signal (Analogpin A2)
i_druck_sensor = analogRead (A2) ;

// Ambient Temperature input signal (Analogpin A3)
i_temp_sensor = analogRead (A3) ;

// Humidity input signal (Analogpin A4)
i_lfeuchte_sensor = analogRead (A4) ;

// Pyranometers input signal (Analogpins A8 and A9)
i_pyranomDiffuse_sensor = analogRead (A8) ;
i_pyranomGlobal_sensor = analogRead (A9) ;
Rain = digitalRead (4);

// ===== Wind Direction A0
if( i_wrtg_sensor == 0 || i_wrtg_sensor < 199)
{
i_wrtg = 9999;
}
else
{
// Conversion of the voltage in degrees [ R = 248.6 Ohm ]
i_wrtg = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_wrtg_array[i] = (( i_wrtg_sensor - 203) / 2.249);

}
// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{

```

```

i_wrtg = i_wrtg + i_wrtg_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_wrtg_mittelwert = i_wrtg / anzahl_messwerte;
}

// ===== Wind Velocity
A1
if( i_wgsw_sensor == 0 || i_wgsw_sensor < 197)
{
i_wgsw = 9999;
}
else
{
// Conversion from the voltage to m/s [ R = 247.8 Ohm ]
i_wgsw = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_wgsw_array [i] = (( i_wgsw_sensor - 202) / 16.257);
}
// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_wgsw = i_wgsw + i_wgsw_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_wgsw_mittelwert = i_wgsw / anzahl_messwerte;
}

//===== Air Pressure
A2
if( i_druck_sensor == 0 || i_druck_sensor < 202)

```

```

{
i_ldruck = 9999;
}
else
{
// Umrechnung der Spannung in mbar = hPa (0 m NN = Meereshoehe ) [ R = 248.1 Ohm ]
i_ldruck = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_ldruck_array[i] = (( i_druck_sensor - 202.94) / 0.67648);

}
// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_ldruck = i_ldruck + i_ldruck_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_ldruck_mittelwert = i_ldruck / anzahl_messwerte;
}

// ===== Temperature
A3
if( i_temp_sensor == 0 || i_temp_sensor < 120)
{
i_temp = 9999;
}
else
{
// Umrechnung der Spannung in Grad Celsius [ R = 146.9 Ohm ]
i_temp = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{

```

```

    i_temp_array [i] = ((( i_temp_sensor - 120.16) * 0.208) -30);

}

// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
    i_temp = i_temp + i_temp_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_temp_mittelwert = i_temp / anzahl_messwerte;
}

// ===== Humidity A4
if( i_lfeuchte_sensor == 0 || i_lfeuchte_sensor < 120)
{
    i_lfeuchte = 9999;
}
else
{
    // Umrechnung der Spannung in % [ R = 146.6 Ohm ]
    i_lfeuchte = 0 ;
    for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
    {
        i_lfeuchte_array [i] = (( i_lfeuchte_sensor - 119.92) / 4.785);

    }
}

// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
    i_lfeuchte = i_lfeuchte + i_lfeuchte_array[i];
}

```

```

// Mittelwert bilden
i_lfeuchte_mittelwert = i_lfeuchte / anzahl_messwerte;
}

// ===== Pyranometer
Diffuse A8
if( i_pyranomDiffuse_sensor == 0 || i_pyranomDiffuse_sensor == 0)
{
i_pyranomDiffuse = 9999;
}
else
{
// Conversion of the voltage in degrees [ R = 248.6 Ohm ]
i_pyranomDiffuse = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_pyranomDiffuse_array[i] = (( i_pyranomDiffuse_sensor - 203.51) / 0.50879);

}
// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_pyranomDiffuse = i_pyranomDiffuse + i_pyranomDiffuse_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_pyranomDiffuse_mittelwert = i_pyranomDiffuse / anzahl_messwerte;
}

// ===== Pyranometer
Global A9
if( i_pyranomGlobal_sensor == 0 || i_pyranomGlobal_sensor == 0 )
{
i_pyranomGlobal = 9999;
}

```

```

}
else
{
// Conversion of the voltage in degrees [ R = 248.6 Ohm ]
i_pyranomGlobal = 0;
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_pyranomGlobal_array[i] = (( i_pyranomGlobal_sensor - 203.51) / 0.50879);

}
// Werte aufaddieren
for (i = 0; i < anzahl_messwerte; i++)
{
i_pyranomGlobal = i_pyranomGlobal + i_pyranomGlobal_array[i];
}

// Mittelwert bilden
i_pyranomGlobal_mittelwert = i_pyranomGlobal / anzahl_messwerte;
}

Serial.print("Wind Direction: ");
Serial.print(i_wrtg_mittelwert);
Serial.print( "°; ");
Serial.print("Wind Velocity: ");
Serial.print(i_wgsw_mittelwert);
Serial.print( " m/s; ");
Serial.print("Air Pressure: ");
Serial.print(i_ldruck_mittelwert);
Serial.print( " mbar; ");
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(i_lfeuchte_mittelwert);
Serial.print( " %; ");
Serial.print("Temperature: ");

```

```
Serial.print(i_temp_mittelwert);
Serial.print( " °C; ");
Serial.print("Irradiation Diffuse: ");
Serial.print(i_pyranomDiffuse_mittelwert);
Serial.print( " W/m2; ");
Serial.print("Irradiation Global: ");
Serial.print(i_pyranomGlobal_mittelwert);
Serial.print( " W/m2; ");
Serial.println();

Serial.print("Wind Direction: ");
Serial.print(i_wrtg_sensor);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Wind Velocity: ");
Serial.print(i_wgsw_sensor);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Air Pressure: ");
Serial.print(i_druck_sensor);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(i_lfeuchte_sensor);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(i_temp_sensor);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Irradiation Diffuse: ");
Serial.print(i_pyranomDiffuse_mittelwert);
Serial.print( " Digits; ");
Serial.print("Irradiation Global: ");
Serial.print(i_pyranomGlobal_mittelwert);
Serial.println( " Digits; ");
//Serial.println(Rain);
Serial.println();
```

```
Serial.println();  
Serial.println();  
  
delay(60000);
```



## **ВІДГУК**

на дипломний проект студента групи 141м-17-3

Кізя Олексія Юрійовича

на тему "Прогнозування генерації вироблення електричної енергії на основі даних про погодні умови"

Магістерська кваліфікаційна робота представлена пояснювальною запискою обсягом 88 сторінок та графічною частиною, представленою презентацією яка містить 15 слайдів формату А4.

Магістерська робота виконувалася студентом Кізем О.Ю. під час його стажування протягом 2017/2018 н.р. у Ройтлінгенському технічному університеті.

Об'єктом дослідження є метеостанція встановлена на даху одного з корпусів Ройтлінгенського технічного університету.

Мета даної роботи – розробка програмного забезпечення для визначення параметрів погодних умов для прогнозування вироблення електричної енергії на електростанції що застосовує відновлювані джерела енергії.

Технології прогнозу погоди постійно вдосконалюються, з'являються все більше різноманітності методів прогнозування, які спираються на все більш точні прогнози погоди, аналіз статистичних даних. Методи прогнозування, в основному, в своєму алгоритмі дії використовують дані погодних умов на базі попередніх і діючих значень. З цією метою використовуються спеціальні метеостанції, що включають в себе набір різноманітних датчиків. Перед студентом Кізем О.Ю. під час проходження ним стажування була поставлена задача розібратися з наявним обладнанням (опис якого наведено у роботі) та розробити алгоритм та програмний код для системи прогнозування вироблення електричної енергії на електростанції яка належить Ройтлінгенському технічному університету та включає в себе сонячну частину та вітрогенератор.

Розділ "техніко економічне обґрунтування виконаний відповідно до поставленого завдання.

Зауваження магістерської роботи – нажаль, студент не навів прогноз вироблення електричної енергії та не порівняв його з дійсним виробленням.

Не зважаючи на зауваження диплом виконаний на високому рівні, простежується логічний зв'язок між розділами, всі розрахунки проведені у відповідності із загальноприйнятими методиками. Основна мета проекту досягнута, поставлена задача виконана.

Проект заслуговує оцінки «відмінно» (95 балів), а його автор Кізь Олексій Юрійович присвоєння кваліфікації "інженер-електрик в електроенергетичній сфері".

Керівник,

д.т.н, професор

завідувач кафедри

відновлюваних джерел енергії

Ф.П. Шкрабець