

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний факультет

Кафедра Відновлюваних джерел енергії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
магістерської дисертації

галузь знань 14 – Електрична інженерія

спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

освітній рівень магістр

кваліфікація 2143.2 Інженер-електрик в енергетичній сфері

на тему Розробка системи комплексного енергопостачання авто-
номних об'єктів на основі відновлюваних джерел енергії

Виконавець: Кушнір Тетяна Андріївна

студент II курсу, групи 141м-16-3

(підпис)

Кушнір Т.А
(прізвище та ініціали)

| Керівники/консультанти | Прізвище, ініціали | Оцінка | Підпис |
|---|--------------------|--------|--------|
| Проекту | Шкрабець Ф.П. | | |
| розділів: | | | |
| Аналіз систем побудови комплексного енергопостачання на основі ВДЕ | Ципленков Д.В. | | |
| Оцінка потенціалу сонячної та вітрової енергії для умов Центральної України | Ципленков Д.В. | | |
| Розрахунок гібридної автономної системи енергозабезпечення котеджу | Ципленков Д.В. | | |
| Техніко-економічне обґрунтування | Тимошенко Л.В. | | |

| | | | |
|------------------|------------|--|--|
| Рецензент | Шкиль Ю.В. | | |
|------------------|------------|--|--|

| | | | |
|----------------------|----------------|--|--|
| Нормоконтроль | Ципленков Д.В. | | |
|----------------------|----------------|--|--|

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

Відновлюваних джерел енергії

(повна назва)

Шкрабець Ф.П.

(прізвище, ініціали)

(підпис)

“

”

січня

2018 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії)

студенту групи 141м-16-3
(група)

Кушнір Т.А.
(прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Розробка системи комплексного енергопостачання автономних об'єктів на основі відновлюваних джерел

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31 жовтня 2017 р № 1806-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень процес спільного вироблення енергії (теплової та електричної) гібридною автономною системою в умовах Центральної України

Предмет досліджень схеми гібридних установок для автономного енергопостачання будинку

Мета НДР полягає у забезпеченні ефективного енергопостачання котеджу в умовах Центральної України комбінованою системою енергопостачання

Вихідні дані для проведення роботи Метеорологічні та кліматичні мови для Полтавської та Кіровоградської областей, котедж загальною площею 200 м², чотири особи

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна запропоновано для забезпечення автономної системи енергопостачання житлового будинку використовувати комбіновану систему, яка складається з вітрогенератора сонячного колектора, сонячних панелей і дизель-генератора.

Практична цінність розвиток технологій по використанню поновлюваних джерел енергії для автономних систем

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

Повинні бути апробовані на конференціях

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

| Найменування етапів робіт | Строки виконання робіт (початок-кінець) |
|---|---|
| Аналіз систем побудови комплексного енергопостачання на основі ВДЕ | 04.09.2017-16.10.2017 |
| Оцінка потенціалу сонячної та вітрової енергії для умов Центральної України | 16.10.2017-20.11.2017 |
| Розрахунок гібридної автономної системи енергозабезпечення котеджу | 20.11.2017-25.12.2017 |
| Техніко-економічне обґрунтування | 25.12.2017-22.01.2018 |

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект окупність пропонованої системи автономного енергозабезпечення становить 6 років, що говорить про перспективність її застосування при сучасному рівні цін на енергоносії

Соціальний ефект масове застосування гібридних систем дозволить створити додаткові робочі місця (організація підприємств з обслуговування та монтажу систем)

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав

_____ (підпис)

Шкрабець Ф. П.

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Кушнір Т. А.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК

22.01.2018

Реферат

Пояснительная записка магистерской диссертации состоит из : 149 стр., 67 рис., 21 табл., 51 источ.

Тема: Разработка системы комплексного энергоснабжения автономных объектов на основе возобновляемых источников энергии.

В первом разделе представлен анализ существующих схем для автономных систем энергоснабжения на базе вето-, солнечно- и дизельной генерации. Данный анализ показал, что наиболее перспективными в области построения автономных систем энергообеспечения для удаленных населенных пунктов Центральной Украины является применение гибридных систем на базе структуры ветро-солнечно-дизельной станции с использованием солнечных коллекторов для системы отопления и горячего водоснабжения.

Во втором разделе проведен анализ потенциала возобновляемых источников энергии для условий Центральной Украины (Полтавская и Кировоградская области).

В третьем разделе произведен расчет и выбор необходимого оборудования автономной ветро-солнечно-дизельной системы для отдельностоящего здания в климатических условиях Центральной Украины.

В разделе технико-экономического обоснования был произведён расчёт стоимости внедряемого проекта, а также рассчитана экономическая эффективность от его внедрения. Было установлено, что при использовании такой системы происходит экономия средств и данная система окупается гораздо быстрее полезного срока использования оборудования, что говорит об эффективности внедрения данного проекта.

Научная новизна работы заключается в следующем – предложено для обеспечения автономной системы энергоснабжения жилого дома использовать комбинированную систему состоящую из ветрогенератора, солнечного коллектора, солнечных панелей и дизель-генератора.

Ключевые слова: КОМБИНИРОВАННОЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ, ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА, КОЛЛЕКТОРНАЯ УСТАНОВКА, СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ, ВЕТРОУСТАНОВКА, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНАЯ УСТАНОВКА, НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Реферат

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з: 149 стр., 67 рис., 21 табл., 51 джерел.

Тема: Розробка системи комплексного енергопостачання автономних об'єктів на основі відновлюваних джерел енергії.

У першому розділі представлено аналіз існуючих схем для авто-автономних систем енергопостачання на базі вітро-, сонячно- і дизельної генераторів. Даний аналіз показав, що найбільш перспективними в області побудови автономних систем енергозабезпечення для віддалених населених пунктів Центральної України є застосування гібридних систем на базі структури вітро-сонячно-дизельної станції з використанням сонячних колекторів для системи опалення та гарячого водопостачання.

У другому розділі проведено аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії для умов Центральної України (Полтавська і Кіровоградська області).

У третьому розділі зроблено розрахунок і вибір необхідного обладнання автономної вітро-сонячно-дизельної системи для віддаленої будівлі у кліматичних умовах Центральної України.

У розділі техніко-економічного обґрунтування був зроблений розрахунок вартості впроваджуваного проекту, а також розрахована економічна ефективність від його впровадження. Було встановлено, що при використанні такої системи відбувається економія коштів і дана система окупається набагато швидше корисного терміну використання обладнання, що говорить про ефективність впровадження даного проекту.

Наукова новизна роботи полягає в наступному – запропоновано для забезпечення автономної системи енергопостачання житлового будинку використовувати комбіновану систему, що складається із вітрогенератора, сонячного колектора, сонячних панелей і дизель-генератора.

Ключові слова: КОМБІНОВАНЕ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ, ГІБРИДНА СИСТЕМА, КОЛЕКТОРНА УСТАНОВКА, СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ВІТРОУСТАНОВКА, ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНА УСТАНОВКА, НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

Abstract

Explanatory note of the master's thesis consists of: 149 pages., 67 drawing., 21 tables., 51 literary sources.

Theme: Development of a system of integrated power supply of autonomous objects on the basis of renewable energy sources.

The first chapter presents an analysis of existing schemes for autonomous power supply systems based on wind generation, solar generation and diesel generation. This analysis showed that the most promising in the field of building autonomous power supply systems for remote settlements in Central Ukraine is the use of hybrid systems based on the structure of a wind-solar-diesel station using solar collectors for a heating and hot water supply system.

In the second chapter there is an analysis of the potential of renewable energy sources for the conditions of Central Ukraine (Poltava and Kirovograd regions).

The third chapter has the calculation and selection of the necessary equipment of an autonomous wind-solar-diesel system for a detached building in the climatic conditions of Central Ukraine.

In the chapter of the feasibility study, the cost of the implemented project was calculated, and the economic efficiency of its implementation was calculated. It was found that when using such a system, there is a cost saving and this system pays off much faster than the useful life of the equipment, which indicates the effectiveness of the implementation of this project.

Scientific novelty of the work is the following - it is proposed to use a combined system consisting of a wind generator, a solar collector, solar panels and a diesel generator to provide an autonomous power supply system for a residential house.

Keywords: COMBINED ENERGY SUPPLY, HYBRID SYSTEM, COLLECTOR INSTALLATION, SOLAR THERMAL COLLECTOR, SOLAR PANEL, WIND TURBINE, DIESEL GENERATOR, RELIABILITY, EFFICIENCY.

Содержание

| | |
|--|----|
| Перечень условных обозначений | 10 |
| Введение. | 11 |
| Раздел 1. Анализ систем построения комплексного энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии. | 16 |
| 1.1 Автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых источников электроэнергии (гибридные системы) | 17 |
| 1.2 Гибридные системы электроснабжения с дублирующими дизельными электростанциями. | 23 |
| 1.3 Гибридные системы электроснабжения с совместной ветро-солнечно-дизельной генерацией. | 28 |
| 1.4 Системы теплоснабжения. | 31 |
| 1.4.1 Потенциал использования солнечного излучения для теплоснабжения. | 31 |
| 1.4.2 Основные характеристики солнечного коллектора. | 36 |
| 1.4.3 Основные различия в режимах работы солнечной коллекторной системы. | 38 |
| 1.4.4 Системы с солнечными коллекторами и тепловым насосом | 40 |
| 1.5 Выводы по разделу. | 43 |
| Раздел 2. Оценка потенциала солнечной и ветровой энергии для условий Центральной Украины. | 44 |
| 2.1 Солнечное излучение и ветровой потенциал как источник энергии | 44 |
| 2.1.2 Потенциал солнечной энергии в Украине. | 48 |
| 2.1.3 Ветер как энергетический ресурс. | 48 |
| 2.1.4 Потенциал ветровой энергии в Украине. | 50 |
| 2.2 Метеорологические и климатические условия Кировоградской и Полтавской областей. | 53 |
| 2.2.1 Метеорологические и климатические условия Кировоградской области. | 53 |

| | |
|--|-----|
| 2.2.2 Метеорологические и климатические условия Полтавской области. | 59 |
| 2.3 Оценка солнечной инсоляции для условий Полтавской и Кировоградской областей. | 69 |
| 2.4 Оценка потенциала ветровой энергии для Полтавской и Кировоградской областей. | 73 |
| 2.5 Выводы по разделу. | 76 |
| Раздел 3. Расчет гибридной автономной системы энергообеспечения коттеджа. | 78 |
| 3.1 Оценка энергетических потребностей объекта энергоснабжения . . | 78 |
| 3.2 Расчет фотогальванической системы. | 85 |
| 3.2.1 Определение количества солнечных панелей. | 89 |
| 3.3 Расчет горячего водоснабжения от солнечных коллекторов с поддержкой отопления. | 104 |
| 3.3.1. Выбор типа солнечного коллектора. | 104 |
| 3.3.2. Определение необходимого солнечного коллектора. | 106 |
| 3.3.3. Расчет нагрузки горячего водоснабжения и отопления. | 109 |
| 3.3.4 Выбор накопительного бака. | 116 |
| 3.3.5 Выбор дополнительного источника нагрева. | 117 |
| 3.3.6 Расчет расширительного бака. | 118 |
| 3.3.7 Выбор контроллера. | 119 |
| 3.3.8 Выбор насосной станции. | 120 |
| 3.3.9 Проверка правильности выбора площади солнечного коллектора. | 120 |
| 3.4 Выбор ветроустановки. | 122 |
| 3.5 Выбор ДГУ, инвертора и разработка системы электроснабжения . . | 125 |
| 3.5.1 Выбор дизель-генераторной установки. | 125 |
| 3.5.2 Выбор инвертора. | 128 |
| 3.5.3 Обоснование схемы автономного электроснабжения. | 128 |
| 3.6 Выводы по разделу. | 133 |

| | |
|---|-----|
| Раздел 4 Технико-экономическое обоснование. | 134 |
| 4.1 Расчет капитальных затрат. | 134 |
| 4.2 Расчет эксплуатационных затрат. | 136 |
| 4.2.1 Расчет амортизационных отчислений. | 137 |
| 4.2.2 Определение годовых затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт. | 138 |
| 4.2.3 Расчет стоимости потребленной электрической и тепловой энергии. | 139 |
| 4.3 Определение и анализ показателей экономической эффективности | 141 |
| 4.4 Выводы по разделу | 142 |
| Выводы. | 143 |
| Перечень использованной литературы | 145 |

Перечень условных сокращений

- АБ – аккумуляторная батарея;
- АИ – автономный инвертор;
- АКБ – аккумуляторных батарей (АКБ);
- АУ – аккумулирующее устройство;
- БН – балластная нагрузка;
- ВДЭС – ветро-дизельная электрическая станция;
- ВИЭ – возобновляемый источник энергии;
- ВМО – всемирная метеорологическая организация;
- В/П – выпрямитель или преобразователь электроэнергии;
- ВЭС – ветровая электростанция;
- ВЭУ – ветроэлектрическая установка;
- ГЭС – гидроэлектростанция;
- ДГУ – дизель-генераторная установка;
- ДЭС – дизельная электростанция;
- ИПБ – источник бесперебойного питания;
- ООН – Организация Объединенных Наций;
- ПН – преобразователь напряжения;
- ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса;
- САВР – системы автоматического включения резерва;
- СБ – солнечная батарея;
- СЭ – солнечная энергия;
- ФЭС – фотоэлектрическая станция.

Введение

Долгие годы газ и электричество считались самыми выгодными источниками для отопления помещений и обогрева воды. Относительно низкие тарифы, простота и безопасность при обслуживании газовых и электрических котлов, отсутствие нагрузки электросети. Эти факторы определяли выбор в пользу данных видов энергообеспечения. Из-за огромного роста тарифов на газ и электричество такие виды энергообеспечения становятся не просто невыгодными, но даже неподъемными для семейных бюджетов. Особенно в помещениях большой площадью. То же касается и объектов, удаленных на большое расстояние от централизованных систем энергоснабжения.

По существующим оценкам, технический ресурс возобновляемых источников энергии (преобладающую долю в котором имеет потенциал использования энергии солнца и энергии ветра) очень большой. Экономический потенциал ВИЭ зависит от существующих экономических условий, стоимости, наличия и качества запасов ископаемых топливно-энергетических ресурсов. Указанный потенциал меняется во времени. Возобновляемая энергетика способна внести значительный вклад в решение важнейшей проблемы энергообеспечения децентрализованных районов.

Наиболее перспективным вариантом построения автономных энергетических комплексов для таких объектов представляется интеграция дизельной системы с системами электроснабжения от солнечных и ветровых станций.

Анализ существующего рынка [1] показал большое количество ветровых, солнечных и гибридных систем [2, 3, 4, 5]. Однако анализ предложений показывает, что в 80% случаев заявленная номинальная мощность не соответствует действующим стандартам. Например, на ветроустановках установках китайского производства мощность указывается на скорости ветра не 11 м/с, как это рекомендуется стандартами ИЕС

(International Electrotechnical Commission), а 12, 15 и даже 20 м/с, что фактически отражает мощность в несколько раз ниже стандартного номинала; удельная выработка энергии берется без учета вероятностного распределения ветра и завышается порой в разы; Коэффициент использования энергии ветра ветроэнергетическими установками зачастую подменяется КПД (т.е. передачей энергии от ротора (ветроколеса) до потребителя) и превышает максимально возможный коэффициент использования энергии ветра Бетца-Жуковского 0,593. Удельная выработка энергии показывается производителем, как правило, при идеальных условиях, например, в горизонтально-осевых установках при коллинеарности вектора набегающего ветрового потока и оси вращения. Для солнечных модулей, которые изготавливаются на основе аморфного кремния с КПД ниже 8%, но при этом также указывается завышенная мощность при прямом освещении. При этом указывается освещенность 1000 Вт/м, которая фактически не соответствует реальной.

Кроме этого анализ предложений на рынке ветровой и солнечной энергетики показывает, что информация о комплектации часто выдается производителем не в полной мере, что также вводит потребителя в заблуждение. Например, часто указывается стоимость ротора ветроустановки без учета других комплектующих (мачты, системы управления и т.д.). Во многих случаях указывается высота мачты без указания парусности, что влияет на подготовку фундамента, стоимость которого в областях сильных ветров может превышать стоимость всей ветроустановки. Стоимость солнечных модулей не предусматривает установочных мероприятий и систем антиобледенения. Усталостная прочность не рассчитывается, и поэтому отсутствует фактически срок износа агрегатов, что неизбежно влияет на сроки окупаемости.

Такие показатели уводят потребителя в бесконечные расчеты, порой с потерей основной цели – приобретения автономного источника энергоснабжения. Таким образом, здесь также сказывается отсутствие

научно обоснованных регламентов, по которым производитель не имел бы возможности вводить в заблуждение потребителя.

Актуальность темы. На большей территории Украины, в частности ее центральной части, энергетические потенциалы ветра и солнечного излучения являются низкими, соответственно, среднегодовая скорость ветра является равной 3,8 м/с, среднегодовая мощность падающей солнечной радиации - 1028 Вт/м². Для работы в таких условиях необходимо искать подходы к построению комбинированных гибридных установок, которые бы сочетали высокую энергетическую эффективность с низкой удельной (на единицу мощности) стоимости, что будет способствовать более быстрой окупаемости системы.

Для получения электроэнергии в ветроустановках с низким уровнем силы ветра лучше использовать прямоприводные ветроэлектрические установки с вертикальной осью вращения на базе синхронных генераторов с постоянными магнитами. Однако для этих ветроэлектрических установок существует проблема сочетания высокой скорости и, соответственно, эффективности и компактности ветроустановки и генератора со стартовыми возможностями на больших скоростях ветра. Одним из путей решения этой проблемы – применение концентраторов ветрового потока [6]. Анализ условий работы и выработка решения, которое отвечало бы вышеуказанным требованиям обуславливает актуальность проведения исследований.

На базе маломощных ветро-электрических установок и фотоэлектрических панелей в Украине, как правило, строятся полностью автономные ветросолнечные системы электропитания, рассчитанные на использование удаленными от централизованной сети питания потребителями. В 2015 в Украине был принят соответствующий закон, который позволяет отдельного потребителя отдавать остаток генерируемой от возобновляемых источников энергии ветра и солнца установками с мощными до 30 кВт, в централизованные сети питания по зеленому тарифу и получать от этого прибыль. Наряду с этими уже традиционными структурами

ветросолнечные систем электропитания - автономной и сетевой, как показал предварительный анализ, последнее время в Украине перспективной выглядит также автономно сетевая структура, когда потребитель может получать электроэнергию от ветросолнечные установки и от централизованной сети, однако не отдает избыток генерации электроэнергии в централизованную сеть питания.

Объект исследования - процесс совместной выработки энергии (тепловой и электрической) гибридной автономной системой в условиях Центральной Украины.

Предмет исследования - схемы гибридных установок для автономного энергоснабжения дома.

Цель исследования заключается в обеспечении эффективного энергоснабжения коттеджа в условиях Центральной Украины комбинированной системой энергоснабжения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1 Проанализировать существующие схемы для автономных систем энергоснабжения на базе вето-, солнечно- и дизельной генерации.
- 2 Провести анализ потенциала возобновляемых источников энергии для условий Центральной Украины (Полтавская и Кировоградская области)
- 3 Расчитать автономную ветро-солнечно-дизельную систему для отдельностоящего здания в условиях Центральной Украины.

Научная новизна работы заключается в следующем – предложено для обеспечения автономной системы энергоснабжения жилого дома использовать комбинированную систему состоящую из ветрогенератора, солнечного коллектора, солнечных панелей и дизель-генератора.

Практическая ценность работы состоит в развитии технологий по использованию возобновляемых источников энергии для автономных систем.

Экономический эффект – окупаемость предлагаемой системы автономного энергообеспечения составляет 6 лет, что говорит о

перспективности их применения при современном уровне цен на энергоносители.

Социальный эффект – массовое применение гибридных систем позволит создать дополнительные рабочие места (организация предприятий по обслуживанию и монтажу систем)

Апробация результатов исследования. Результаты работы были представлены на V Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» (ДВНЗ «НГУ», 28-29 грудня 2017 р.) [7].

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ СИСТЕМ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Автономная система электропитания должна обеспечивать высокий показатель гарантированности энергоснабжения потребителя, иметь приемлемые размеры и стоимость, высокую надежность, продолжительный срок службы при минимальных затратах на обслуживание. Соответствие перечисленным требованиям должно обеспечивать конкурентоспособность таких систем по сравнению с традиционными техническими решениями – прокладкой протяженных кабельных линий, систем газоснабжения или, в случае отсутствия электрических сетей, автономным электропитанием от бензиновых, газовых и дизельных электрогенераторов.

Гибридная схема предусматривает как энергоснабжение от комплексного источника энергии определенной мощности (ветер, солнце), так и за счет добавления или уменьшения количества компонентов с соответствующим изменением мощности без замены выходных каскадов оборудования (регуляторов мощности и инверторов). Гибридная схема в условиях с непредсказуемостью скорости ветра и интенсивности солнечной радиации является менее рациональной, чем ее компоненты, однако наиболее надежной генерирующей системой электроэнергии, построенной на комбинировании возобновляемых источников. Надежность системы достигается дублированием и взаимным дополнением одного источника другим (в отсутствие солнечного света система работает за счет ветра и наоборот с аккумулярованием энергии для обеспечения бесперебойного энергоснабжения).

1.1 Автономные системы электроснабжения на основе возобновляемых источников электроэнергии (гибридные системы)

Энергоснабжение от разных источников позволяет дублировать и комбинировать энергопотоки от ветро- установки и солнечной батареи в зависимости от доминирования одного источника над другим. В случае отсутствия одного из источников дублирующим компонентом выступает другой, а в случае отсутствия обоих автоматически подключается система бесперебойного питания на основе аккумуляторных батарей, обеспечивая надежное энергоснабжение потребителя.

Как свидетельствуют многочисленные публикации и разработки, изначально трудно предсказать удельную выработку энергии в конкретном регионе за счет того или иного возобновляемого источника. Соответственно, практически невозможно рассчитать точную устанавливаемую мощность генерирующего оборудования для конкретного потребителя с его особенностями и графиком потребления в локальных климатических условиях (например, в целом по области средняя скорость ветра может быть 4 м/с, а вдоль поймы реки, около озера или между холмов существует постоянная тяга ветра 6-7 м/с). В связи с этим наиболее простым решением является установка минимальной гибридной конфигурации с последующим увеличением количества компонентов, так и с помощью замены малых агрегатов более крупными. В случае гибридной системы такие меры не прерывают энергоснабжение потребителя даже в течение замены в связи с их взаимным дублированием. Это преимущество может быть использовано для объектов, не подлежащих отключению в любом случае.

Главным признаком гибридных систем энергоснабжения является одновременное использование различных по происхождению видов топлива, таких как традиционное (бензин, уголь, газ, дизель и др.) и возобновляемые источники энергии (ветер, вода, солнце и др.).

Гибридные системы наилучшим образом способны решать проблемы отсутствия вблизи объекта линий электропередач и/или централизованного городского отопления. Таким образом, исключается зависимость владельцев загородных домов от коммунальных служб и обеспечиваются комфортные температурные условия с учетом индивидуальных требований конкретного объекта потребления.

Комплексное энергоснабжение представляет собой совместную генерацию электрической и тепловой энергий в одной системе.

Гибридные автономные системы энергоснабжения совмещают в себе все вышеперечисленные функции, достигая таким образом бесперебойного, экономически выгодного и экологически чистого обеспечения объекта электрической и тепловой энергиями.

Одним из принципов функционирования автономных систем электроснабжения является поочередное использование двух аккумуляторных батарей (АКБ), из которых одна предназначена только для заряда аккумулятора, а другой только для разряда, то есть питания электрической нагрузки и заряда другой.

Поочередное использование двух аккумуляторов позволяет увеличить время автономной работы. В качестве примера служит автономная система электроснабжения, изображенная на рисунке 1.1 [8].

Гибридная система аккумулялирования электроэнергии и электроснабжения потребителей работает следующим образом.

В момент пуска системы нагрузка (1) через инвертор (2) и силовой коммутатор (3) подключается к одной из аккумуляторных батарей, которые были предварительно заряжены, например, к АКБ (5), имеющей напряжение на клеммах, превышающее напряжение другой АКБ (6). Формирование соответствующих управляющих сигналов для силового коммутатора (3) осуществляется блоком управления (4), который предусматривает подключение только одной АКБ – (5) или (6) к инвертору (2).

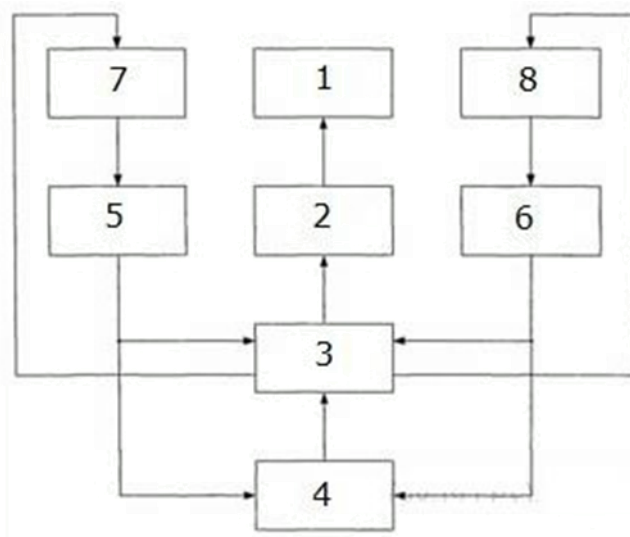


Рисунок 1.1 – Гибридная система энергоснабжения
с поочередным использованием двух АКБ:

1 – нагрузка переменного тока, 2 – инвертор, 3 – силовой коммутатор,
4 – блок управления, 5 и 6 – аккумуляторные батареи,
7 и 8 – конверторы напряжений

Блок управления (4) анализирует напряжения АКБ (5) и (6), измеряя и сравнивая их между собой с целью выбора одной из них при пуске системы.

При снижении напряжения на работающей АКБ блок управления (4) подключает АКБ (6) к АКБ (5) через конвертор (8) для подзарядки. В процессе зарядки того или иного аккумулятора происходит периодическое измерение напряжения заряжаемого аккумулятора и производится сравнение последующего значения с предыдущим. Если разница между этими показаниями меньше некоторого значения ΔU , то процесс заряда прекращается путем отключения конвертора заряжаемого аккумулятора.

В связи с тем, что время заряда АКБ (5) меньше, чем время разряда АКБ (6) при ее работе на нагрузку в номинальном режиме, то к моменту достижения минимально допустимого уровня напряжения на АКБ (6), АКБ (5) уже будет полностью заряжена и готова к работе. Далее работа системы продолжается в соответствии с описанным выше алгоритмом работы [8].

Преимущества системы:

- быстрый заряд АКБ высокочастотными индуктивными сверхкороткими импульсами напряжения;
- автономный режим работы без применения дополнительных источников энергии;
- отсутствие шума и компактность системы;
- нет загрязнения окружающей среды.

Следующий принцип построения автономных систем электропитания – это вовлечение возобновляемых источников энергии, которые способны увеличить общую эффективность всей системы.

Ветро-солнечные системы позволяют максимально полно использовать альтернативные источники энергии, поскольку их комбинация увеличивает генерируемую энергию вдвое, а также они способны взаимозаменять друг друга – когда нет ветра, есть солнце и наоборот.

Основным источником энергии в гибридной системе является ветряной двигатель, а фотоэлектрические солнечные панели являются вспомогательными, которые вырабатывают энергию в периоды длительного «штиля», так как они способны работать постоянно и снижать разряд аккумуляторов, что продлевает их ресурс.

Хотя солнечные батареи способны улавливать и рассеянный солнечный свет, но при этом вырабатывается гораздо меньше энергии, выработку электроэнергии можно увеличить почти в два раза, если использовать систему слежения за солнцем, которая поворачивает батарею вслед за солнцем в течение всего светового дня.

Состав гибридной ветро-солнечной системы, рисунок 1.2, следующий [9]:

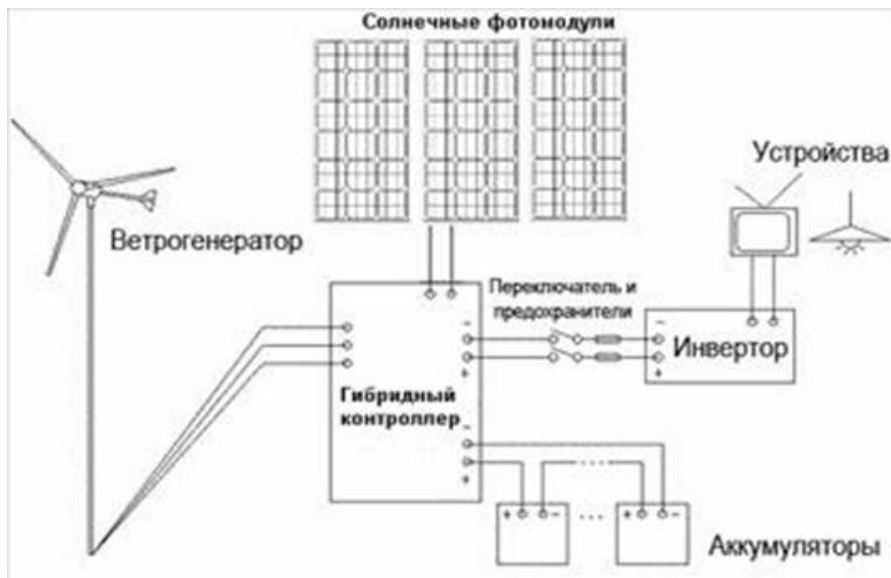


Рисунок 1.2 – Ветросолнечная система электроснабжения

- фотоэлектрическая система, состоящая из солнечных модулей, соединенных параллельно и/или последовательно, преобразует лучистую энергию Солнца в электрический ток постоянного напряжения;
- ветрогенераторы служат преобразователями кинетической энергии воздушных потоков в электрическую энергию;
- контроллер преобразует напряжение, поступающее от солнечной батареи и ветрогенератора в адаптированное к аккумуляторной батарее напряжение;
- аккумуляторные батареи состоят из одного или нескольких блоков, образующих аккумуляторную батарею необходимой емкости и напряжения;
- инвертор служит преобразователем постоянного напряжения аккумуляторной батареи в переменное;
- нагрузка – это совокупность потребителей электроэнергии.

Гибридная ветросолнечная система рассчитывается согласно данным по потребляемой мощности, а также солнечному и ветровому потенциалу местности, должна быть способна на обеспечение энергией потребителей 220В/50 Гц.

Немаловажное значение имеет и экологический фактор: применение фотоэлектрической системы либо ветрогенератора или ветро-солнечной

установки даже в дополнение к существующей системе на традиционных видах топлива внесет свой вклад в экологическую чистоту энергосистемы [10]. Особенностью схемы, представленной на рисунке 1.3 является то, что нагрузка питается от аккумуляторной батареи через автономный инвертор. Определить пиковую мощность нагрузки можно исходя из мощности накопителя и инвертора. Средняя мощность нагрузки в конкретном временном интервале определяется положительным энергетическим балансом накопителя, когда его энергия полученная от возобновляемых источников энергии, превышает энергию потребленную нагрузкой. Балластная нагрузка потребляет излишки электроэнергии, которые не востребованы нагрузкой и аккумуляторной батареей.

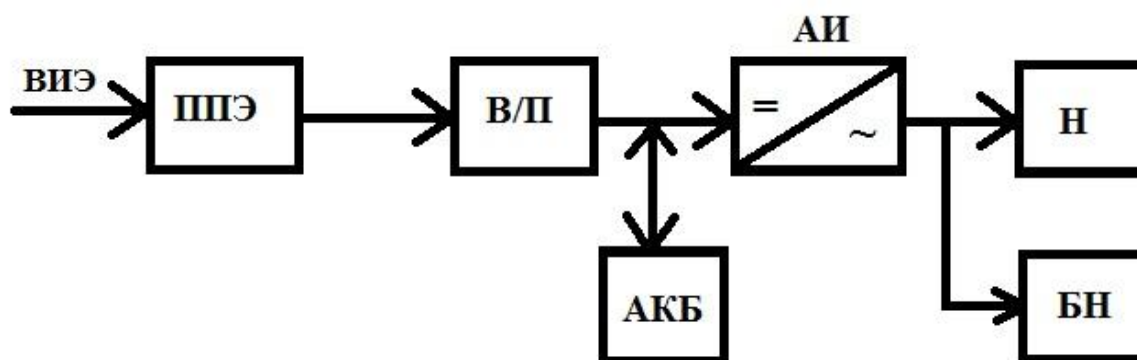


Рисунок 1.3 – Автономная установка электроснабжения на основе ВИЭ:

ВИЭ – возобновляемый источник энергии, ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса, В/П – выпрямитель или преобразователь электроэнергии, АКБ – аккумуляторная батарея, АИ – автономный инвертор, Н – нагрузка, БН – балластная нагрузка

Для эффективного режима энергообеспечения рассматриваемого энергетического комплекса необходимо применение интеллектуальной системы управления его элементами.

На сегодняшний день такие системы имеют мощность до 10 кВт и не являются гарантированными источниками электроснабжения автономных объектов из-за существенного изменения ветрового потенциала и солнечного

излучения, которые, как правило, не соответствуют сезонным изменениям графиков потребления электроэнергии.

1.2 Гибридные системы электроснабжения с дублирующими дизельными электростанциями

В качестве резервного источника электроснабжения в систему, описанную выше, может вводиться дизельный или бензиновый генератор (ДГУ), что еще больше повышает надежность системы и позволяет осуществлять бесперебойное энергоснабжение, несмотря ни на какие капризы погоды. Тогда состав гибридной системы, рисунок 1.4 [9], будет следующим:

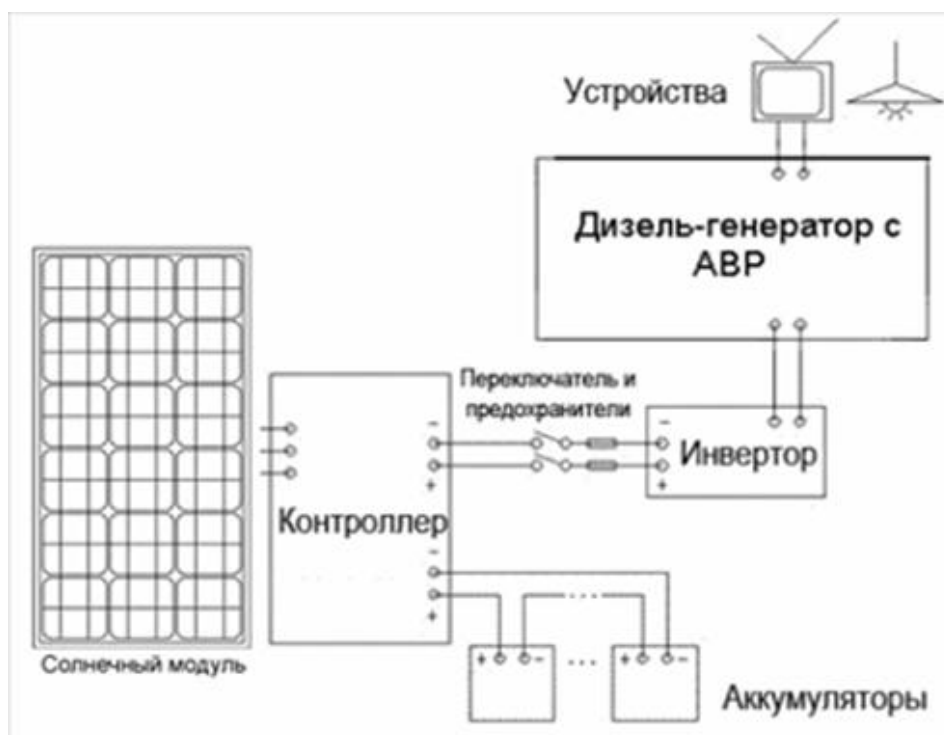


Рисунок 1.4 – Гибридная система электроснабжения с ДГУ

– фотоэлектрическая или ветроэлектрическая станция, также возможно использование микро ГЭС, если поблизости находится плотина или река с быстрым течением;

- резервный бензо- или дизель-генератор мощностью 3-20 кВт;
- блок бесперебойного питания со встроенным контроллером заряда-разряда;
- аккумуляторная батарея;
- электрическая нагрузка.

В данной системе ДГУ используется как резервный источник электроснабжения, когда вырабатываемой мощности не хватает, например, в часы пиковой нагрузки, либо в вечернее время. При этом одновременно происходит подзарядка аккумуляторов. Кроме этого, от ДГУ можно производить экстренный заряд аккумуляторной батареи, в случае ее разрядки до опасного уровня. Остальное время нагрузка питается, как обычно, через инвертор от аккумуляторной батареи. Для максимального использования энергии, в случаях включения в систему ДГУ, возможно помимо электроэнергии получать дополнительное тепло, производимое работой ДГУ. Для этого на выхлопную трубу устанавливают теплообменник либо предусматривают отбор тепла от охлаждающей ДГУ жидкости.

Работа ДГУ в качестве резервного источника электроснабжения в гибридной системе является оптимальным решением, поскольку при наличии ясной погоды или ветра в гибридной системе работает ветро-солнечная система, заряжая при этом аккумуляторы либо питая потребителей. Когда системы на ВИЭ начинают выдавать недостаточное количество мощности, включается дизель-генератор, компенсируя недостаток, что сведет к минимуму число запусков генератора и, соответственно, увеличит срок его службы.

Экономия топлива, уменьшение затрат на его транспортировку, которые увеличиваются с удаленностью от центральных систем энергообеспечения, бесшумность, поскольку дизель-генератор будет включаться лишь в удобное для потребителя время и, конечно, увеличение надежности всей системы.

Схема, которая обладает лучшими технико-экономическими характеристиками, строится с использованием гарантированного источника электроэнергии – дизельной электростанции и нестабильного возобновляемого источника электроэнергии.

Энергетический комплекс с двумя источниками электроэнергии, каждый из которых способен обеспечивать потребности электрической нагрузки, характеризуется возможностью замещения генерации электроэнергии дизельной электростанции энергией возобновляемых источников. Сокращение времени работы дизельной электростанции обеспечивает экономию дизельного топлива и увеличение периода эксплуатации дизельной электростанции.

Обобщенная схема гибридной системы электроснабжения такого типа приведена на рис. 1.5 [10].

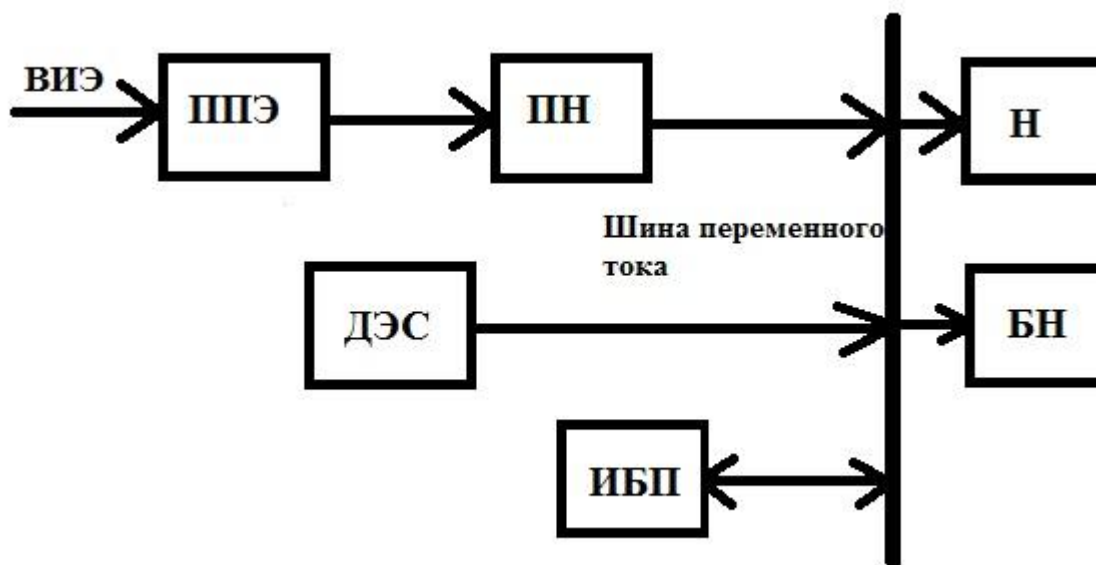


Рисунок 1.5. Гибридный энергетический комплекс с дублирующей ДЭС: ППЭ – преобразователь первичного энергоресурса, ПН – преобразователь напряжения, ДЭС – дизельная электростанция, ИБП – источник бесперебойного питания, БН – балластная нагрузка, Н – нагрузка

На данной схеме предусмотрено объединение различных источников электроэнергии на шине переменного тока.

В период высокой выработки электроэнергии от возобновляемых источников, дизельная электростанция отключается. Колебания потребляемой и генерируемой от ВИЭ мощности демпфируется запасом энергии в источнике бесперебойного питания снижает количество пусков и форсировок ДЭС.

В зависимости от соотношения мощностей ДЭС и ВИЭ может предусматриваться как их отдельная работа, так и параллельная.

Очевидно, что для режима отдельной работы необходима большая установленная мощность преобразователя первичного энергоресурса возобновляемого источника. Как правило, мгновенная мощность возобновляемого энергоресурса может существенно превышать номинальную нагрузку. Поэтому, для использования избыточной электроэнергии, необходимо использовать балластную нагрузку. Долю возобновляемой энергии обычно принимают на уровне 50%.

Целесообразность режима параллельной работы топливного и возобновляемого элемента данной системы только тогда, когда увеличивается нагрузка на дизельную генерацию из-за уменьшения установленной мощности установок возобновляемой энергетики.

Для того, чтобы реализовать такой режим работы, необходимо усложнение алгоритма управления данным энергетическим комплексом, то есть ввести в его состав соответствующее оборудование, такое как, универсальный инвертор, который может работать как автономно, так и параллельно с сетью, а также устройства синхронизации.

Развитие таких систем является применение инверторных дизельных электростанций. Они имеют лучшие регулировочные характеристики и являются более экономичными, так как снижение расхода топлива происходит из-за снижения частоты вращения дизельного генератора при малых нагрузках.

Функциональная схема такого комплекса изображена на рис. 1.6 [10].

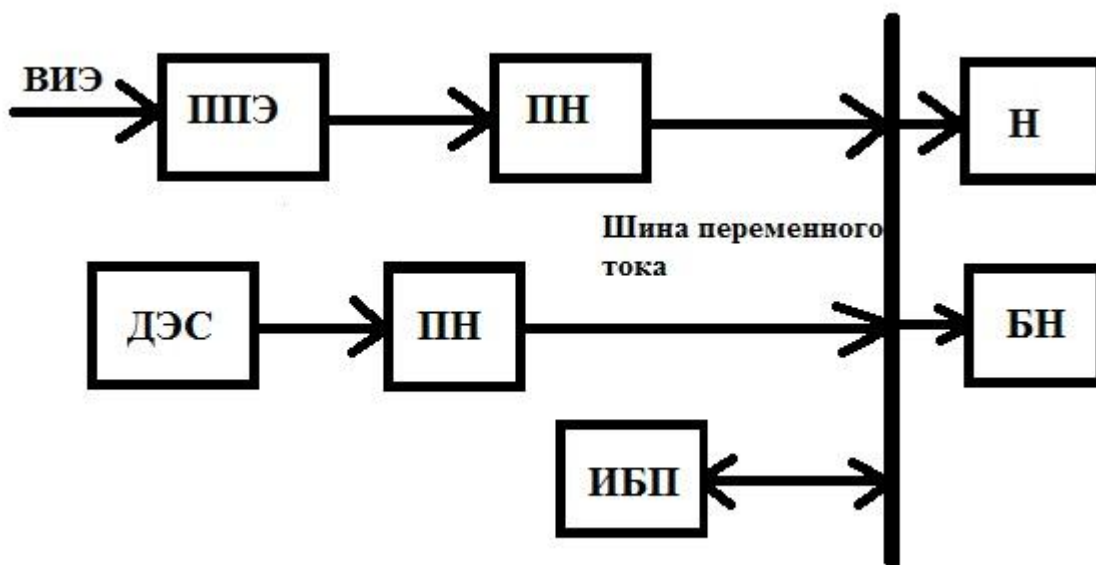


Рисунок 1.6 – Гибридный энергетический комплекс с шиной переменного тока и инверторной ДЭС

Преимущества шины переменного тока проявляются при построении системы распределенной генерации, обычно имеющей место при интеграции энергоустановок ВИЭ в существующие системы электроснабжения.

Обычно, в таких схемах, используют выпрямительно-инверторные преобразователи частоты, в качестве преобразователя напряжения. Эти преобразователи входят в состав ветро-электростанций, а также выработка электроэнергии фотоэлектрическими панелями на переменном токе, определяют возможность объединения этих источников на шине постоянного тока, рисунок 1.7 [10].

Наиболее конкурентоспособным вариантом построения системы электроснабжения автономных объектов, является объединение энергоисточников различной физической природы на шине постоянного тока.

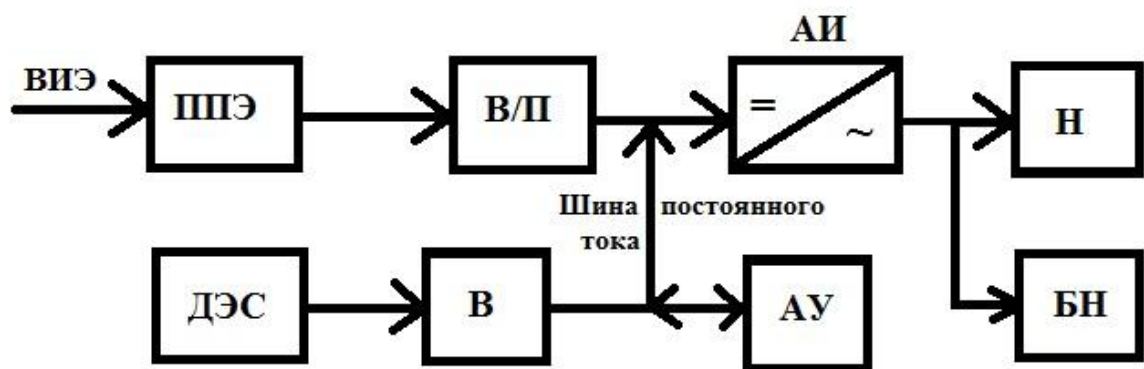


Рисунок 1.7 – Гибридный энергетический комплекс с шиной постоянного тока:

АУ – аккумулирующее устройство, В – выпрямитель

1.3 Гибридные системы электроснабжения с совместной ветро-солнечно-дизельной генерацией

Совместная работа дизельной электростанции и установок возобновляемой энергетики в автономной системе наиболее рационально осуществляется как работа ветро- и фотоэлектростанции на электрическую сеть, в качестве которой выступает дизельная электростанция. В этом случае дизель генератор представлен в качестве основного источника электроэнергии, а генерация электроэнергии от возобновляемого источника позволяет экономить часть топлива.

Для устойчивой работы системы электроснабжения, доля мгновенной мощности возобновляемой части энергетического комплекса не должна превышать 50% от мощности ДЭС. А соотношение средних мощностей возобновляемой и дизельной частей энергетического комплекса должна составлять 1/5 [9, 10].

Структура данной системы приведена на рисунке 1.8 [10].

Достоинством подобных комплексов является их простота, позволяющая снизить требования к системе управления и свести к минимуму состав оборудования.

Недостатком подобных комплексов является сравнительно небольшой объем замещения дизельной генерации.

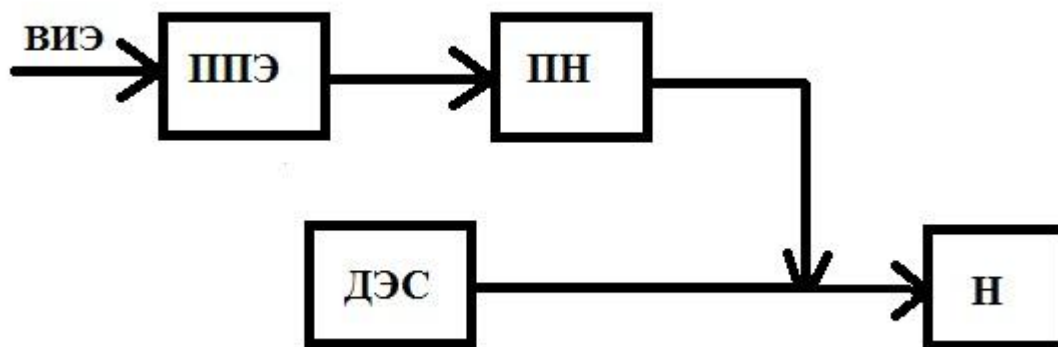


Рисунок 1.8 – Гибридная энергетическая система с постоянно работающей ДЭС

Ветро-дизельные электрические станции (ВДЭС) широко применяются во всем мире там, где есть трудности со строительством электроэнергетических сетей или доставкой топлива. Опыт создания ветро-дизельных электрических станций во внутренней Монголии (Китай), Австралии, на островах Аляски, северной Ирландии, Средиземного моря и др. свидетельствует об их эффективности.

В литературе [11] отмечается, что имеется огромный потенциал для внедрения децентрализованных систем электроснабжения. Так, например в Индии, где правительство уделяет особое внимание использованию ветровой энергии, имеется около 80 тыс. сел, в которых отсутствует возможность быть когда-либо подключенными к общегосударственным сетям.

Опыт эксплуатации ВДЭС свидетельствует о технической возможности создания надежной и эффективной энергетической системы, работающей изолированно от электроэнергетической сети.

Рабочие качества станции гарантируют, что можно было получить лучшие эксплуатационные показатели при условии установки большего количества ВЭУ или выбора площадки с более высоким ветровым потенциалом.

В соответствии с рисунком 1.9 основным источником электроэнергии является аккумуляторная батарея, получающая заряд от фотоэлектрической станции под управлением контроллера заряда/разряда АКБ. В данной системе дизель-генератор – это резервный источник. В случае нехватки заряда аккумулятора с помощью системы автоматического включения резерва через 5 мин осуществляется переключение питания нагрузки от дизель-генератора, чтобы обеспечить пуск ДГУ.

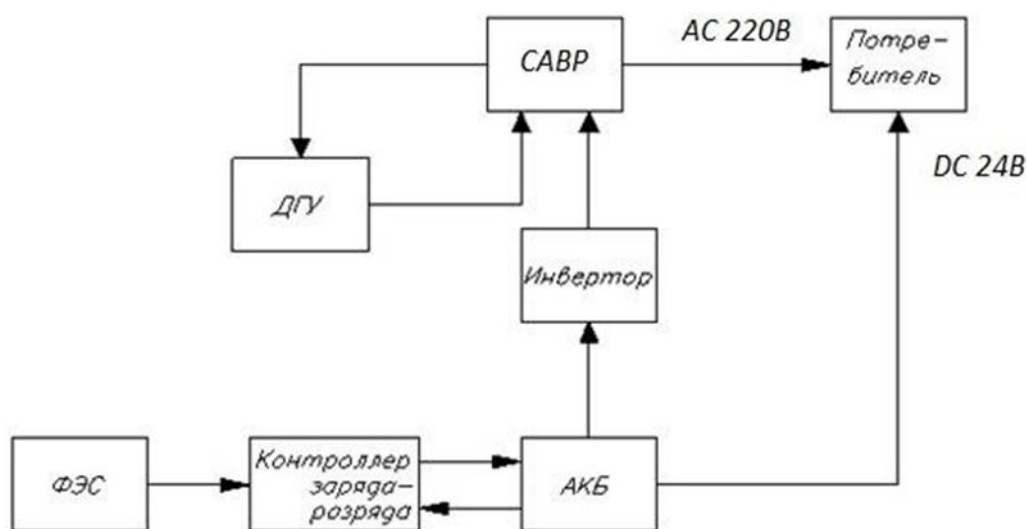


Рисунок 1.9 – Функциональная схема системы электроснабжения на базе ВИЭ и ТГУ

Для увеличения надежности электроснабжения применяется инвертор, который преобразует постоянное напряжение (24 В) в переменное (220 В) и обеспечивает бесперебойную передачу электроэнергии в пятиминутном перерыве при переключении питания с дизель-генератора на ФЭС и/или

АКБ. В этих случаях обеспечивается бесперебойное питание, экономия топлива и надежное электроснабжение.

Автоматическое регулирование электрических нагрузок по трем фазам осуществляется с помощью контроллера, счетчики электроэнергии учитывают количество потребляемой мощности.

Резервирование основного источника энергии другим происходит с помощью системы автоматического включения резерва (САВР).

Основной проблемой для оптимизации состава гибридных энергоустановок на основе ВИЭ и ДГУ на сегодняшний момент представляется отсутствие четких критериев для такой оптимизации. Максимизация выработки электроэнергии за счет ВИЭ, в отличие от сетевых установок, не может являться таким критерием в силу рассогласования графика выработки электроэнергии первичным источником и ее потребления населенным пунктом [12]. В условиях дороговизны ключевых компонентов, связанных именно с ВИЭ, такой подход неизбежно приведет к существенному повышению капитальных затрат на создание энергоустановки, которое не всегда может быть компенсировано снижением расхода дизельного топлива [13]. В целом экономический эффект от применения той или иной энергоустановки может быть оценен по сумме капитальных (преимущественно стоимость ключевых компонентов) и эксплуатационных (преимущественно стоимость дизельного топлива для рассматриваемых энергоустановок) затрат [14].

1.4 Системы теплоснабжения

1.4.1 Потенциал использования солнечного излучения для теплоснабжения

Возраст Солнца – почти пять миллиардов лет, и оно будет служить нам еще примерно столько же. Его диаметр составляет 1,4 миллиона километров, а диаметр Земли – 13 000 км.

Средняя интенсивность солнечного излучения на поверхности атмосферы Земли достигает $1\,367\text{ Вт/м}^2$. Это значение называется солнечной постоянной – оно определено Всемирной метеорологической организацией (ВМО) и Организацией Объединенных Наций (ООН).

Фактическая интенсивность излучения колеблется в пределах $\pm 3,5$ процентов вследствие того, что орбита вращения Земли вокруг Солнца имеет эллиптическую форму, расстояние от Земли до Солнца не постоянно и составляет от 147 до 152 млн. км. Кроме того, изменяется и солнечная активность.

Ось Земли, проходящая через Северный и Южный полюса, наклонена на $23,5^\circ$ по отношению к оси ее орбиты вращения вокруг Солнца. С марта по сентябрь Солнце в большей степени освещает Северное полушарие, а с сентября по март – Южное, следствием чего является изменение продолжительности дня летом и зимой.

Продолжительность дня определяется также широтой местности, то есть чем дальше на Север, тем длиннее (летом) или короче (зимой) дни.

Вследствие влияния атмосферы, излучения интенсивностью $1\,367\text{ Вт/м}^2$ (солнечная постоянная) поверхности Земли достигает максимум около $1\,000\text{ Вт/м}^2$. Атмосфера по-разному действует на весь спектр излучения. Слой облаков отражает часть излучения, другая часть поглощается. Часть излучения рассеивается плотными слоями атмосферы или облаков, вследствие чего возникает рассеянное излучение.

Излучение, падающее на Землю, частично отражается, а частично поглощается поверхностью Земли. Вследствие поглощения поверхность Земли нагревается. Отражение прямого излучения также создает рассеянное излучение. Сумма рассеянного и прямого излучения называется суммарным излучением. Доля рассеянного излучения в суммарном излучении составляет в Украине в среднем около 50 процентов за год: летом несколько меньше, а зимой – больше [15].

Отличие между прямым и рассеянным излучением важно для расчета солнечных систем, особенно для концентрирующих систем (параболические концентраторы и гелиостатические системы), поскольку эти системы используют только прямое излучение.

Интенсивность излучения на поверхности Земли определяется также длиной пути излучения через атмосферу. Этот редуцирующий эффект называется Air Mass, то есть «воздушная масса», и определяется углом падения солнечных лучей. Самый короткий путь соответствует вертикальному падению лучей. Чем длиннее путь излучения до поверхности Земли, тем больше редуцирующее действие атмосферы.

При прохождении через атмосферу интенсивность солнечного излучения уменьшается. Часть излучения поглощается и отражается. Другая часть достигает поверхности Земли в виде рассеянного и прямого излучения.

Мощность излучения на определенной поверхности называется интенсивностью излучения. Таким образом, с физической точки зрения интенсивность излучения является мощностью на единицу площади и измеряется в ваттах на квадратный метр ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Интенсивность солнечного излучения сильно варьирует. От $50 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при затянутом облаками небе до $1000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при безоблачном небе. Для расчета количества солнечного излучения, фактически превращаемого в тепловую энергию, необходимо дополнительно учитывать длительность излучения. Суммарной энергией солнечного излучения называется мощность за определенный период времени, единицей измерения ее является ватт-час ($\text{Вт}\cdot\text{ч}$). Суммарная энергия солнечного излучения определяется за определенный период времени (за день, месяц или год), рисунок 1.10 [15].

Максимальное дневное суммарное солнечное излучение составляет около $8 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ летом. И даже в солнечный зимний день суммарное солнечное излучение может достигать значения $3 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$.

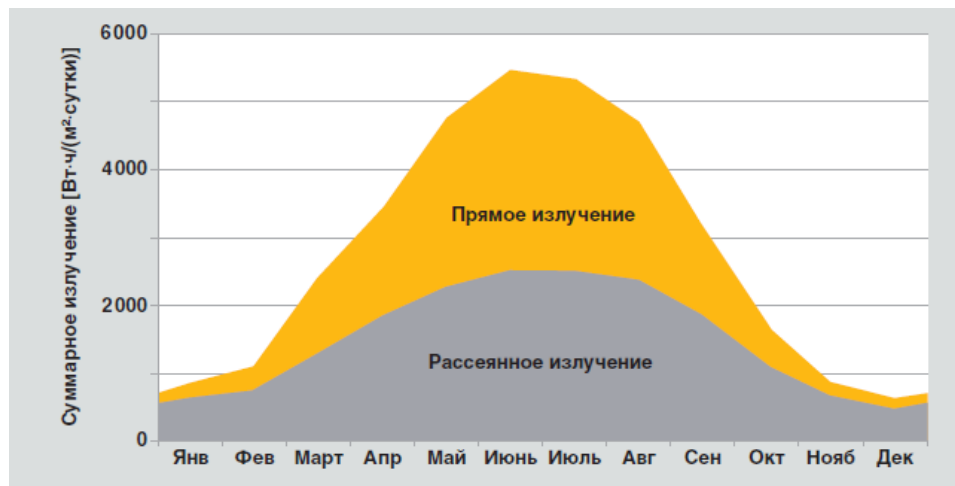


Рисунок 1.10 – Среднее значение среднесуточного суммарного излучения в течение года для территории Украины

Реальное распределение суммарной энергии солнечного излучения по отдельным месяцам может отличаться от среднего значения на 50 процентов в различные годы.

Суммарное солнечное среднегодовое излучение в Украине (рисунок 1.11 [16]) по данным многолетних наблюдений, изменяется от 1000 кВт·ч/м² в северной и центральной части страны до 1350 кВт·ч/(м² площади) в южной части Одесской области. В связи с тем, что актинометрические наблюдения ведутся не во всех областях Украины, ее территорию условно разбили на 4 зоны по значению суммарного солнечного излучения на горизонтальную поверхность.

Однако отклонения от средних значений порой довольно значительны. Наряду с отклонениями годовых значений существуют также региональные и даже локальные отклонения.

Приведенные в нормативной литературе значения суммарной энергии излучения относятся к горизонтальной поверхности. На их величину влияет угол наклона поглощающей поверхности коллектора.



Рисунок 1.11 – Суммарное солнечное излучение в Украине

Наклон поглощающей поверхности изменяет угол падения солнечных лучей, интенсивность облучения, а следовательно, и количество поглощенной энергии. То есть, суммарная годовая энергия солнечного излучения, отнесенная к единице поверхности, также зависит от угла наклона поглощающей поверхности.

Количество энергии максимально, когда солнечные лучи попадают на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам. Поскольку обеспечить слежение за солнцем достаточно сложно, можно рас положить поглощающую поверхность под углом. В Украине оптимальный угол наклона поглощающей поверхности составляет от 30 до 35 градусов.

Другим фактором, который не обходимо учитывать при расчете количества поглощаемой солнечной энергии, является ориентация поглощающей поверхности. В северном полушарии оптимальной является ориентация поглощающей поверхности на юг. Отклонение поглощающей поверхности от южного направления называется азимутальным углом. Поверхность, ориентированная на юг, имеет азимутальный угол 0. В

гелиотехнике азимутальный угол указывается не так, как на компасе, здесь юг – это 0° , запад – $+90^\circ$, восток – -90° и т. д.

1.4.2 Основные характеристики солнечного коллектора

Коллекторы – это генераторы теплоты, которые во многом отличаются от традиционных источников теплоты. Самое большое отличие состоит в том, что источником энергии, используемой для получения теплоты, является не традиционное топливо, а солнечное излучение.

С одной стороны, солнечное излучение – это бесплатный источник энергии, который в человеческом понимании предоставлен нам на бесконечно долгий срок, а с другой стороны – он едва ли применим для современных потребностей и ограничен в фактическом предложении. В частности, в отопительный сезон, когда необходимо максимальное количество тепловой энергии, солнечная энергия – минимальна, и наоборот. Кроме того, Солнце невозможно включать или выключать по своему усмотрению. Такие исходные данные требуют принципиально другого подхода к проектированию энергетических установок, мощность которых предоставляется, так сказать, по требованию. Исключением стали установки, использующие энергию солнечного излучения, но для надежности дополненные вторым генератором теплоты – такие установки проектируются и эксплуатируются как бивалентные системы [17].

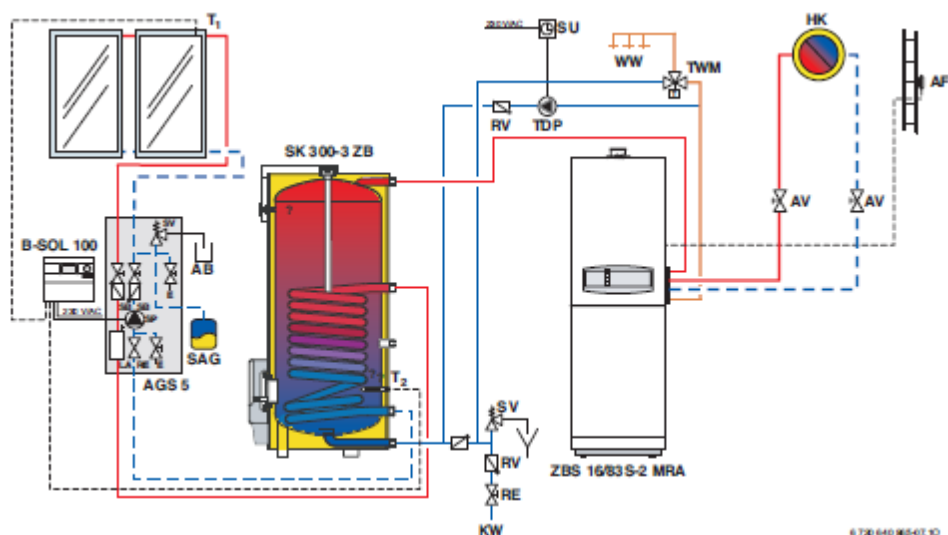


Рисунок 1.12 – Бивалентная коллекторная установка

На приведенном рисунке 1.12 изображена простая бивалентная установка: отопительный котел обеспечивает определенное количество горячей воды в любое время. Встроенная в систему солнечная установка предназначена для того, чтобы максимально возможное количество энергии поступало от солнечного излучения и при этом отопительный котел расходовал минимум топлива.

Уже из этого примера ясно, что успешная работа солнечной установки зависит не только от коллектора, но и от рациональной согласованности всех используемых компонентов.

Одним из немаловажных параметров солнечного коллектора является коэффициент полезного действия. Коэффициентом полезного действия солнечного коллектора называется доля солнечного излучения, попадающая на площадь апертуры коллектора, которая преобразуется в полезную тепловую энергию. Площадь апертуры называется поверхность коллектора, на которую эффективно воздействует солнечное излучение. Коэффициент полезного действия зависит в том числе и от рабочего состояния коллектора, а способ его определения одинаков для всех типов коллекторов.

Часть попадающего на коллектор солнечного излучения теряется вследствие отражения и поглощения на прозрачном покрытии и вследствие

отражения на абсорбере. По соотношению интенсивности попадающего на коллектор излучения и мощности излучения, преобразующейся в теплоту на абсорбере, можно рассчитать оптический коэффициент полезного действия коллектора. Он обозначается, как η_0 .

Если коллектор нагревается солнечным излучением, то он теряет часть теплоты в окружающую среду вследствие теплопроводности материала коллектора, теплового излучения и конвекции (движения воздуха). Эти теплотери можно рассчитать с помощью коэффициентов тепловых потерь и разности температур между абсорбером и окружающей средой.

1.4.3 Основные различия в режимах работы солнечной коллекторной системы

Наибольшее распространение получили солнечные системы, состоящие из солнечного коллектора, регулятора, насоса и хорошо изолированного аккумулятора теплоты.

В коллекторе солнечное излучение попадает на поглощающий элемент с селективным покрытием (абсорбер). На нижней стороне абсорбера закреплены медные трубки, по которым циркулирует рабочая жидкость (теплоноситель). Абсорбер нагревается солнечными лучами и отдает теплоту теплоносителю в трубках.

Регулятор и насос обеспечивают отвод теплоты по трубопроводам. Затем в баке-аккумуляторе теплота передается нагреваемой воде через теплообменник. По такому принципу работают все насосные солнечные системы такого типа.

Различают следующие виды насосных солнечных систем:

- напорная система с незамерзающим теплоносителем;
- напорная система с защитой от замерзания

Рассмотрим особенности таких систем.

1) Напорная система с незамерзающим теплоносителем, (рисунок 1.13, [17]).

В таких системах с незамерзающей рабочей жидкостью используется теплоноситель, состоящий, как правило, из смеси воды и антифриза (гликоля). Теплоноситель подается насосом в трубки абсорбера, где нагревается, чтобы затем отдать теплоту в теплообменнике бака-аккумулятора. Гликоль защищает установку от замерзания зимой. Кроме того, такая система обеспечивает антикоррозионную защиту, поскольку незамерзающие теплоносители содержат дополнительные антикоррозионные присадки.

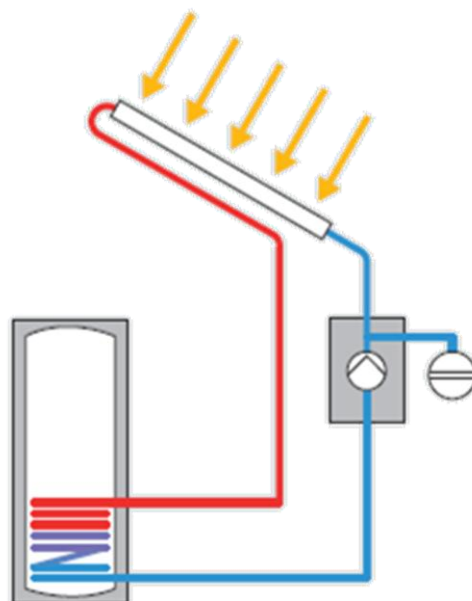


Рисунок 1.13 – Система с незамерзающим теплоносителем

Закрытые напорные системы обязательно оснащены расширительным баком, который воспринимает тепловое расширение теплоносителя и дополнительно возникающий объем пара при закипании теплоносителя в коллекторе.

Такие системы широко применяются в Центральной Европе, где их доля на рынке составляет около 95 процентов.

2) Напорная система с защитой от замерзания (рисунок 1.14, [17]).

Система с защитой от замерзания по своей конструкции аналогична описанной ранее системе с незамерзающим теплоносителем. Разница состоит в том,

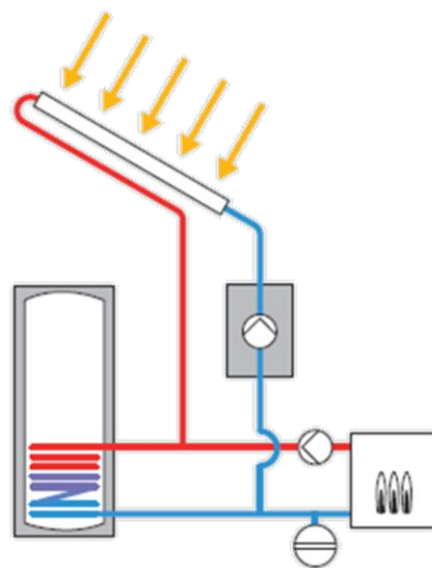


Рисунок 1.14 – Система с защитой от замерзания

что теплоносителем в ней является чистая вода, без добавления антифриза. Чтобы вода не замерзала, зимой на коллектор подается теплота от котла через бак-аккумулятор.

Для энергетической оценки таких систем необходимо из полученной летом энергии вычесть энергию, расходуемую зимой на обогрев коллектора. Расход энергии на обогрев коллектора зависит от температуры наружного воздуха и, как правило, составляет не менее десяти процентов производительности системы.

Если такие установки подключены непосредственно к контуру котла (без гидравлического разделения контуров), то при проектировании и монтаже следует это учитывать (обработка теплоносителя, испытания под давлением и т.д.).

1.4.4 Системы с солнечными коллекторами и тепловым насосом

Независимо от расположения объекта, его автономное теплоснабжение и горячее водоснабжение можно решить с помощью солнечных коллекторов и тепловых насосов.

Для любого расположения объекта теплоснабжения, всегда можно выбрать оптимальный вид теплового насоса. Так существуют геотермальные тепловые насосы, которые используют тепло земли и грунтовых вод, а так же воздушные тепловые насосы, которые отбирают тепло из окружающей среды.

Эффективность системы с тепловым насосом очень высока, ведь для эффективной работы теплового насоса достаточно, чтобы температура теплоносителя во внешнем контуре была $0-4^{\circ}\text{C}$, тогда на выходе можно получить температуру около $50-60^{\circ}\text{C}$. А при работе теплового насоса на 1 кВт затраченной электрической энергии приходится 3-6 кВт тепловой.

Для повышения эффективности системы, можно установить солнечные коллекторы, которые также являются источником горячего водоснабжения и отопления.

Данная система [18], приведенная на рисунке 1.15., позволяет снизить потребление электроэнергии тепловым насосом примерно на 40%, а в летний период позволяет получать тепловую энергию без его участия. В летнее время солнечные коллекторы могут обеспечивать потребителя горячей водой, температурой до 85%, а геотермальные коллекторы способны осуществлять кондиционирование. В летнее время избыточное тепло от солнечных коллекторов способно направляться обратно в землю по внешнему контуру теплового насоса и аккумулироваться.

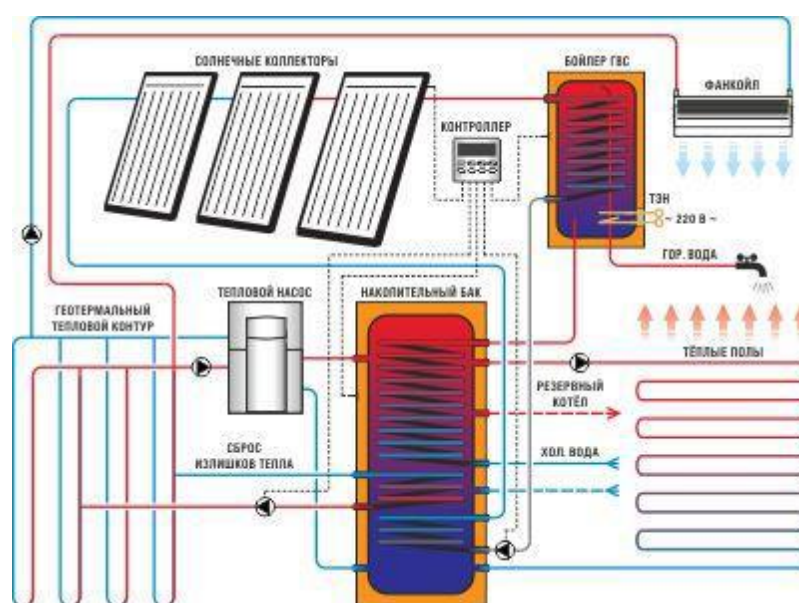


Рисунок 1.15 – Комбинированная система с солнечными коллекторами и тепловым насосом

В качестве источников тепла для теплонасосных систем возможно использование:

Грунтового коллектора. В качестве источника тепла используется энергия поверхностного слоя земли. Наибольшее количество энергии извлекается из почвы с большим содержанием влаги. Коллектор, в котором циркулирует экологически чистая, морозостойкая жидкость, укладывается в землю на глубину больше 1 м. Минимальное расстояние между соседними трубопроводами – 0,8...1 м. 1 метр трубопровода обеспечивает 15...20 Вт

тепловой мощности. Таким образом, для работы теплового насоса производительностью 10 кВт необходим трубопровод длиной 350...450 метров. Для его укладки потребуется участок земли площадью около 400 м². При правильном расчете коллектор теплового насоса не оказывает влияния на зеленые насаждения.

Грунтового зонда. При использовании в качестве источника тепла скважины, в нее опускается коллектор, имеющий U-образную форму. Не обязательно использовать одну очень глубокую скважину, можно пробурить несколько неглубоких, более дешевых скважин, главное получить общую расчетную глубину. На уровень грунтовых вод воздействие не оказывается, так как грунтовые воды не потребляются. 1 метр трубопровода опущенного в скважину обеспечивает 20...25 Вт тепловой мощности. Таким образом, для работы теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо пробурить одну скважину глубиной 150 м. или пять скважин глубиной по 30 м. каждая.

Подземных и поверхностных вод. В качестве источника тепла используется энергия воды ближайшего водоема. В этом случае коллектор укладывается на дно водоема. Преимущества этого метода в отсутствии большого объема земляных работ, высокий коэффициент преобразования энергии тепловым насосом – 1 метр трубопровода обеспечивает около 30 Вт тепловой мощности. Таким образом, для работы теплового насоса производительностью 10 кВт необходим трубопровод длиной 300 метров. Коллектор должен быть снабжен отягощающим грузом для предотвращения его всплытия на поверхность. Грунтовые воды являются наиболее продуктивным источником тепла для теплового насоса. Сравнительно постоянная в течение всего года температура 8-10 °С позволяет обеспечить самую высокую среди всех систем теплоотдачу. Через всасывающий колодец грунтовые воды подаются к тепловому насосу с помощью погружного насоса, а затем через глубинный колодец вновь выводятся в почву.

Воздуха. Если по какой-либо причине нет возможности пробурить скважину или установить горизонтальный коллектор, в качестве источника тепла можно использовать энергию окружающей воздушной среды. В этом случае насос преобразовывает тепло находящееся в воздухе и направляет его в помещение – тем самым, обеспечивая необходимую температуру воздуха в доме.

1.5 Выводы по разделу

1. Анализ открытых источников показал, что наиболее перспективными в области построения автономных систем энергообеспечения для удаленных населенных пунктов Центральной Украины (для условий Кировоградской и Полтавской областей) является применение гибридных систем на базе структуры ветро-солнечно-дизельная станция с использованием солнечных коллекторов для системы отопления и горячего водоснабжения.

2. Применение тепловых насосов требует специального геологического и гидрогеологического обследования для определения возможных источников низкопотенциального тепла, а также необходима экологическая оценка влияния тепловых насосов на окружающую среду (кроме систем воздух – вода).

РАЗДЕЛ 2

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ УКРАИНЫ

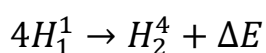
2.1 Солнечное излучение и ветровой потенциал как источник энергии

Задача удовлетворения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства в электрической и тепловой энергии, особенно в регионах, удаленных от централизованных энергосетей, а также вопросы устойчивого развития и снижения негативного воздействия энергетики на окружающую среду диктуют необходимость развития возобновляемой энергетики. Наибольшее внимание уделяется таким возобновляемым источникам как, ветровая энергия, солнечная энергия и энергия биомассы.

Известным недостатком первых двух источников энергии, ограничивающим и широкое практическое применение, является невысокая плотность энергетических потоков и их непостоянство во времени и как следствие – необходимость значительных затрат на оборудование, обеспечивающая сбор, аккумуляцию и преобразование энергии.

2.1.1 Особенности солнечного излучения. Солнечная энергетика занимает особое место среди VII, так как солнце в списке возможных энергетических источников находится на одной из первых позиций: интегральный поток солнечного излучения, входящие в атмосферу земли, составляет около $2 \cdot 10^{17}$ Вт, в то время как суммарная установленная мощность всех электростанций мира не превышает $3 \cdot 10^{12}$ Вт.

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция [19, 20]



Возможная благодаря огромному давлению, под которым находится водород внутри Солнца. Проходя через атмосферу, солнечное излучение ослабляется, частично пронизывают атмосферу прямыми лучами и достигают земной поверхности в виде прямого и рассеянного излучений. На уровне поверхности земли Солнечная постоянная не превышает 1000 Вт/м^2 . Прямое и рассеянное излучение ведут себя по-разному: прямыми лучами можно управлять, применяя соответствующие оптические системы, рассеянное излучение не поддается концентрации и управлению [21]. В средних широтах поток солнечной энергии на поверхность земли варьируется в течение дня от восхода (заката) до полудня от $32,88$ до 1233 Вт/м^2 в ясный день и от $19,2 \text{ мкВт/м}^2$ до 822 Вт/м^2 - в пасмурный [20].

В качестве единого Стандарта для измерения параметров солнечной энергии, по рекомендации комиссии Европейского сообщества и международной электротехнической комиссии при ООН, было принято использование значения атмосферной массы $AM_{1,5}$ при угле $\vartheta = 41,81$ (нормальное атмосферное давление) [22]. Для неё плотность потока солнечного излучения берётся равной 835 Вт/м^2 , что примерно совпадает со средней интенсивности излучения на земле. Следствие было принято дополнительное решение, позволяющая проводить измерения параметров СЭ при спектре излучения, соответствующим $AM_{1,5}$, и интегральной плотности потока излучения 1000 Вт/м^2 [23, 24].

Спектр AM_0 определяет работу солнечных батарей на космических аппаратах. Спектр AM_1 соответствует солнечному излучению на поверхности Земли, когда солнце стоит в зените; при этом полная мощность излучения составляет приблизительно 925 Вт/м^2 . Спектр AM_2 реализуется при угле 30 (нормальное атмосферное давление): в этом случае полная мощность излучения равна 691 Вт/м^2 [7].

Перспективы использования солнечной энергии. Эффективность практического использования солнечной энергии во многом зависит от того, насколько точно при проектных разработках были учтены закономерности и

конкретные данные о приходе солнечной радиации вместо предполагаемой эксплуатации установки. Создание минимальных по стоимости и конкурентоспособных солнечных установок, эффективно удовлетворяющих потребности потребителя, связанная с обоснованием оптимальной площади солнечных приемников, установленной мощности, типа ёмкости аккумуляторов энергии. Из-за относительно малых плотности энергетических потоков солнечного излучения у поверхности земли площадь приемников этих первичных источников энергии может быть велика, и приемники могут вносить в стоимость все установки определяющий вклад.

Нестабильность составление первичной энергии обуславливает необходимость снабжения установок аккумуляторами энергии, выбор ёмкости которых оказывает влияние как необходимый для работы установки размер приемников, так и на мощность резервного источника энергии, а, следовательно, и на технико-экономические показатели установки в целом.

В общем случае информация о потоках солнечной радиации и суммарной падающей энергии может быть получена следующими способами:

- аналитическим, когда необходимы параметры для конкретной географической точки определяется расчетным путем;
- непосредственными (обычно продолжительными) измерениями на месте;
- многолетними измерениями по единой методике на метеостанции, результаты которых аккумулированные в климатических справочниках и базах данных.

Основным источником исходной антинометрической информации являются климатические справочники и базы данных, создаваемые специализированными организациями на основе обработки результатов многолетних метеорологических наблюдений на метеостанциях.

По используемому принципы преобразования солнечной энергии солнечные энергоустановки делятся на фотоэлектрические, реализующие метод прямого преобразование солнечной энергии в электрическую, и

термодинамические, в которых лучистая энергия преобразуется сначала в теплоту, которая в термодинамическом цикле тепловой машины в свою очередь преобразуется в механическую энергию, а затем генераторе - в электрическую.

Решение указанных задач используются различные схемные решения, анализ которых приведен в разделе 1.

Для автономных солнечных энергоустановок малой мощности предпочтительны фотоэлектрические станции в силу своей конструктивной простоты, что делает их более удобными в эксплуатации.

По названным причинам наиболее быстрый рост наблюдается в области фотоэлектрических станций для определенных категорий потребителей, на которых подключения к энергосистеме нецелесообразно по экономическим соображениям. Сказанное относится в первую очередь таким потребителям, как удалённые потребители сельскохозяйственного назначения [25].

Активность солнечных лучей характеризует величина инсоляции. Определение инсоляции означает определение величины облучения поверхности солнечным светом (солнечной радиацией).

В расчетах систем с применением солнечных батарей, коллекторов и т.п. применяют величину фактической инсоляции, которая определяется на основе опытных данных. Факторами, определяющими величину фактической инсоляции, являются: ориентация участка облучения относительно юга, угол наклона к горизонту, застройки, создающие тень в течение дня, температура, и, главное, – широта и время года. Угол падения солнечных лучей уменьшается от экватора к полюсам, как следствие, падает эффективность использования солнечных коллекторов или батарей.

Также прослеживается зависимость инсоляции от времен года: от минимума зимой, когда солнце находится ниже к горизонту и световой день короче, до максимума летом, когда солнце находится выше и светит дольше. Это так называемая сезонная зависимость. Данные о поступлении солнечной энергии на поверхность Земли получены с использованием данных, взятых на сайте NASA [26].

2.1.2 Потенциал солнечной энергии в Украине.

Институт восстанавливаемой энергетики НАНУ провел исследования по потоку солнечной радиации на территорию Украины. Им определены удельные энергетические показатели поступления солнечной энергии и распределения энергетического потенциала солнечного излучения для каждой из областей Украины. Среднегодовое количество суммарной солнечной радиации, которая поступает на 1 м² поверхности на территории Украины, находится в пределах: от 1070 кВт·час/м² в северной части Украины до 1350 кВт·час/м² на юге. Для Центральной Украины этот потенциал колеблется в пределах 1150...1250 кВт·час/м².

Потенциал солнечной энергии в Украине достаточно высок для широкого внедрения как теплоэнергетического, так и фотоэнергетического (фотовольтаического) оборудования практически во всех областях [27]. Фотоэнергетическое оборудование может достаточно эффективно эксплуатироваться в течение всего года. Эти данные подтверждаются оценками международных экспертов. На рисунке 2.1 представлены расчеты JRC (комиссии по природным ресурсам Европейского Союза) эффективного использования фотоэлектрических установок на территории Украины.

2.1.3 Ветер как энергетический ресурс

Известно, что строительство ветроэлектрических станций возможно лишь при наличии в регионе соответствующих ветроэнергетических ресурсов.

Ветер на различных высотах в атмосфере Земли для каждой точки ее поверхности характеризуется скоростью, которая, строго говоря, является случайной переменной в пространстве и времени, зависящей от многих факторов местности и погодных условий. Поэтому все процессы, напрямую связанные с использованием текущего значения скорости ветра, в частности

Украина. Суммарная солнечная радиация и изолинии, оптимизированные для применения фотовольтаических электрогенерирующих модулей (по данным ЕС).

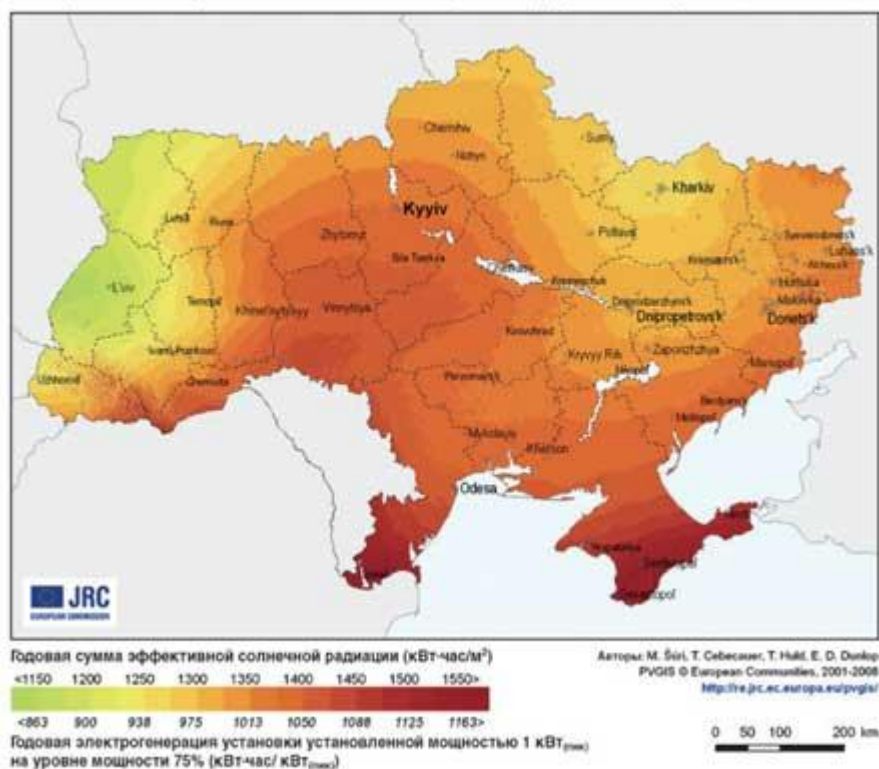


Рисунок 2.1. – Изокванты потенциала солнечной генерации в Украине (по данным ЕС) по наблюдениям за 2001–2008 г.

генерация электроэнергии в ветроэлектрических установках, имеют сложный случайный характер, так что их характеристики обладают статистическим разбросом средних ожидаемых значений. Поэтому на современном уровне исследований задача их оценки формулируется как создание вероятного описания случайного процесса посредством разбиения всего временного процесса на отдельные временные интервалы, в пределах каждого из которых можно использовать приближение стационарности, т.е. независимости всех определяемых параметров от времени. В качестве периода стационарности могут быть приняты различные временные интервалы с соответствующей точностью описания, в зависимости от реальных условия случайного процесса. В частности, в некотором приближении можно считать процесс стационарным во всем рассматриваемом времени, например, в течение дня, месяца.

Для систематизации характеристик ветровой энергии в конкретном регионе с целью ее эффективного использования, как правило, разрабатывается ветроэнергетический кадастр, представляющий собой совокупность аэрологических и энергетических характеристик ветра, позволяющих определить его энергетическую ценность, а также целесообразные параметры и режимы работы ВЭУ.

Основными характеристиками ветроэнергетического кадастра являются:

- среднегодовая скорость ветра, годовой и суточный ход ветра;
- повторяемость скоростей, типы и параметры функций распределения скоростей;
- максимальная скорость ветра;
- распределение ветровых периодов и периодов энергетических затиший по длительности;
- удельная мощность и удельная энергия ветра;
- ветроэнергетические ресурсы региона.

Источниками получения исходной информации являются:

- метеостанции, на которых осуществляются измерения всех климатологических параметров, в том числе скорости ветра, обычно 4 раза в сутки. В современных метеостанциях измерения проводятся по 8 румбам (многолетние наблюдения);
- метеостанции непрерывного наблюдения, как правило, сооружаемые на предполагаемых площадках установки ВЭУ;
- аэрологические станции (зонды и шары), запускаемые периодически на разные высоты.

2.1.4 Потенциал ветровой энергии в Украине.

Предварительную оценку ветроэнергетического потенциала Украины позволяют сделать компьютерные расчеты, проведенные по данным замеров скорости ветра на всех 216 метеостанциях системы Госкомгидромета

Украины за двадцатилетний период. Рисунок 2.2, на котором схематически представлено расположение метеостанций, характеризует степень охвата анализом территорий Украины.

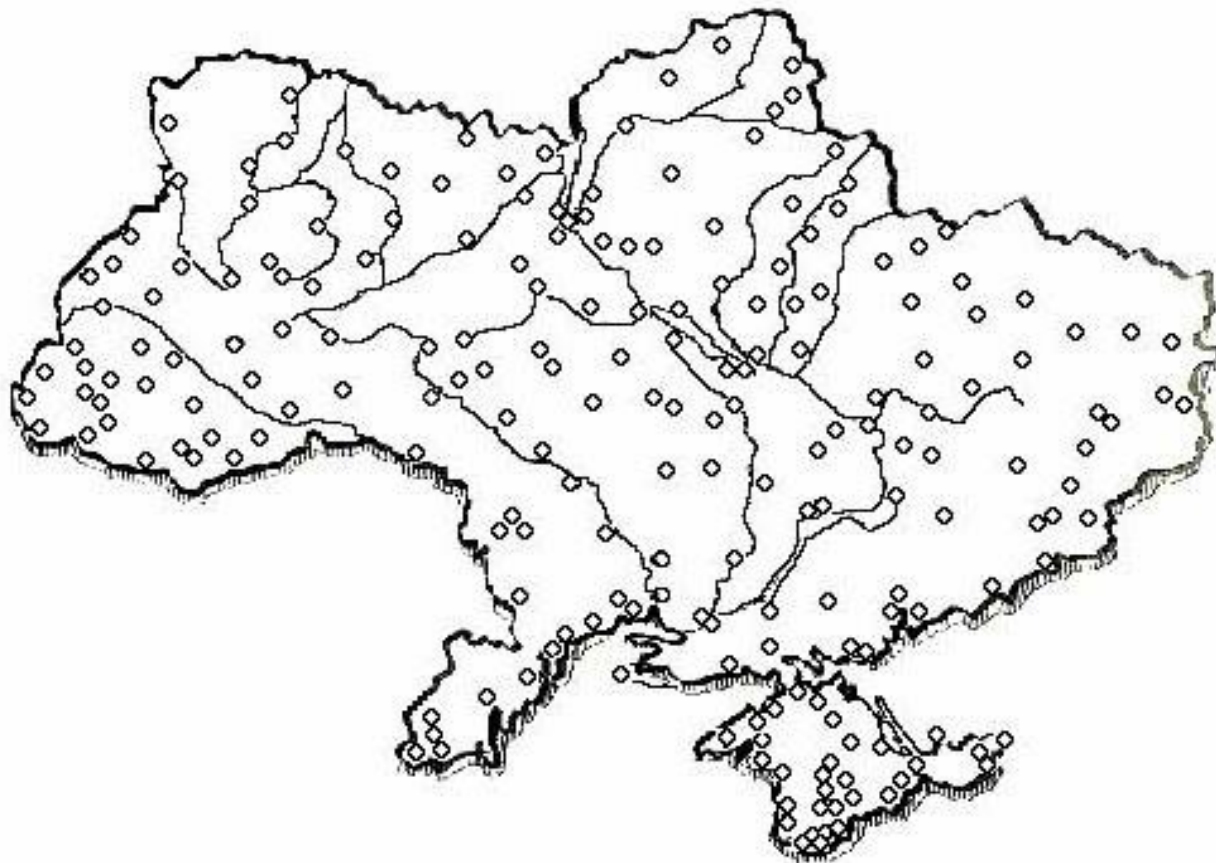


Рисунок 2.2 – Расположение метеостанций Госкомгидромета на территории Украины

Метеостанции регистрируют данные срочных замеров скоростей и направлений ветра на высоте флюгера (в большинстве случаев 10 метров) с градацией скорости 2 м/сек. Кроме того, метеостанции располагают данными об экстремальных скоростях ветра, превышаемых один раз в год, пять и десять лет. Из 216 станций 80 расположены в потенциально богатых ветроресурсами районах – Крыму и Причерноморье. В Крыму расположены 30 станций, в Николаевской, Одесской, Херсонской, Запорожской и Донецкой областях порядка 50 станций.

Для современного технического уровня ВЭУ, которые изготавливаются в Украине, используются районы со среднегодовыми скоростями ветра на уровне 5 м/с на высоте флюгера 10 метров. С увеличением высоты, скорости ветра значительно возрастают. Можно с высокой достоверностью утверждать, что в Украине имеется значительное количество перспективных с точки зрения ветроэнергетики зон. Наибольшим ветровым потенциалом обладают значительные территории, прилегающие к Черному и Азовскому морям, а также районы Карпат, Закарпатья и Прикарпатья. Кроме того, наблюдаются участки повышенного ветрового потенциала в Донбасском регионе и в Днепропетровской области. Ввод в эксплуатацию ВЭС на всех этих территориях сможет обеспечить покрытие около 30% потребности Украины в электроэнергии. Ветровой кадастр Украины приведен на рисунке 2.3 [28].

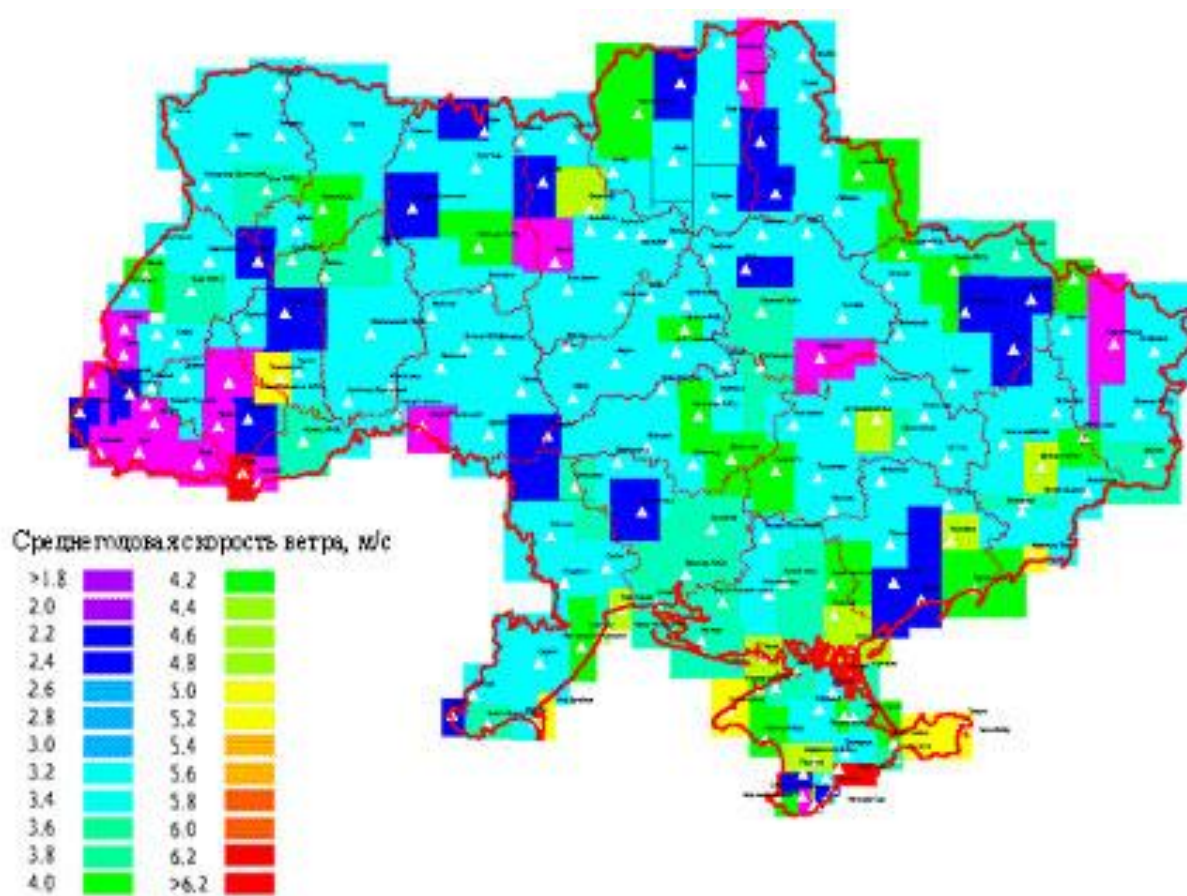


Рисунок 2.3 – Ветровой кадастр Украины

2.2 Метеорологические и климатические условия Кировоградской и Полтавской областей.

2.2.1 Метеорологические и климатические условия Кировоградской области

Климат области умеренно-континентальный. Зима мягкая, с частыми оттепелями, которые приносят то влажные массы-циклоны с Балтики и Атлантики (и тогда в области выпадают осадки) то антициклоны с южного Чёрного и Средиземного морей. Снежный покров устанавливается поздно – в начале декабря, неглубок и непостоянен. Весна относительно ранняя. Лето сухое, довольно жаркое и зачастую засушливое. Средняя температура июля +21 °С, января –5,5 °С. Осадки часты осенью в виде дождей. Их среднегодовое количество 450 –525 мм.

Климат Кировоградской области умеренный. По территории области с северо-запада на северо-восток проходит полоса высокого атмосферного давления (ось Воейкова), к северу от которой преобладают влажные воздушные массы, которые приносят западные ветры с Атлантического океана, на юге - континентальные воздушные массы. Зима мягкая, с частыми оттепелями, лето теплое, сухое. Среднегодовая температура в области составляет +7,7...8,4°С, а в теплые годы - (1967 г., 1975 г., 1989 г.) – 9,6...10,3°С. Среднегодовое количество осадков - 499 - 582 мм. Максимальное количество их выпадает в теплый период года (~ 70%). Среднегодовая относительная влажность воздуха - 73-76%. Снежный покров устанавливается в III декаде ноября, а сходит во II декаде марта. Максимальное промерзание почвы - 98-144 см. Среди неблагоприятных климатических явлений следует отметить засухи, суховеи, пыльные бури, град, ливни [29].

Анализ метеорологических параметров проводился по данным метеостанций [30, 31] расположенных в следующих населенных пунктах Кировоградской области:

- г. Кропивницкий;
- г. Александрия;
- г. Светловодск;
- г. Знаменка.

Кропивницкий

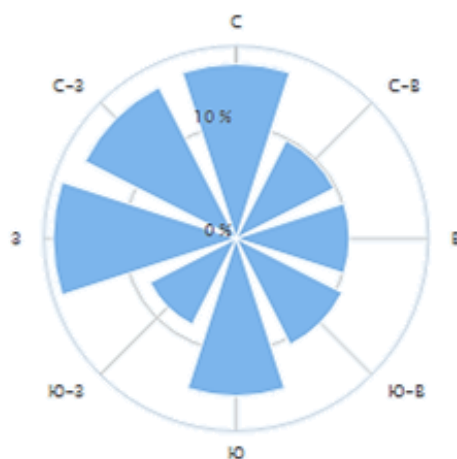
Климат города – умеренно-холодный. Кропивницкий имеет значительное количество осадков в течение года. Это верно даже для сухого месяца. Температура здесь в среднем 8.3 °С. Выпадает около 495 мм осадков в год. Повторяемость направления ветра за год, % приведены на рис. 2.4. На рис. 2.5 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.6 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Александрия

В городе Александрия климат холодно умеренный. В городе Александрия в течение года выпадает значительное количество осадков. Даже во время самого засушливого месяца выпадает много осадков. Средняя годовая температура составляет 8.4 °С. Выпадает около 526 мм осадков в год. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.7. На рис. 2.8 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.9 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Светловодск

Умеренно-холодный климат в городе Светловодск Является большое количество осадков в Светловодск, даже в самый засушливый месяц. Среднегодовая температура в городе Светловодск - 8.2 °С. Среднегодовая норма осадков - 546 мм. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.10. На рис. 2.11 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.12 – соотношение ясных и пасмурных дней.



| С ▼ Северный | С-В ▲ Северо-Восто... | В ◀ Восточный | Ю-В ▶ Юго-Восточный | Ю ▲ Южный | Ю-З ◀ Южный-Запад... | З ▶ Западный | С-З ▲ Северо-Запад... |
|-----------------|--------------------------|------------------|------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 15.5% | 9.8% | 10.1% | 10.6% | 14% | 8.6% | 16.3% | 15.1% |

Рисунок 2.4 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Кропивницкий

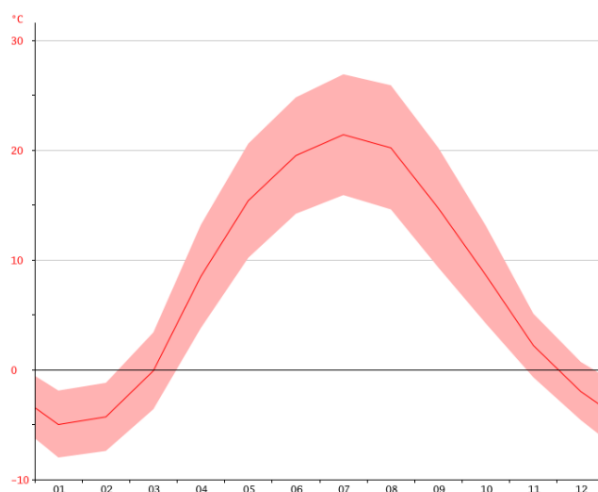


Рисунок 2.5 - Усредненные данные по температуре в течении года для г. Кропивницкий

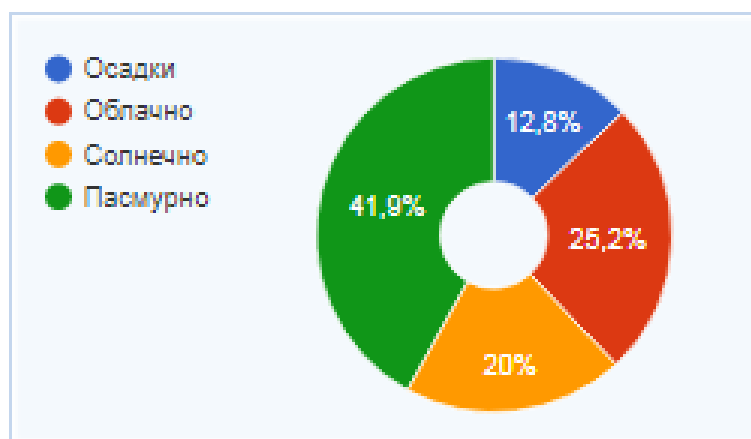
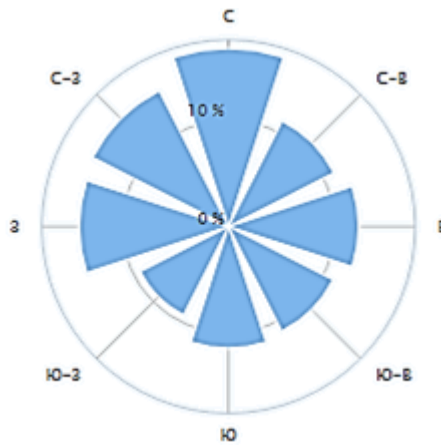


Рисунок 2.6 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Кропивницкий



| С ▾ Северный | С-В ▲ Северо-Восто... | В ◀ Восточный | Ю-В ▶ Юго-Восточный | Ю ▲ Южный | Ю-З ◀ Южный-Запад... | З ▶ Западный | С-З ▲ Северо-Запад... |
|-----------------|--------------------------|------------------|------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 16.7% | 11.1% | 12.2% | 11% | 11.4% | 9.3% | 14% | 14.3% |

Рисунок 2.7 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Александрия

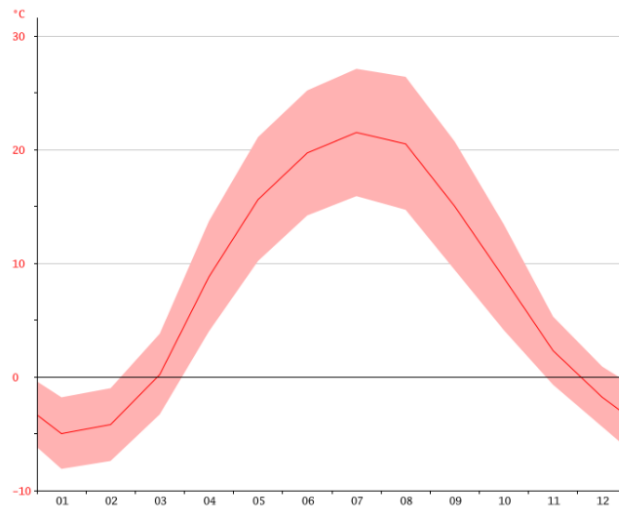


Рисунок 2.8 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Александрия

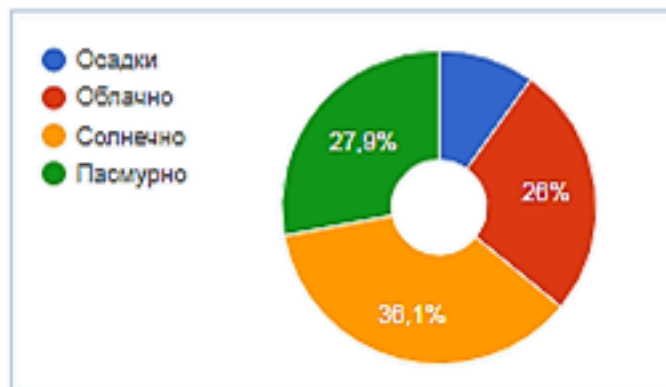


Рисунок 2.9 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Александрия

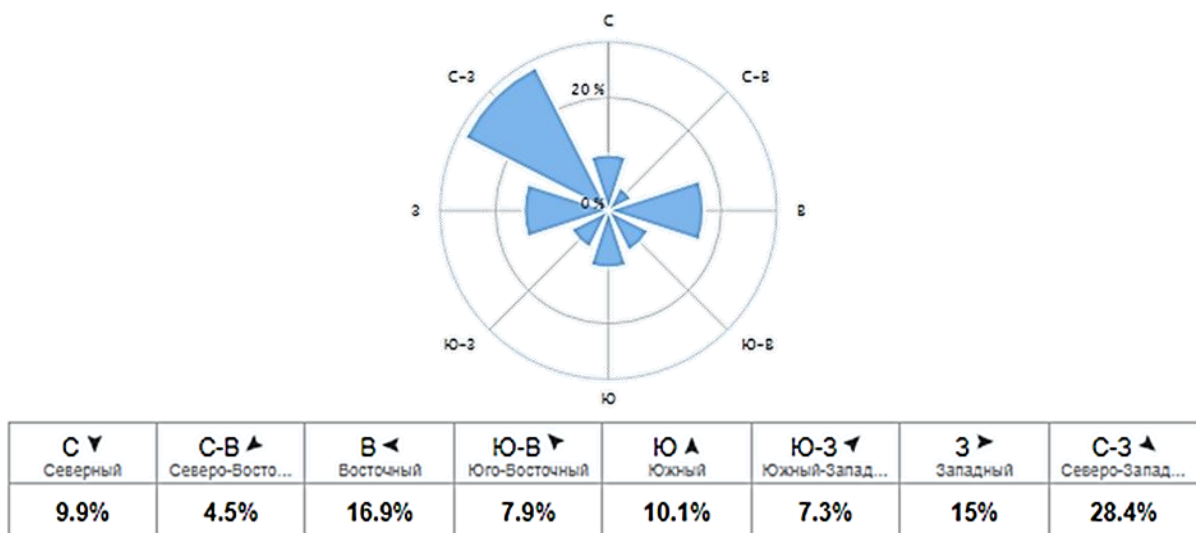


Рисунок 2.10 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Светловодск

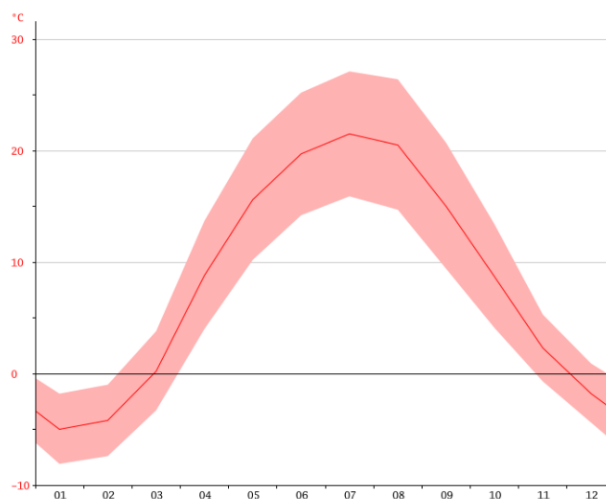


Рисунок 2.11 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Светловодск

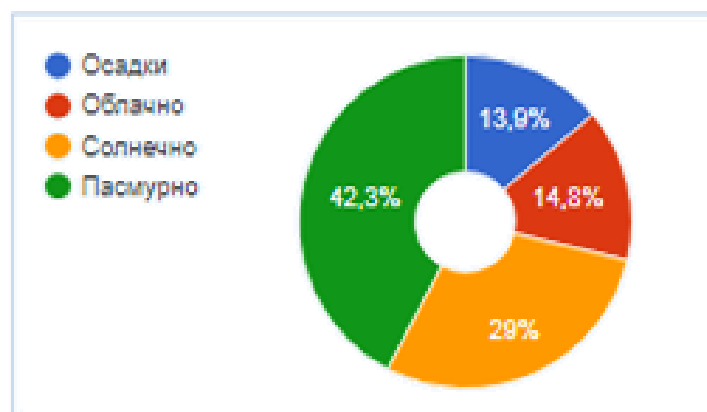


Рисунок 2.12 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Светловодск

Знаменка

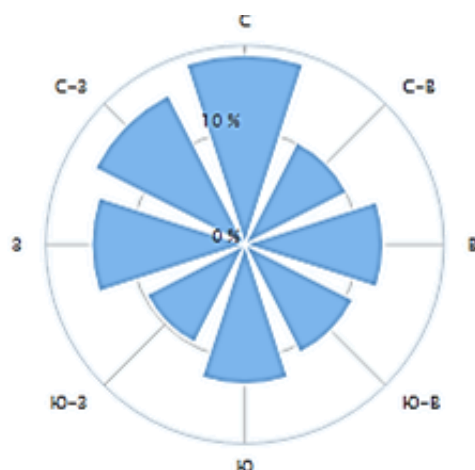
Климат в городе Знаменка холодно умеренный. В городе Знаменка в течение года выпадает значительное количество осадков. Даже во время самого засушливого месяца выпадает много осадков. Средняя годовая температура составляет 7.9°C в Знаменка. Среднегодовая норма осадков – 552 мм. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.13. На рис. 2.14 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.15 – соотношение ясных и пасмурных дней.

2.2.2 Метеорологические и климатические условия Полтавской области

Климат Полтавской области определяется расположением в умеренном климатическом поясе, тип – умеренно-континентальный. Средняя температура января $-3,7^{\circ}\text{C}$, июля $+21,4^{\circ}\text{C}$, количество осадков составляет 580–480 мм/год, выпадают преимущественно летом в виде дождей. Около 2/3 количества дней в году царит континентальный подтип воздушных масс суши Евразии, 1/3 дней – морской подтип воздушных масс из северной и центральной Атлантики и внутренних морей – Средиземного, Черного, Азовского.

Большая часть области расположена в пределах Приднепровской низменности, крайняя северо-восточная часть – частично на отрогах Среднерусской возвышенности, крайняя юго-западная часть (правобережная) – в пределах Приднепровской возвышенности.

Географическое положение Полтавской области определило ее принадлежность к умеренному климатическому поясу, крайней южной части Атлантики-континентальной умеренно-влажной умеренно-теплой климатической области. В целом для территории Полтавской области присущи общие черты умеренного континентального типа климата.



| С ▼ Северный | С-В ▲ Северо-Восто... | В ◀ Восточный | Ю-В ▶ Юго-Восточный | Ю ▲ Южный | Ю-З ◀ Южный-Запад... | З ▶ Западный | С-З ▲ Северо-Запад... |
|-----------------|--------------------------|------------------|------------------------|--------------|-------------------------|-----------------|--------------------------|
| 16.7% | 10.1% | 12.2% | 10.7% | 12.3% | 9.7% | 13.5% | 14.8% |

Рисунок 2.13 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, %
для условий г. Знаменка

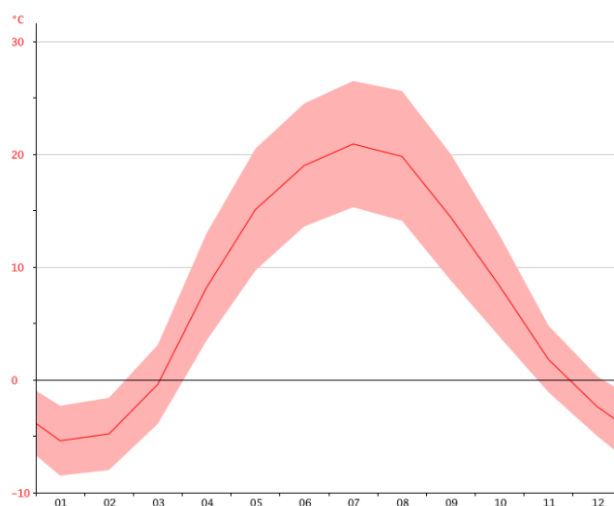


Рисунок 2.14 – Усредненные данные по температуре в течении года
для г. Знаменка

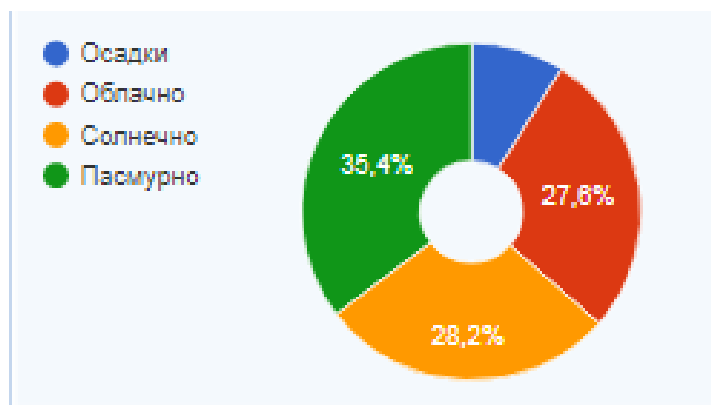


Рисунок 2.15 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Знаменка

Наибольшая повторяемость (64...79%) солнечных дней приходится на май-август. В эти месяцы возможно использование гелиоэнергетических устройств. Перспективный электроэнергетический потенциал солнечной радиации для Полтавской области составляет 0,072 МВт·ч.

Под энергией ветра понимается кинетическая энергия движущегося потока воздуха, которая, действуя на ветроприемное устройство специальной конфигурации, переходит в механическую энергию, с помощью которой приводится в действие генератор электрического тока. Для целей ветроэнергетики важнейшее значение имеют как скорость и повторяемость ветров. За работу принимают скорость ветра более 3 м/с. Для метеостанции Полтава в течение года повторяемость ветров со скоростью более 3 м/с., составляет более 25% во все месяцы. Наблюдения свидетельствуют о целесообразности использования ветродвигателей на Полтавщине в течение года. Перспективный энергетический потенциал ветра для Полтавской области составляет 1,7 млн. МВт·ч/год. Наиболее перспективным для строительства ВЭС является берега Кременчугского водохранилища. Для возможного строительства ветроустановок проводились исследования на участке возле села Шушваловка Глобинского района [29].

Анализ метеорологических параметров проводился по данным метеостанций [30, 31] расположенных в следующих населенных пунктах Полтавской области:

- Полтава;
- Кременчуг;
- Горишние плавни;
- Гадяч;
- Лубны;
- Миргород.

Полтава.

В городе Полтава климат холодно умеренный. Полтава имеет значительное количество осадков в течение года. Это верно даже для сухого месяца. Средняя температура воздуха в Полтаве - 7.3 ° С. Среднегодовая норма осадков - 562 мм. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.16. На рис. 2.17 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.18 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Кременчуг.

Умеренно-холодный климат в городе Кременчуг. Кременчуг имеет значительное количество осадков в течение года. Это верно даже для сухого месяца. Среднегодовая температура в городе Кременчуг - 8.5 °С. Выпадает около 532 мм осадков в год. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.16. На рис. 2.17 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.18 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Горишние Плавни

Климат в городе Горишние Плавни холодно умеренный. Горишние Плавни имеет значительное количество осадков в течение года. Это верно даже для сухого месяца. Среднегодовая температура в городе - 8.5 °С. В год выпадает около 526 мм осадков. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.19. На рис. 2.20 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.21 – соотношение ясных и пасмурных дней.

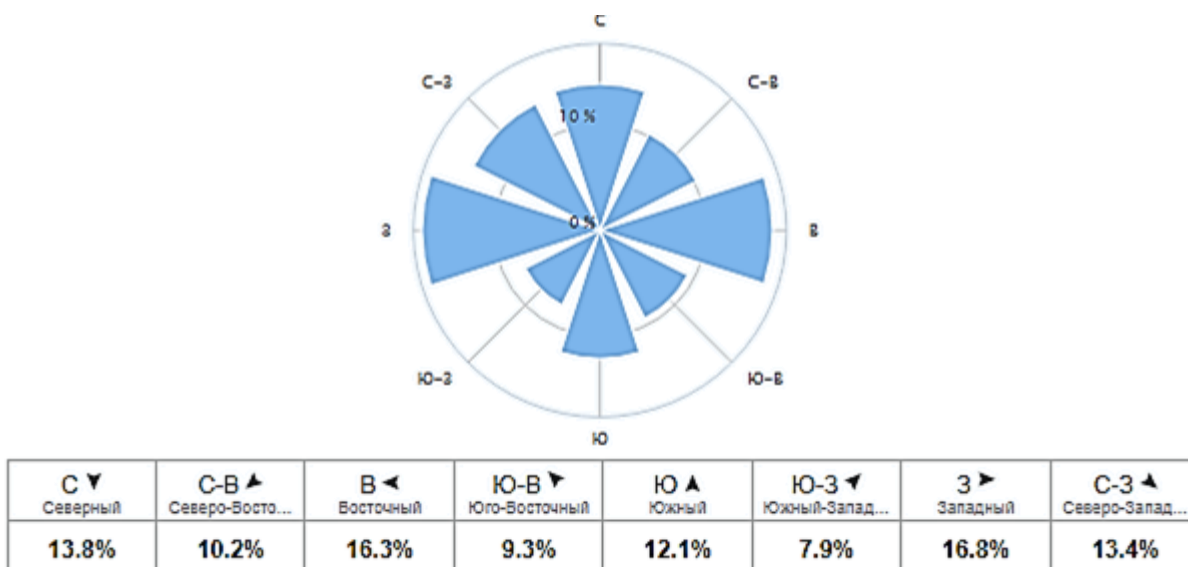


Рисунок 2.16 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Полтава

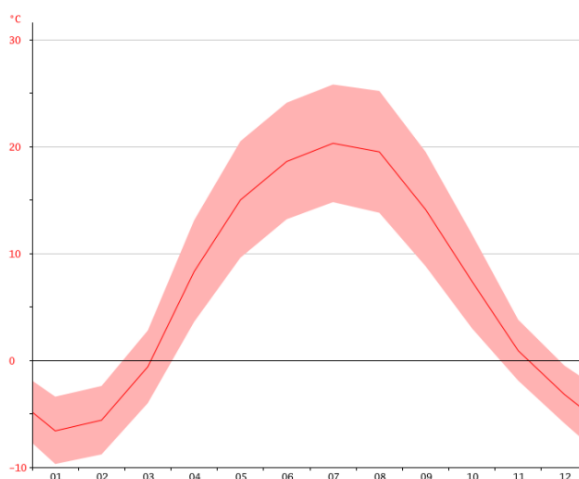


Рисунок 2.17 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Полтава

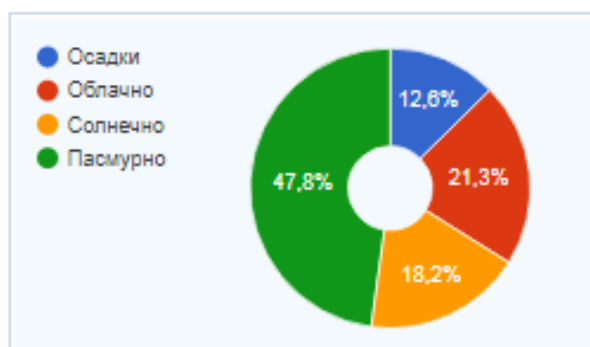


Рисунок 2.15 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Полтава

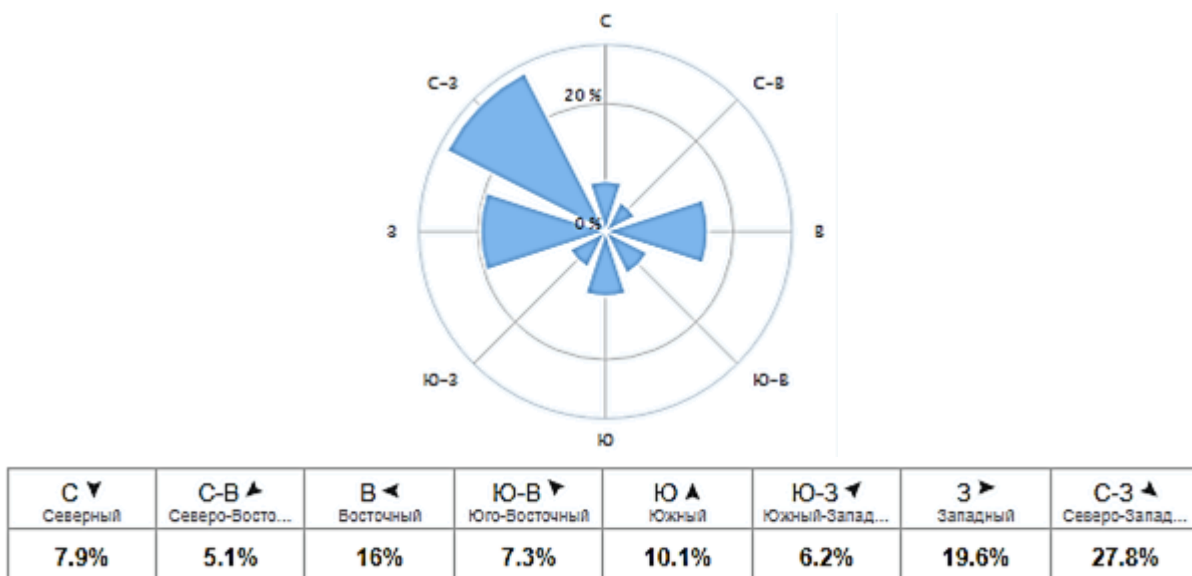


Рисунок 2.16 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Кременчуг

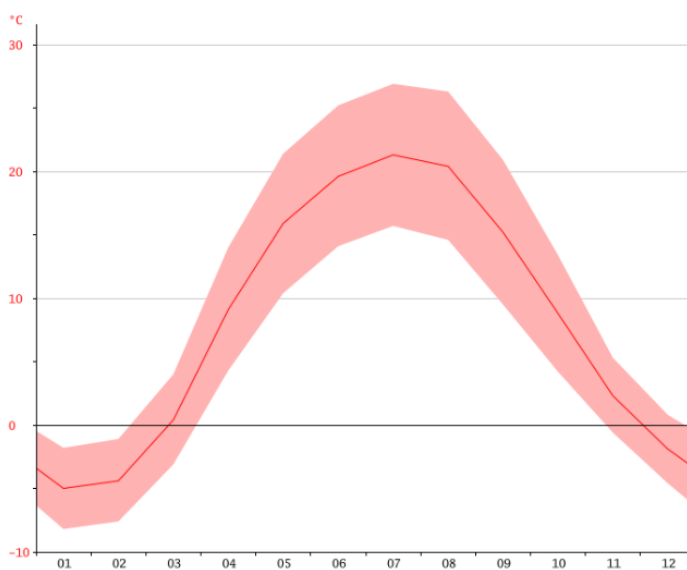


Рисунок 2.17 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Кременчуг

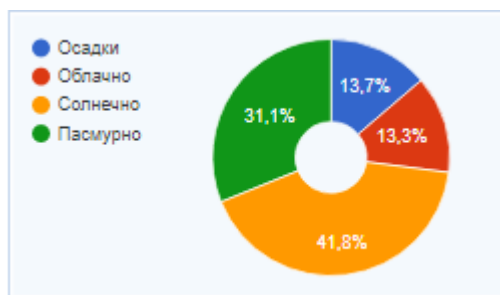


Рисунок 2.18 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Кременчуг

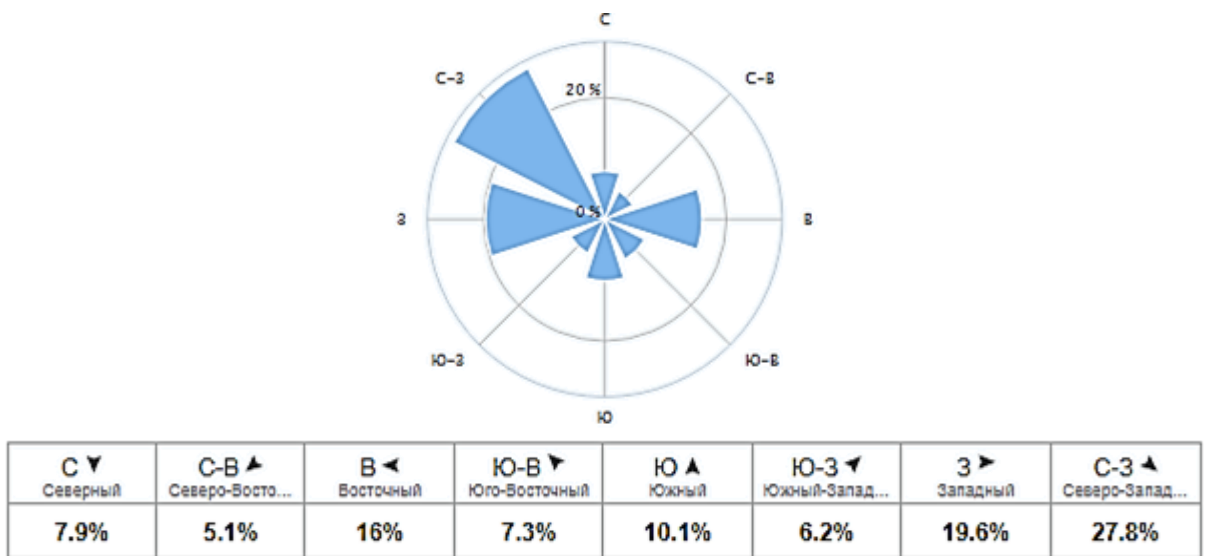


Рисунок 2.19 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Горишние Плавни

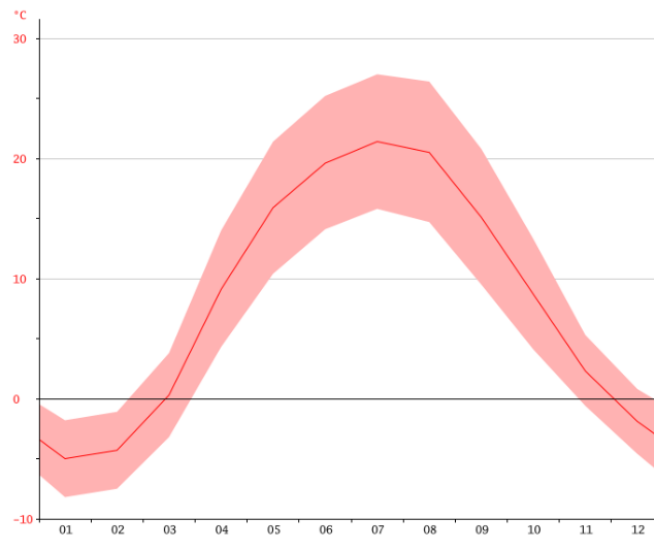


Рисунок 2.20 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Горишние Плавни

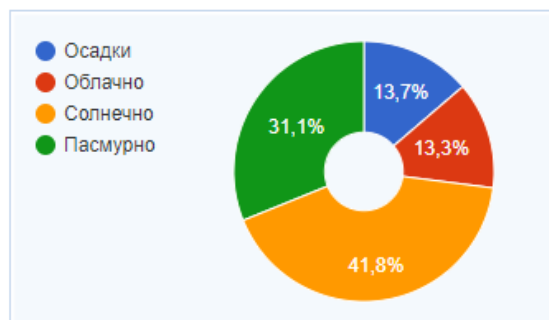


Рисунок 2.21 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Горишние Плавни

Гадяч

Город Гадяч имеет умеренно-холодный климат. Гадяч город со значительным количеством осадков. Даже в засушливый месяц есть много дождя. Средняя температура воздуха в Гадяч является 7.2°C . Среднегодовая норма осадков - 589 мм. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.22. На рис. 2.23 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.24 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Лубны

Умеренно-холодный климат в городе Лубны. Лубны имеет значительное количество осадков в течение года. Это верно даже для сухого месяца. В Лубны, средняя годовая температура составляет 8.0°C . Выпадает около 628 мм осадков в год. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.13. На рис. 2.14 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.15 – соотношение ясных и пасмурных дней.

Миргород

Климат в городе Миргород холодно умеренный. Миргород город со значительным количеством осадков. Даже в засушливый месяц есть много дождя. В Миргороде, средняя годовая температура составляет 7.9°C . Среднее количество осадков в год составляет 558 мм. Повторяемость направления ветра за год, % приведена на рис. 2.28. На рис. 2.29 приведены усредненные данные по температуре в течении года. На рис. 2.30 – соотношение ясных и пасмурных дней.

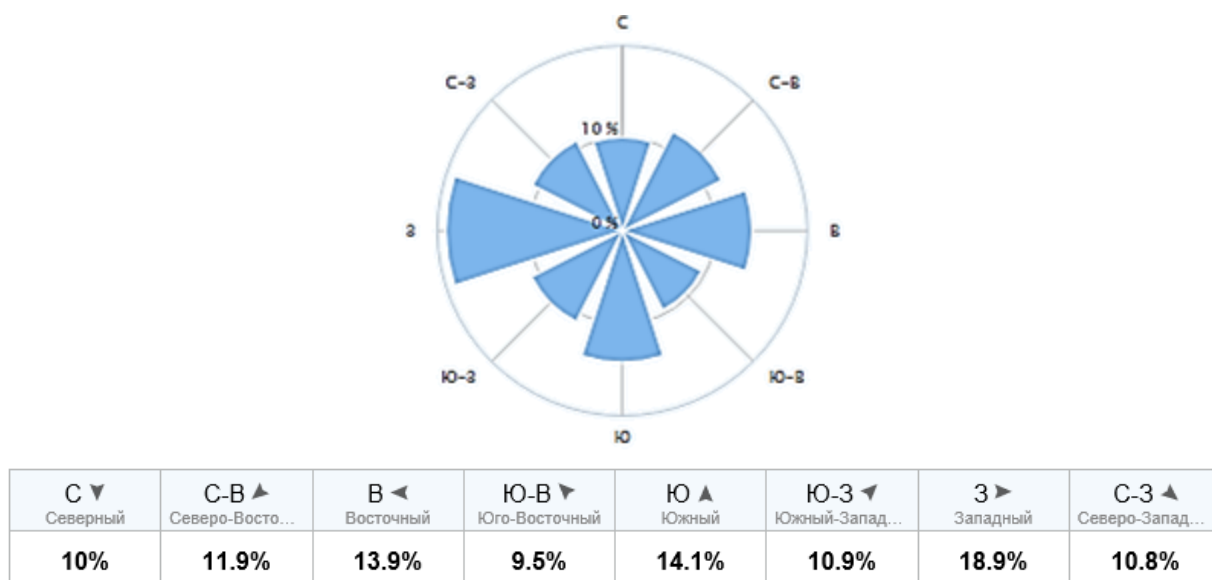


Рисунок 2.22 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Гадяч

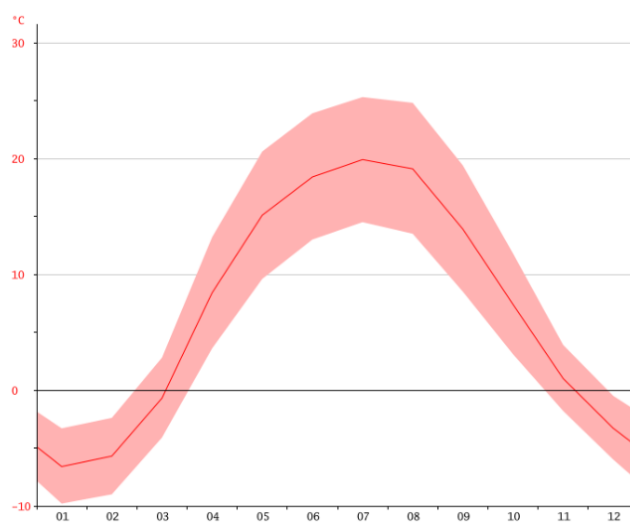


Рисунок 2.23 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Гадяч

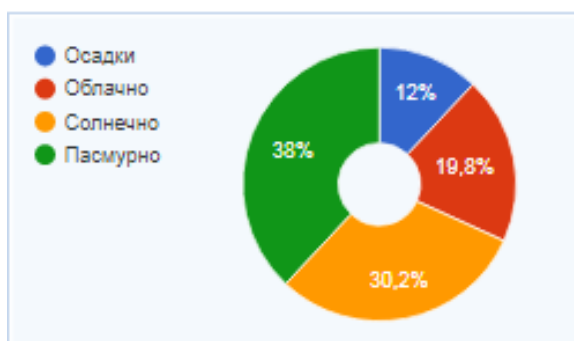


Рисунок 2.24 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Гадяч

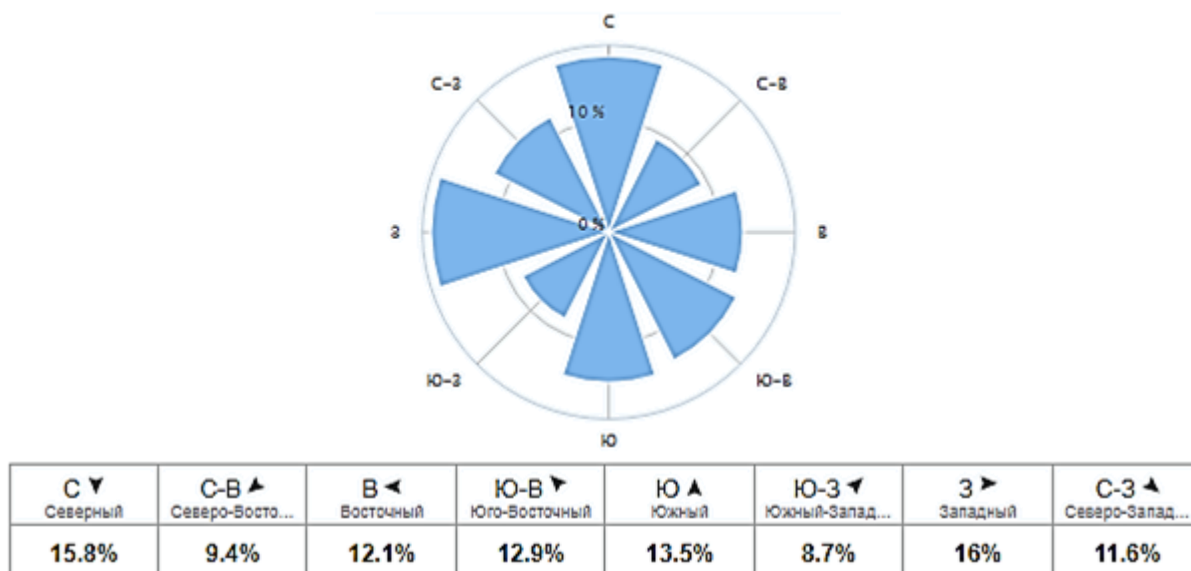


Рисунок 2.25 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Лубны

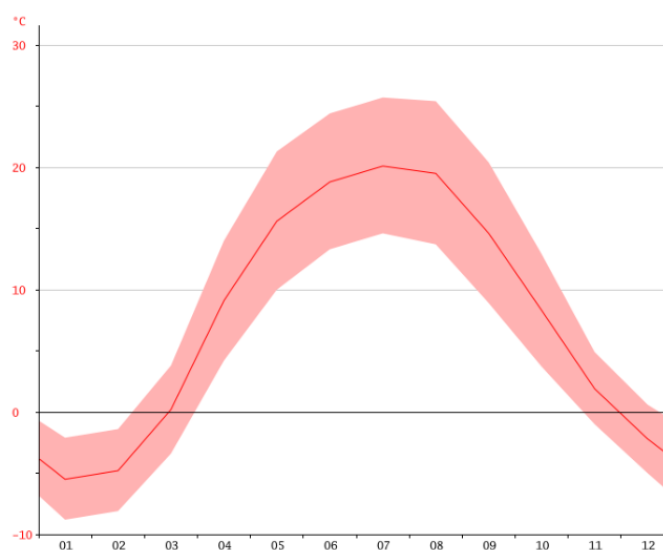


Рисунок 2.26 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Лубны

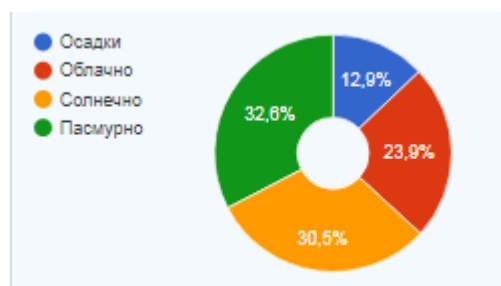


Рисунок 2.27 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Лубны

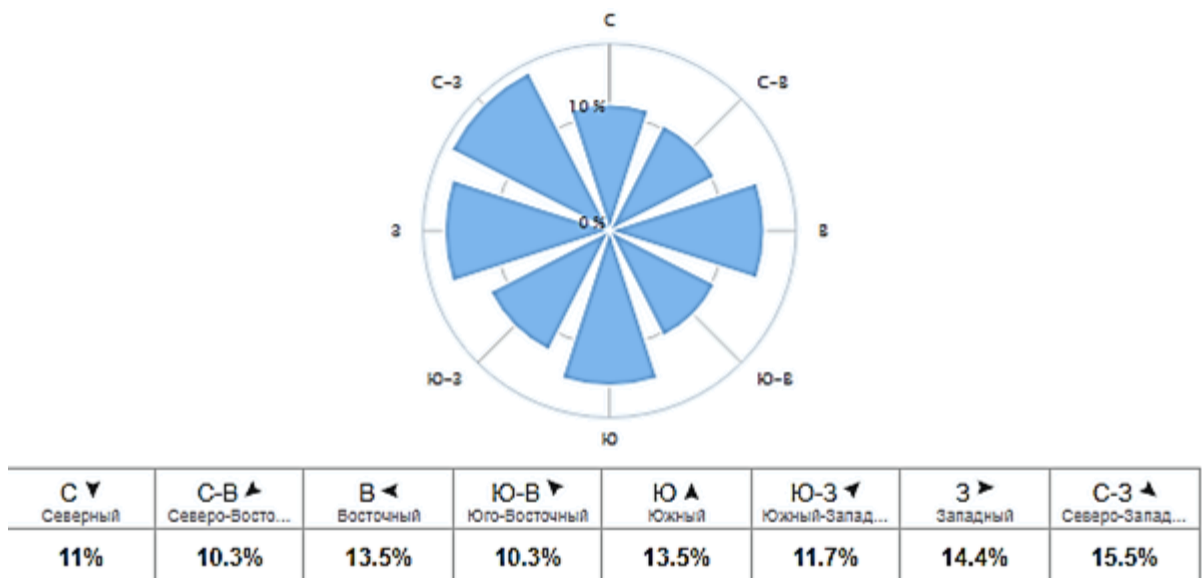


Рисунок 2.28 – Роза ветров и повторяемость направления ветра за год, % для условий г. Миргород

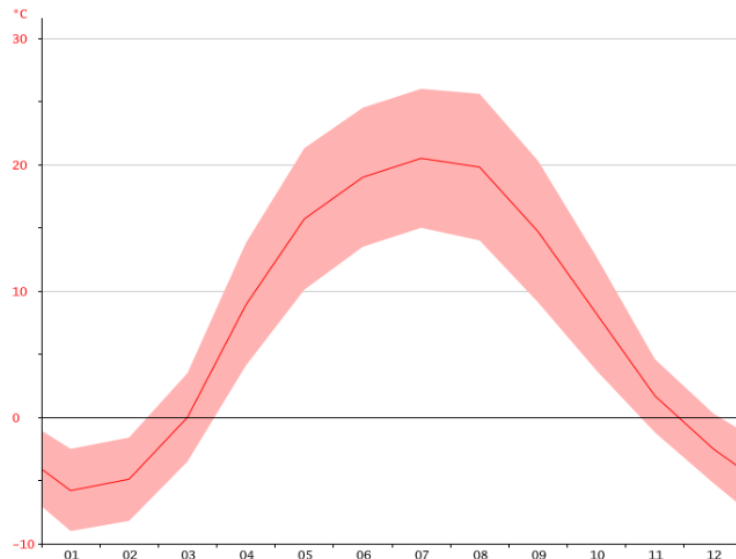


Рисунок 2.29 – Усредненные данные по температуре в течении года для г. Миргород

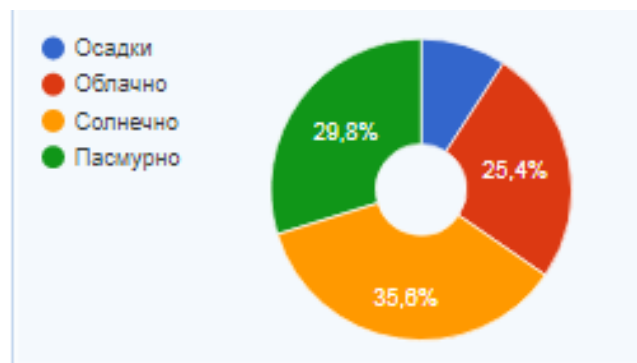


Рисунок 2.30 – Соотношение ясных и пасмурных дней для г. Миргород

На рис. 2.31 приведены результаты моделирования средней температуры по месяцам в указанных областях. Анализ данных показывает, что температура не сильно отличается.

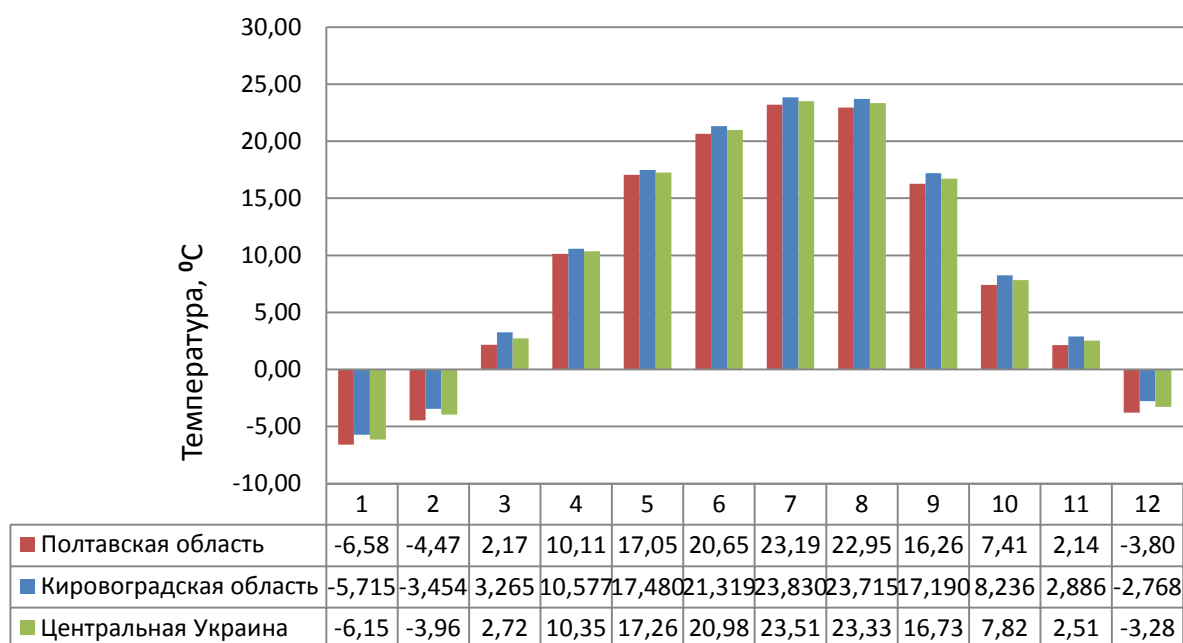


Рисунок 2.31 – Среднее значение температуры за год

2.3 Оценка солнечной инсоляции для условий Полтавской и Кировоградской областей.

Данные о поступлении солнечной энергии на поверхность Земли получены с использованием данных, взятых на сайте NASA [&].

Полученные согласно сайту NASA значения инсоляции для городов Полтавской области областного значения:

- Полтава с координатами 49°34′ северной широты и 34°34′ восточной долготы;

- Гадяч с координатами 50°22′ северной широты и 33°59′ восточной долготы;

- Горишние Плавни с координатами 49°00′ северной широты и 33°39′ восточной долготы;

- Кременчуг с координатами 49°04′ северной широты и 33°25′ восточной долготы;

- Лубны с координатами 50°34′ северной широты и 32°34′ восточной долготы;
- Миргород с координатами 49°57′ северной широты и 33°36′ восточной долготы;
- и Кировоградской области областного значения:
- Кропивницкий с координатами 48°30′ северной широты и 32°16′ восточной долготы;
- Знаменка с координатами 48°42′ северной широты и 32°40′ восточной долготы;
- Александрия с координатами 48°41′ северной широты и 33°06′ восточной долготы;
- Светловодск с координатами 49°05′ северной широты и 33°15′ восточной долготы;

На рисунке 2.32 отмечены точки в которых проводились измерения

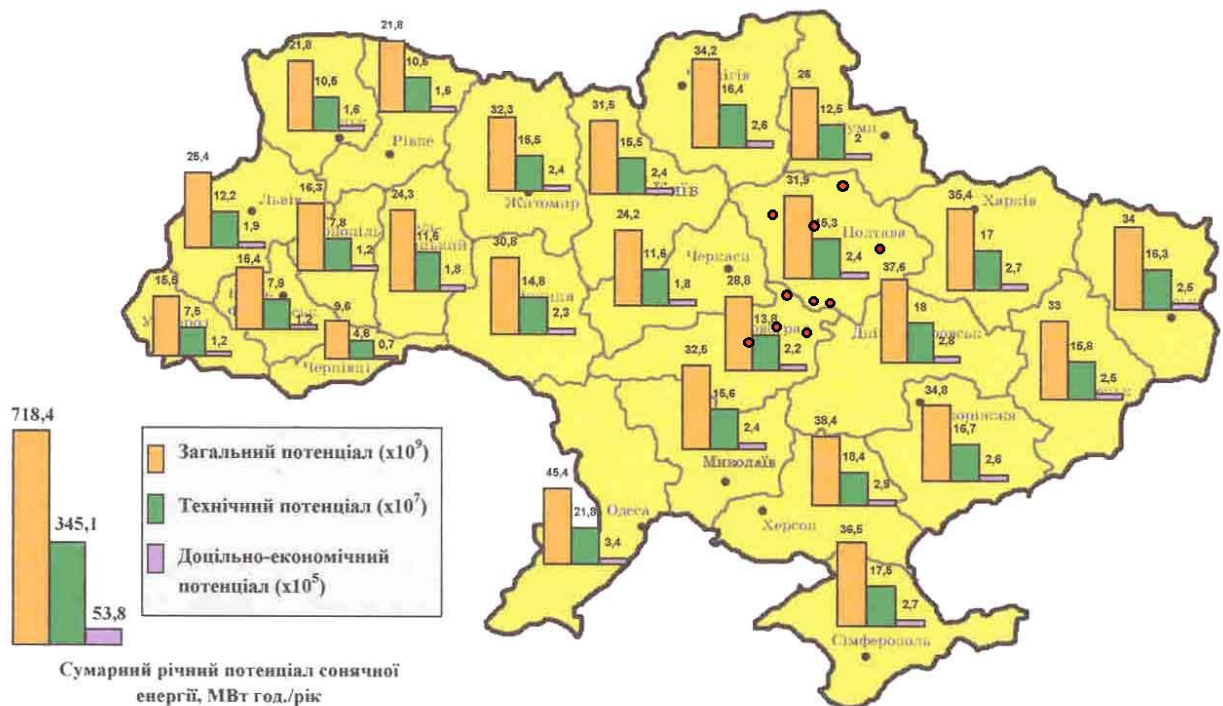


Рисунок 2.32 – Суммарный годовой потенциал солнечной энергии на территории Украины

Таблица 2.1 – Расчеты среднего значения радиации Солнца в кВт·ч/м²/день для каждого дня в году за период 2012-2017 гг.

| Месяц День | Январь | Февраль | Март | Апрель | Май | Июнь | Июль | Август | Сентябрь | Октябрь | Ноябрь | Декабрь |
|------------------|--------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|---------|
| 1 | 0,695 | 1,459 | 1,468 | 3,607 | 5,821 | 5,645 | 5,507 | 6,542 | 4,710 | 3,362 | 1,260 | 0,787 |
| 2 | 0,768 | 1,609 | 1,666 | 4,071 | 5,876 | 6,065 | 6,737 | 5,857 | 4,720 | 3,286 | 1,103 | 0,814 |
| 3 | 0,757 | 1,334 | 1,958 | 3,441 | 6,116 | 6,192 | 6,640 | 5,925 | 4,494 | 3,002 | 1,132 | 0,754 |
| 4 | 0,668 | 1,280 | 2,116 | 4,182 | 5,379 | 6,809 | 6,589 | 6,374 | 4,237 | 2,422 | 1,147 | 0,603 |
| 5 | 0,582 | 1,557 | 2,451 | 4,242 | 6,430 | 6,709 | 6,396 | 6,380 | 3,634 | 2,219 | 1,371 | 0,487 |
| 6 | 0,450 | 1,571 | 2,615 | 3,277 | 5,580 | 6,710 | 6,554 | 6,316 | 4,173 | 2,816 | 0,725 | 0,655 |
| 7 | 0,573 | 1,474 | 3,011 | 2,695 | 5,309 | 6,364 | 6,442 | 6,018 | 4,036 | 2,628 | 1,345 | 0,648 |
| 8 | 0,553 | 1,670 | 3,026 | 4,434 | 5,485 | 5,991 | 6,539 | 6,162 | 4,334 | 2,079 | 1,108 | 0,496 |
| 9 | 0,518 | 1,672 | 3,179 | 3,255 | 5,595 | 6,410 | 5,729 | 6,238 | 3,901 | 2,279 | 1,047 | 0,487 |
| 10 | 0,530 | 1,760 | 3,242 | 3,719 | 5,869 | 6,062 | 6,068 | 6,146 | 4,795 | 2,718 | 0,848 | 0,409 |
| 11 | 0,745 | 1,487 | 2,261 | 4,119 | 5,355 | 6,205 | 5,679 | 6,068 | 4,576 | 2,293 | 0,913 | 0,538 |
| 12 | 0,622 | 1,961 | 2,566 | 3,773 | 5,036 | 6,266 | 6,005 | 5,079 | 3,879 | 2,236 | 1,067 | 0,644 |
| 13 | 0,702 | 1,639 | 2,197 | 3,443 | 5,184 | 5,826 | 5,463 | 4,014 | 3,826 | 1,927 | 0,712 | 0,683 |
| 14 | 0,910 | 1,477 | 3,169 | 3,971 | 5,032 | 6,101 | 6,008 | 4,765 | 4,015 | 1,912 | 0,909 | 0,728 |
| 15 | 0,699 | 1,788 | 2,921 | 3,427 | 6,197 | 5,728 | 6,458 | 5,344 | 4,192 | 1,703 | 0,578 | 0,658 |
| 16 | 0,671 | 2,026 | 3,624 | 5,322 | 5,805 | 4,875 | 5,804 | 5,048 | 4,173 | 1,913 | 0,589 | 0,662 |
| 17 | 0,639 | 2,021 | 3,209 | 4,351 | 4,718 | 6,196 | 6,269 | 5,184 | 4,113 | 1,786 | 0,671 | 0,773 |
| 18 | 0,611 | 2,498 | 2,564 | 4,199 | 5,979 | 6,846 | 6,250 | 5,432 | 3,672 | 1,956 | 0,710 | 0,531 |
| 19 | 0,774 | 2,420 | 3,033 | 3,294 | 5,845 | 6,153 | 4,971 | 5,510 | 3,827 | 1,825 | 0,811 | 0,487 |
| 20 | 0,725 | 2,380 | 3,933 | 2,774 | 6,370 | 6,293 | 5,703 | 5,057 | 2,965 | 1,748 | 0,943 | 0,630 |
| 21 | 0,652 | 2,582 | 2,999 | 4,296 | 6,797 | 6,576 | 5,799 | 4,642 | 3,140 | 1,608 | 0,804 | 0,694 |
| 22 | 0,703 | 2,359 | 3,449 | 5,003 | 6,462 | 6,653 | 5,431 | 5,077 | 2,028 | 1,696 | 0,877 | 0,616 |
| 23 | 0,801 | 2,530 | 3,649 | 5,366 | 6,771 | 6,478 | 6,229 | 5,148 | 2,339 | 1,161 | 1,050 | 0,818 |
| 24 | 0,839 | 2,491 | 3,611 | 5,612 | 5,930 | 6,755 | 6,361 | 4,954 | 3,373 | 1,401 | 0,547 | 0,605 |
| 25 | 0,847 | 2,707 | 3,415 | 6,032 | 5,244 | 5,248 | 6,521 | 4,712 | 3,487 | 1,562 | 0,502 | 0,721 |
| 26 | 0,970 | 2,659 | 3,389 | 5,737 | 5,806 | 5,030 | 6,171 | 4,194 | 2,841 | 1,471 | 0,697 | 0,524 |
| 27 | 0,853 | 2,422 | 3,849 | 5,578 | 5,411 | 5,887 | 5,586 | 3,977 | 2,921 | 1,490 | 0,634 | 0,579 |
| 28 | 0,902 | 2,579 | 3,420 | 4,837 | 4,641 | 5,752 | 6,062 | 3,443 | 3,084 | 1,930 | 0,574 | 0,612 |
| 29 | 1,045 | 1,904 | 3,191 | 5,646 | 5,487 | 5,722 | 5,885 | 3,971 | 2,636 | 1,537 | 0,617 | 0,661 |
| 30 | 1,319 | | 3,264 | 5,857 | 5,157 | 5,969 | 5,942 | 3,703 | 2,764 | 1,455 | 1,013 | 0,718 |
| 31 | 1,140 | | 2,541 | | 5,606 | | 6,509 | 4,289 | | 1,630 | | 0,968 |
| Среднее значение | 0,75 | 1,976 | 2,935 | 4,319 | 5,687 | 6,117 | 6,074 | 5,212 | 3,696 | 2,034 | 0,877 | 0,645 |

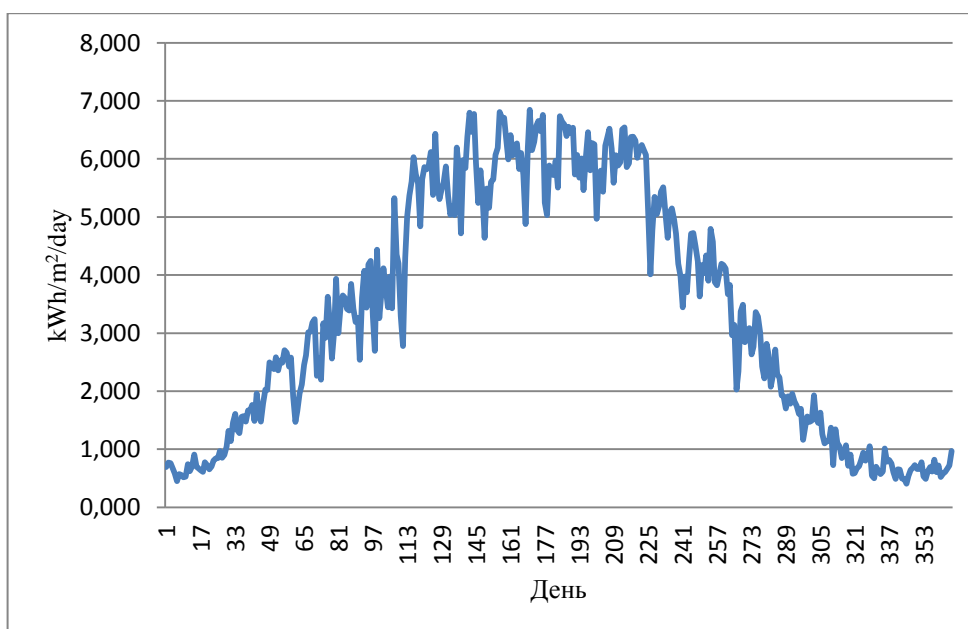


Рисунок 2.35 – Распределение среднего значения ежесуточной инсоляции в течение года на горизонтальную площадку площадью 1м²

Для удобства сравнения на рис. 2.36 приведены средние значения инсоляции по месяцам за последние 5 лет для Кировоградской и Полтавской областей и средние значения по Центральной Украине.

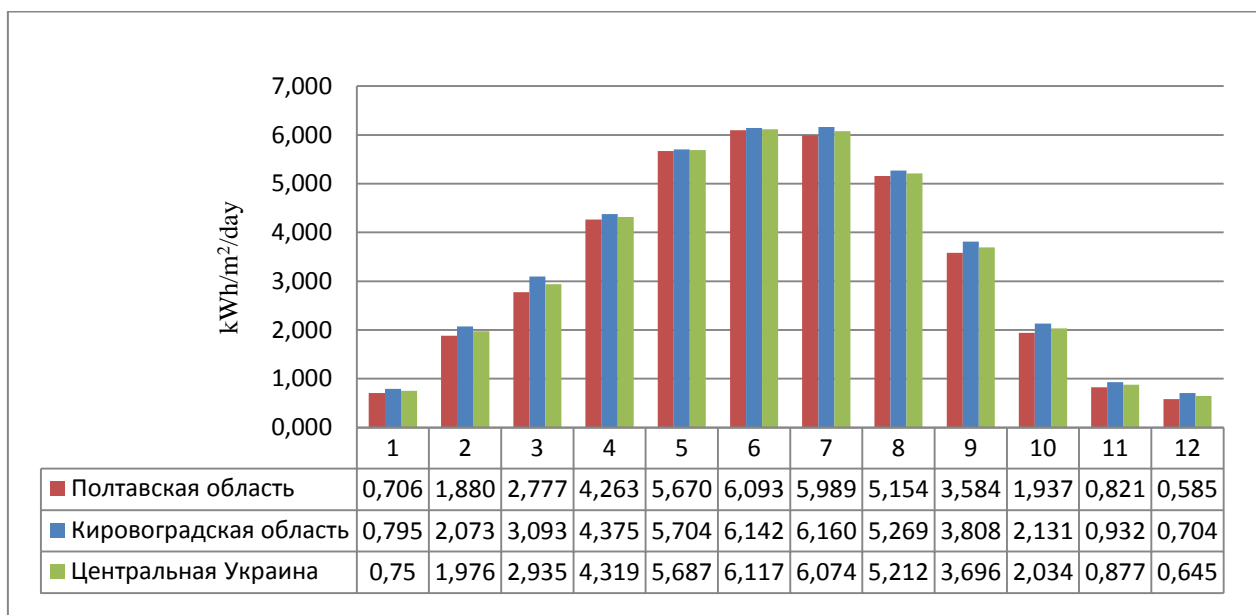


Рисунок 2.36 – Среднее значение солнечной радиации по месяцам

2.4 Оценка потенциала ветровой энергии для Полтавской и Кировоградской областей.

Данные о скоростях ветра получены с использованием данных, взятых на сайте gr5.ua [32].

Была проанализирована статистическая информация (более 14600 значений для каждого города). Полученные данные значения скоростей ветра для городов Полтавской области областного значения:

- Полтава с координатами 49°34' северной широты и 34°34' восточной долготы;
- Гадяч с координатами 50°22' северной широты и 33°59' восточной долготы;
- Горишние Плавни с координатами 49°00' северной широты и 33°39' восточной долготы;

На рисунках 2.38 и 2.39 приведены кривые распределения скорости ветра за 2012...2017 гг. на высоте флюгера (рис. 2.38) и на предполагаемой высоте установки генератора 30 м. (рис. 2.39).

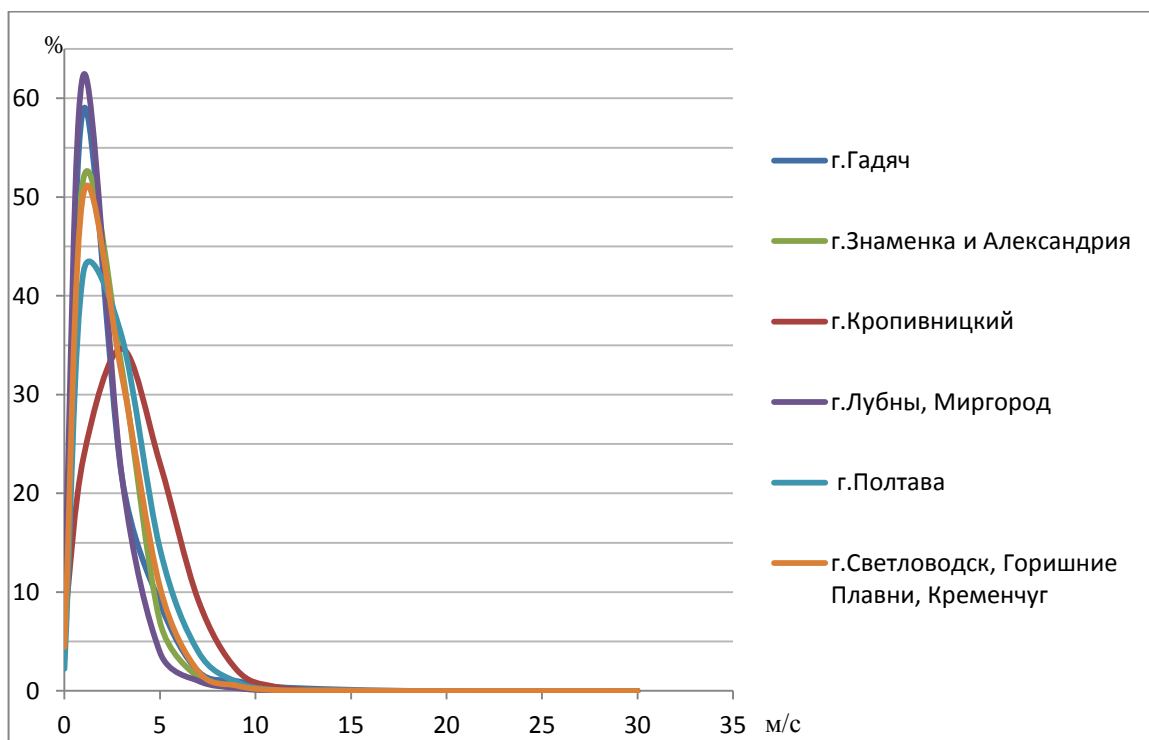


Рисунок 2.37 – Распределение скоростей ветра за 2012-2017 г. на высоте флюгера 10 м для городов Центральной Украины

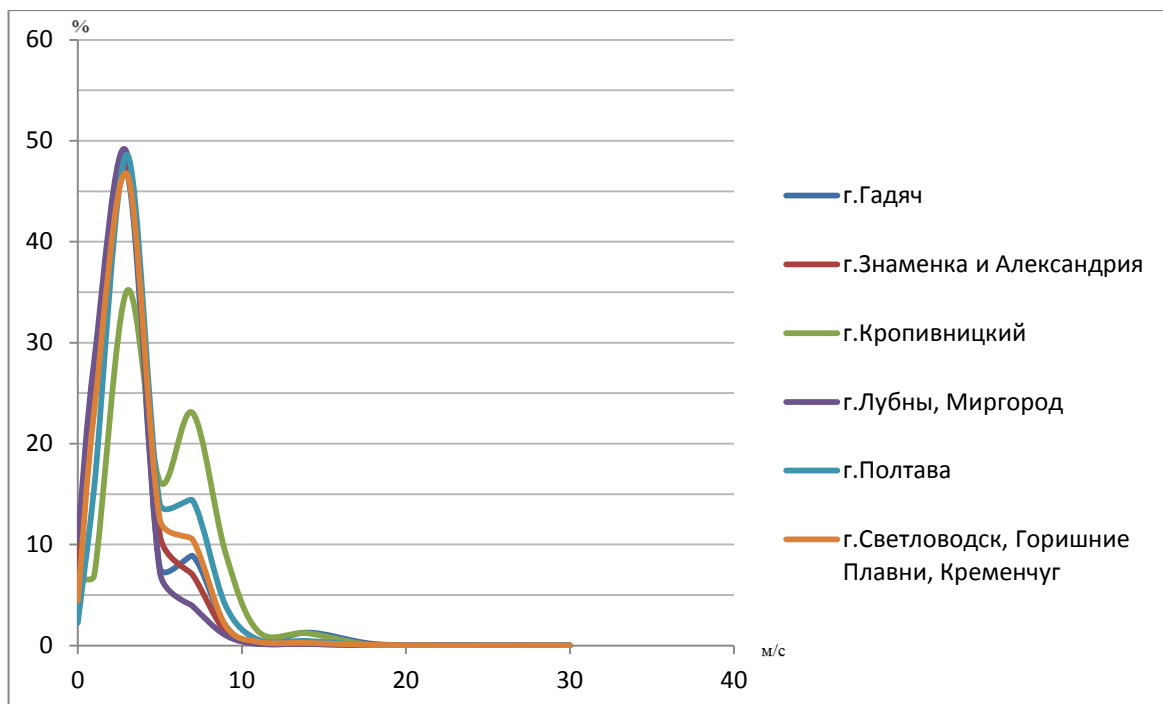
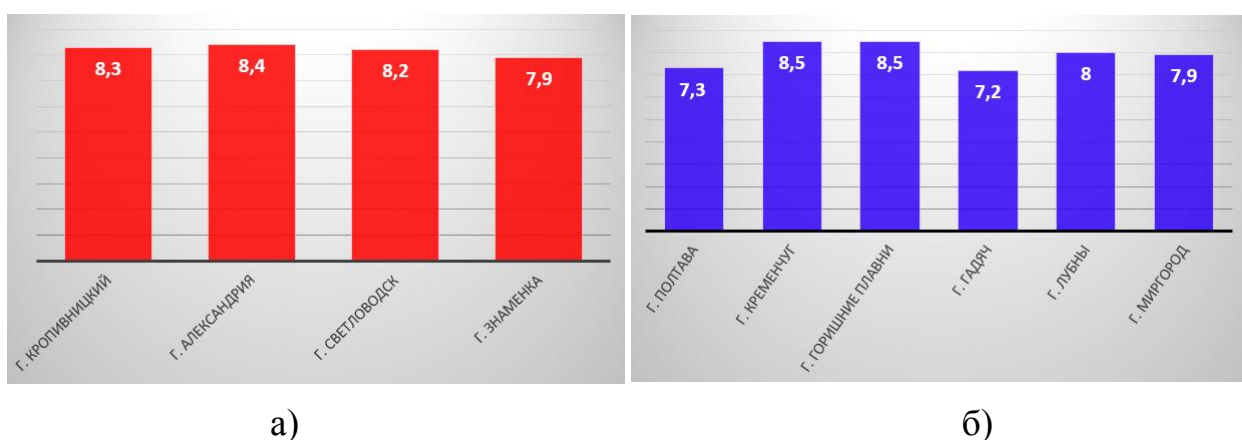


Рисунок 2.38 – Распределение скоростей ветра за 2012-2017 гг. на высоте 30 м для городов Центральной Украины

2.5 Выводы по разделу

На основании анализа погодных и климатических условий Кировоградской и Полтавской областей на основании данных метеоцентров можно отметить следующее:

1. Средняя температура воздуха (рисунок 2.39) в этих областях в среднем мало изменяется и составляет для Кировоградской области 8,2 °С, а для Полтавской – 7,9 °С. Следовательно, расчет гелиоколлекторной системы выполненный для какого-либо объекта в одной области можно проецировать и на другую область при тех же самых исходных данных объекта.



а)

б)

Рисунок 2.39 – Средняя температура воздуха за год:

а - по Кировоградской области; б – по Полтавской области

2. Анализ солнечной инсоляции для условий Кировоградской и Полтавской областей показывает, что она (инсоляция) для них практически одинаковая, следовательно решения, принятые для одной области можно реализовывать и в другой (при одинаковых равных исходных условиях. При этом необходимо делать корреляцию на число пасмурных дней.

3. Несмотря на географическую близость населенных пунктов в Кировоградской и Полтавской областях, в которых производились измерения, соотношение пасмурных, солнечных дней и дней с облачностью достаточно разное (рисунок 2.40). Следовательно для тех городов и близлежащей местности где число пасмурных дней более 50 % (г. Светловодск, г. Кропивницкий, г. Полтава) для обустройства

фотогальванических систем в составе гибридной системы лучше использовать солнечные панели на основе аморфного кремния, которые показывают хорошую эффективность при рассеянном излучении (в пасмурную погоду).



Рисунок 2.40 – Соотношение пасмурных, солнечных дней и дней с облачностью для городов:

а - Кировоградской области; б – Полтавской области

4. Анализ ветровых условий показал, что малые ветра более свойственны для городов, расположенных вдоль реки Днепр (Светловодск, Кременчуг, Горишние Плавни).

5. Для обустройства ветростанций как в составе гибридных систем так и стоящих отдельно в условиях Центральной Украины (Кировоградская и Полтавская области) необходимо применять ветроагрегаты с малой стартовой и малой номинальной скоростью ветра (как горизонтально-осевых, так и вертикально-осевых систем).

РАЗДЕЛ 3

РАСЧЕТ ГИБРИДНОЙ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ КОТТЕДЖА

3.1 Оценка энергетических потребностей объекта энергоснабжения

Рассмотрим в качестве объекта энергоснабжения коттедж [33] расположенный на территории центральной Украины. поэтажный чертеж здания приведен на рисунке 3.1. В таблице 3.1 приведены обозначения и площади помещений, расположенных на соответствующих этажах.

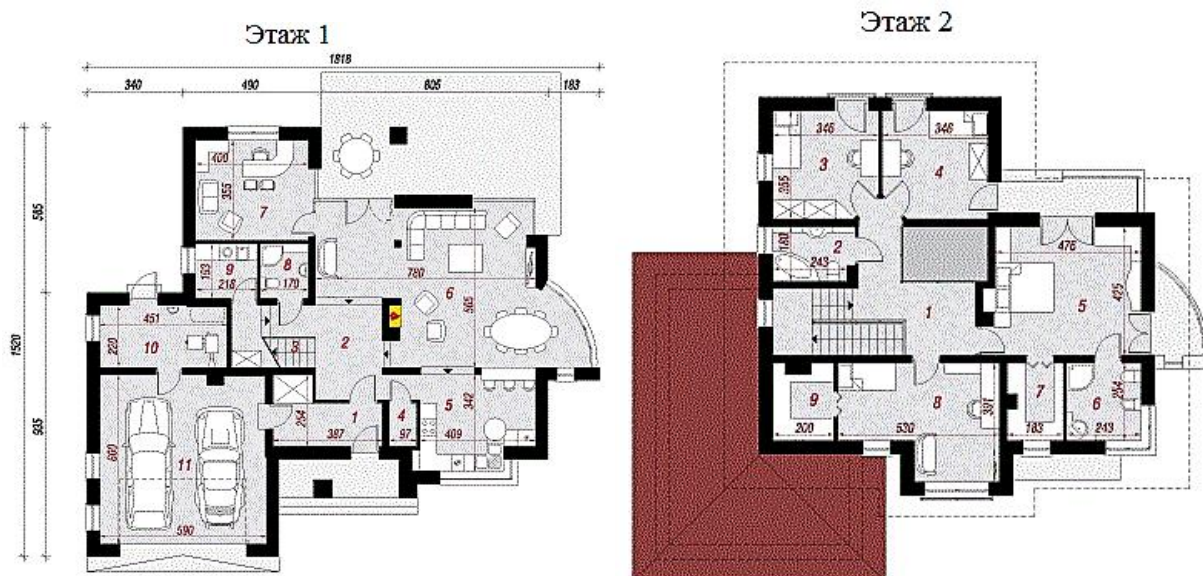


Рисунок 3.1 – Поэтажный чертеж коттеджа

Таблица 3.1 – Обозначения и площади помещений коттеджа

| 1 Этаж | | 2 Этаж | |
|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| Наименование помещения | Площадь, м ² | Наименование помещения | Площадь, м ² |
| 1 Тамбур | 7.07 | 1 Холл и лестница | 13.39 |
| 2 Холл | 11.45 | 2 Ванная | 4.54 |
| 3 Лестница | 3.19 | 3 Комната | 11.68 |
| 4 Кладовая | 1.38 | 4 Комната | 11.7 |
| 5 Кухня | 14.07 | 5 Комната | 19.4 |

Продолжение таблицы 3.1

| | | | |
|-----------------------------------|---------------|-----------------------|--------------|
| 6 гостиная + столовая | 38.11 | 6 Ванная | 5.8 |
| 7 Комната | 13.6 | 7 Гардероб | 4.3 |
| 8 Ванная | 3.14 | 8 Комната | 16.24 |
| 9 Прачечная | 4.05 | 9 Гардероб | 4.5 |
| 10 Котельная | 9.4 | | |
| 11 Хозяйственное помещение | 4.6 | | |
| Всего на этаже | 110,06 | Всего на этаже | 91,55 |

Электрические нагрузки от оборудования, находящегося в помещениях приведены в таблицах 3.2 и 3.3, здесь также указано количество оборудования, его номинальная мощность, время работы в течение дня, а также суммарное количество потребленной энергии в сутки и в месяц для летнего и осенне-весеннего периода.

Общая мощность всех электрических приборов составляет 21,992 кВт.

Расчетная мощность определяется исходя из коэффициента спроса, который для бытовых приборов составляет 0,6 [34].

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{н}} * 0,6 = 13,195 \text{ кВт}$$

Определим распределение электрических нагрузок в течение дня по соответствующим приборам. Распределение нагрузок приведено в таблице 3.3. В соответствии с данной таблицей, построены графики потребления электроэнергии для летнего и осенне-весеннего периодов, приведенные на рисунке 3.2 и 3.3.

На анализе таблицы и оценки необходимости работы электрооборудования определим перечень бытовых электрических приборов, которые необходимо эксплуатировать при отсутствии электроэнергии от основных источников. Эти данные приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.2 – Электрические нагрузки коттеджа

| № п/п | Наименование потребителя | <i>n</i> , шт | $P_{\text{ном}}$, кВт | <i>t</i> , мин/сут | Лето, кВт·ч/сут | Лето, кВт·ч/мес | Осень- зима-весна, кВт·ч/сут | Осень- зима-весна, кВт·ч/мес |
|----------|--------------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Микроволновая печь | 1 | 1,3 | 10 | 0,217 | 6,51 | 0,217 | 6,51 |
| 2 | Чайник | 1 | 1,5 | 6 | 0,15 | 4,5 | 0,15 | 4,5 |
| 3 | Холодильник | 2 | 0,35 | 180 | 2,1 | 63 | 2,1 | 63 |
| 4 | Телевизор | 1 | 0,8 | 240 | 3,2 | 96 | 3,2 | 96 |
| 5 | Компьютер | 1 | 0,5 | 120 | 1 | 30 | 1 | 30 |
| 6 | Пылесос | 1 | 1,8 | 20 | 0,6 | 18 | 0,6 | 18 |
| 7 | Кухонная вытяжка | 1 | 0,3 | 120 | 0,6 | 18 | 0,6 | 18 |
| 8 | Стиральная машина | 1 | 1,5 | 60 | 1,5 | 45 | 1,5 | 45 |
| 9 | Утюг | 1 | 1,4 | 20 | 0,467 | 14,01 | 0,467 | 14,01 |
| 10 | Фен | 1 | 2 | 20 | 0,667 | 20,01 | 0,667 | 20,01 |
| 11 | Циркуляционный насос | 1 | 0,085 | 1440 | 2,04 | 61,2 | 2,04 | 61,2 |
| 12 | Электрическая плита | 1 | 4 | 240 | 8 | 240 | 8 | 240 |
| 13 | Кондиционер | 1 | 1 | 240 | 4 | 120 | 0 | 0 |
| 14 | Плойка для завивки волос | 1 | 0,05 | 50 | 0,042 | 1,26 | 0,042 | 1,26 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|---|----|--------|------|--------|--------|--------|--------|
| 15 | Принтер | 1 | 0,045 | 20 | 0,015 | 0,45 | 0,015 | 0,45 |
| 16 | Ноутбук | 2 | 0,05 | 360 | 0,6 | 18 | 0,6 | 18 |
| 17 | Игровая приставка | 1 | 0,195 | 30 | 0,098 | 2,94 | 0,098 | 2,94 |
| 18 | Морозильная камера | 1 | 0,3 | 180 | 0,83 | 24,9 | 0,83 | 24,9 |
| 19 | Роутер Wi-Fi | 1 | 0,007 | 1140 | 0,168 | 5,04 | 0,168 | 5,04 |
| 20 | Газонокосилка | 1 | 1,5 | 30 | 0,75 | 22,5 | 0 | 0 |
| 21 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 0,01 | 240 | 0,32 | 9,6 | 0,32 | 9,6 |
| 22 | Зарядное устройство для мобильного телефона | 4 | 0,016 | 180 | 0,192 | 5,76 | 0,192 | 5,76 |
| 23 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 0,007 | 300 | 0,28 | 8,4 | 0,28 | 8,4 |
| 24 | Уличные светодиодные лампы | 6 | 0,02 | 240 | 0,48 | 14,4 | 0,48 | 14,4 |
| 25 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 0,007 | 180 | 0,168 | 5,04 | 0,168 | 5,04 |
| 26 | Электро-дрель | 1 | 0,9 | 10 | 0,15 | 4,5 | 0,15 | 4,5 |
| 27 | Блендер | 1 | 0,75 | 10 | 0,125 | 3,75 | 0,125 | 3,75 |
| 28 | Электро-мясорубка | 1 | 1,6 | 10 | 0,267 | 8,01 | 0,267 | 8,01 |
| | Σ | 29 | 21,992 | - | 29,026 | 870,78 | 24,276 | 728,28 |

Таблица 3.3 – Распределение электрических нагрузок в течение дня

| № п/п | Наименование потребителя | <i>n</i> , шт | <i>P_н</i> , Вт | Время работы | <i>t</i> , минут в день |
|-------|---|---------------|---------------------------|---|-------------------------|
| 1 | Микроволновая печь | 1 | 1300 | 06:50-06:53; 13:00-13:04; 18:30-18:33 | 10 |
| 2 | Чайник | 1 | 1500 | 06:40-06:43; 21:00-21:03 | 6 |
| 3 | Холодильник | 2 | 350 | 5 минут через каждые 40 минут | 180 |
| 4 | Телевизор | 1 | 800 | 18:00-22:00 | 240 |
| 5 | Компьютер | 1 | 500 | 14:00-16:00 | 120 |
| 6 | Пылесос | 1 | 1800 | 11:00-11:20 | 20 |
| 7 | Кухонная вытяжка | 1 | 300 | 09:00-10:00; 18:00-19:00 | 120 |
| 8 | Стиральная машина | 1 | 1500 | 11:00-12:00 | 60 |
| 9 | Утюг | 1 | 1400 | 06:30-06:40; 21:30-21:40 | 20 |
| 10 | Фен | 1 | 2000 | 06:20-06:30; 09:00-09:10 | 20 |
| 11 | Циркуляционный насос | 1 | 85 | круглосуточно | 1440 |
| 12 | Электрическая плита | 1 | 4000 | 08:00-10:00; 18:00-19:00 | 240 |
| 13 | Кондиционер | 1 | 1000 | 12:00-12:30; 13:00-13:30; 14:00-14:30; 15:00-15:30; 16:00-16:30; 18:00 | 240 |
| 14 | Плойка для завивки волос | 1 | 50 | 09:20-09:40; 18:50-19:20 | 50 |
| 15 | Принтер | 1 | 45 | 20:20-20:40 | 20 |
| 16 | Ноутбук | 2 | 50 | 15:00-21:00 | 360 |
| 17 | Игровая приставка | 1 | 195 | 17:30-18:00 | 30 |
| 18 | Морозильная камера | 1 | 300 | 5 минут через каждые 40 минут | 180 |
| 19 | Роутер Wi-Fi | 1 | 7 | круглосуточно | 1140 |
| 20 | Газонокосилка | 1 | 1500 | 30 минут на выходных | 30 |
| 21 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 10 | 18:00-22:00 | 240 |
| 22 | Зарядное устройство для мобильного телефона | 4 | 16 | 20:00-23:00 | 180 |
| 23 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 7 | 6:00-8:00; 17:00-20:00 | 300 |
| 24 | Уличные светодиодные лампы | 6 | 20 | 17:00-21:00 | 240 |
| 25 | Комнатные светодиодные лампы | 8 | 7 | 20:00-23:00 | 180 |
| 26 | Электро-дрель | 1 | 900 | 10 минут в выходной | 10 |
| 27 | Блендер | 1 | 750 | 18:20-18:30 | 10 |
| 28 | Электро-мясорубка | 1 | 1600 | 18:00-18:10 | 10 |

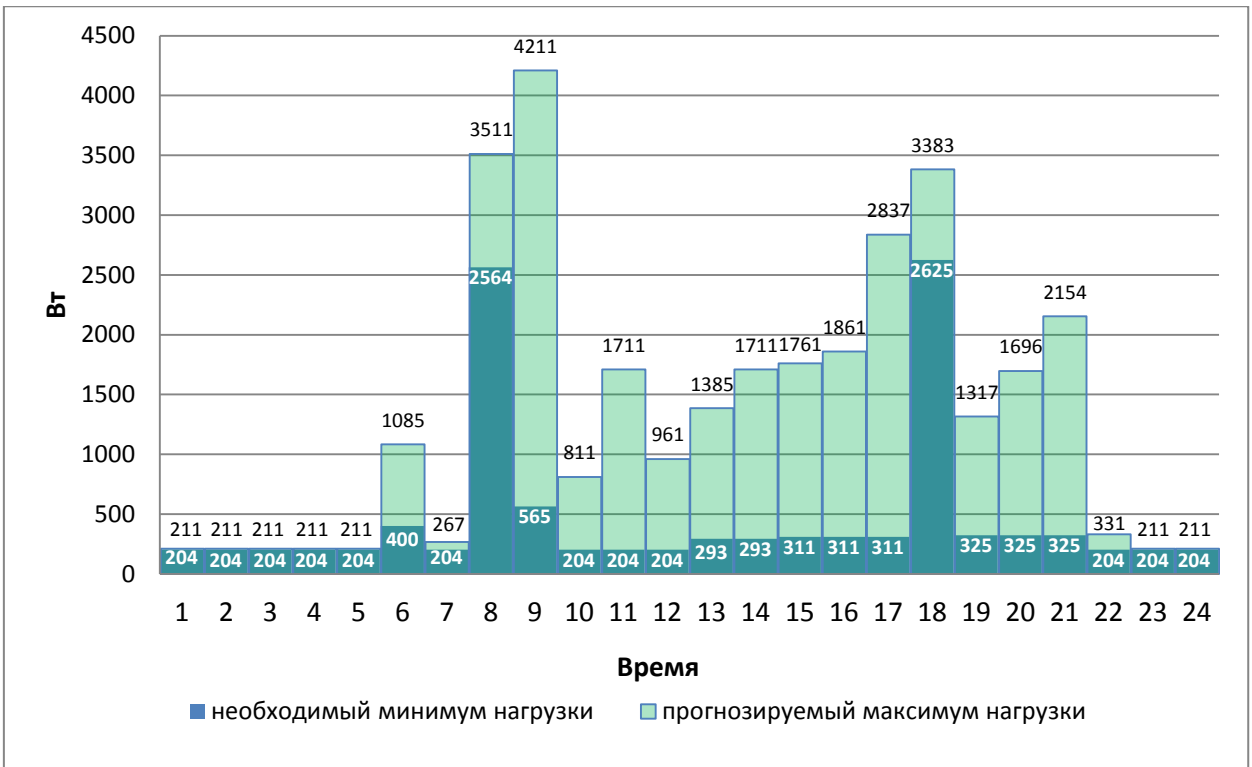


Рисунок 3.2 – Летний суточный график электрических нагрузок

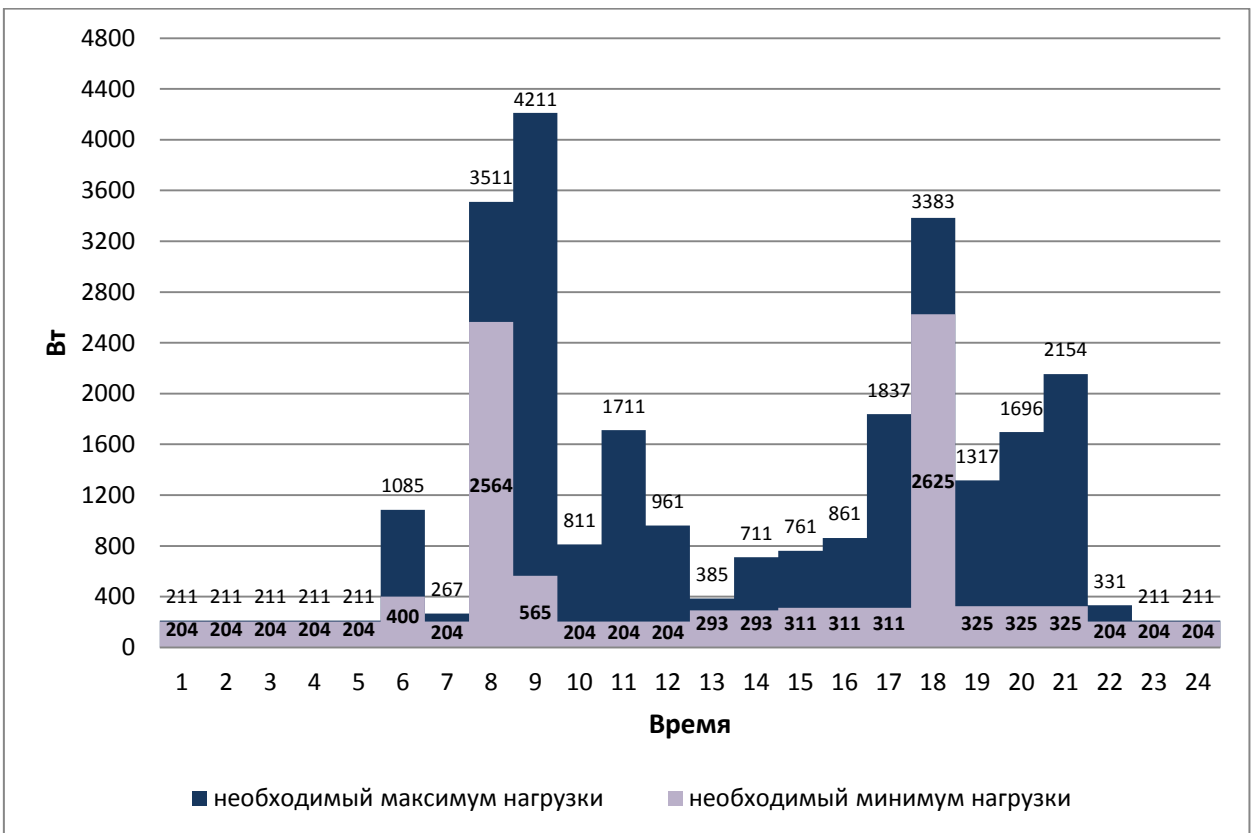


Рисунок 3.3 – Осенне-весенний суточный график электрических нагрузок

Таблица 3.4 – Перечень бытовых электрических приборов, которые необходимо эксплуатировать при отсутствии электроэнергии от основных источников

| Электрические приборы | Время включения | Потребляемая мощность, кВт |
|--|-----------------|----------------------------|
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 1 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 2 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 3 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 4 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 5 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, комнатные светодиодные лампы, микроволновая печь, чайник | 6 | 400 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, комнатные светодиодные лампы | 7 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, электрическая плита, кухонная вытяжка, комнатные светодиодные лампы | 8 | 2564 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, комнатные светодиодные лампы, фен, плойка для завивки волос | 9 | 565 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 10 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 11 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 12 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, микроволновая печь | 13 | 293 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, микроволновая печь | 14 | 293 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi | 15 | 311 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi | 16 | 311 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi | 17 | 311 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, электрическая плита, кухонная вытяжка, комнатные светодиодные лампы, ноутбук, роутер Wi-Fi | 18 | 2625 |

| | | |
|---|----|-----|
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi, комнатные светодиодные | 19 | 325 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi, комнатные светодиодные лампы | 20 | 325 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос, ноутбук, роутер Wi-Fi, комнатные светодиодные лампы | 21 | 325 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 22 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 23 | 204 |
| Холодильники, морозильная камера, циркуляционный насос | 24 | 204 |

В результате гибридная система, которая планируется быть рассчитана, должна содержать:

- солнечную компоненту, которая будет обеспечивать электроэнергией в летнее время, когда потенциал ветровой энергии в этот период времени года ниже;
- ветровую составляющую;
- дизельную составляющую, при этом дизель-генератор должен обеспечивать работу оборудования, приведенного в таблице 3.4.

3.2 Расчет фотогальванической системы

Для генерации электрической энергии применяют панели различного состава и устройства:

- на основе кремния (моно-, поликристаллические, аморфные);
- тонкопленочные (теллурид кадмия – CdTe, медь-индий (галлий)-селен Cu(InGa)Se₂ и т.д.).

Солнечные батареи (СБ) на основе кремния составляют на сегодняшний день порядка 85% всех выпускаемых солнечных панелей. Различают два основных типа кремниевых СБ – на основе монокристаллического кремния и на основе поликристаллического. Эффективность СБ изготовленных из монокристаллического кремния

составляет обычно 19...22%, однако для работы панель должна всегда быть развернута к солнцу, иначе энергоотдача резко снижается. Во втором случае для производства СБ используется более дешевый кремний произведенный по методу направленной кристаллизации в тигле. Такой метод вызывает ухудшение кристаллической структуры (дефекты), что приводит к снижению эффективности – типичные значения эффективности СБ из поликристалла составляют 14...18%.

Аморфные элементы представляют собой очень тонкие слои кремния, которые получают напылением материала в вакууме. Основой становится фольга из высококачественного металла, пластик или стекло. КПД таких устройств невелик и составляет всего 6%. Особенностью такого вида панелей является то, что происходит существенное повышение эффективности устройств в пасмурную погоду и при рассеянном свете за счет хаотично ориентированных светочувствительных ячеек.

Основным недостатком СЭ на основе кристаллического кремния является их высокая стоимость, так как 50% от общей стоимости данных элементов составляет стоимость Si-подложки [34].

Для правильного и оптимального использования энергии солнца необходимо учитывать факторы, влияющие на изменение значения полученной энергии. Существуют методики приближенного расчета данной энергии, но чем больше количество факторов учитывается при расчете, тем больше будет эффективность и экономичность солнечной электростанции. Одним из важных факторов, который существенно влияет на значение полученной энергии, является температура солнечного модуля. В расчетах влияние данного фактора учитывается с помощью температурного коэффициента. В некоторых случаях тепловой коэффициент солнечных панелей может снизить производство электроэнергии от 10 до 25% в зависимости от конкретного места.

Для предотвращения снижения эффективности или отказов в работе оборудования солнечной электростанции, при производстве расчетов

параметров подключаемой отдельной или нескольких последовательно соединенных солнечных батарей, необходимо учитывать самые неблагоприятные температурные режимы работы. Значение коэффициента полезного действия солнечного модуля указан для испытаний при температуре 25°C.

Некоторые солнечные панели реагируют на изменения температуры лучше, чем другие. Температура панели влияет на максимальную выходную мощность. В то время как произведенный ток увеличивается экспоненциально при повышении температуры панели, выходное напряжение уменьшается линейно. Так как мощность равна произведению напряжения на ток, это свойство означает, что нагретые солнечные панели могут производить меньше энергии. Потери мощности в зависимости от температуры также зависят от типа используемой солнечной панели. Как правило, солнечные батареи на основе монокристаллических и поликристаллических солнечных элементов имеют температурный коэффициент в диапазоне от -0,44% до -0,50%.

Для расчета энергии были выбраны из каталога два типа солнечных панелей, ALM-250MB – монокристаллический солнечный модуль и KDM KD 260p – поликристаллический модуль с параметрами указанными в таблице 3.5 [35].

Таблица 3.5 – Параметры солнечных модулей

| № п/п | Параметр | Модуль KDM KD 260p | Модуль ALM-250MB |
|-------|-----------------------------------|--------------------|------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Технология | Поликристалл | Монокристалл |
| 2 | Номинальная мощность, $P_{ном}$ | 260 Вт | 250 Вт |
| 3 | Номинальное напряжение, $U_{ном}$ | 37,98 В | 30,5 В |
| 4 | Номинальный ток, $I_{ном}$ | 8,5 А | 8,2 А |

Продолжение таблицы 3.5

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| 5 | Температурный коэффициент, K_t | -0,408%/°C | -0,34%/°C |
| 5 | КПД, $\eta_{ном}$ | 15,88% | 16% |
| 6 | Площадь, S | 1,626 м ² | 1,636 м ² |
| 7 | Цена | 3878 грн | 5020 грн |

Методика расчета среднего фактического значения энергии, вырабатываемой каждым днем выбранной панелью, приведена ниже.

Согласно базе данных NASA рассчитано среднее значение температуры $t_{ср}$, °C для каждого дня.

Отклонение значение температуры каждого дня от значения температуры при нормальных условиях определяется по формуле:

$$t_{раз} = t_0 - t_{ср}, °C$$

Согласно данным базы данных NASA находим среднее значение радиации $E_{ср}$, $\frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{м}^2 \cdot \text{день}}$ для выбранного дня.

Затем определяю значение поступающей энергии при данном отклонении температуры по формуле:

$$E_{пад} = t_{раз} \cdot K_t, \%$$

После этого определяем долю в % отношении от номинального ККД при значении $E_{пад}$:

$$\eta_{доля} = \frac{\eta_{ном} \cdot E_{пад}}{100}, \%$$

Находим КПД при данной температуре:

$$\eta_{\text{рас}} = \eta_{\text{ном}} + \eta_{\text{доля}}, \%$$

Определяем фактическое значение полученной энергии для каждого дня с учетом отклонения температуры по формуле:

$$E_{\text{мод}} = \frac{\eta_{\text{рас}} \cdot E_{\text{ср}}}{100}, \frac{\text{кВт} \cdot \frac{\text{час}}{\text{м}^2}}{\text{день}}$$

По данной методике были рассчитаны средние значения фактической энергии, вырабатываемой выбранными солнечными модулями в течении астрономического года в программе Excel, и сведены в таблицу 3.6.

По рассчитанным данным построены график распределения среднего значения фактической энергии для каждого из 365 дней астрономического года, рисунок 3.4.

На основании выполненных расчетов видно, что применение солнечных панелей на основе моно- и поликристала дает одинаковый результат по выработке количества электрической энергии, следовательно, для данной системы, которая рассчитывается предлагаю использовать поликристаллическую, поскольку она имеет более низкую стоимость.

3.2 Определение количества солнечных панелей

Характер изменения значений солнечной инсоляции, дает возможность прогнозирования и дальнейшей оценки поступления солнечной энергии на поверхность Земли.

Изменение поступающей энергии в течение года колеблется от 0.486 до 6.809 кВт·ч/м² в сутки, при этом фактическая энергия получаемая с помощью фотоэлектрических преобразователей изменяется в течение года в пределах от 0.08 до 1.1 кВт·ч/м² в сутки.

Таблица 3.6 – Расчет среднего значения фактической энергии для каждого из дней года

| День | Месяц | $t_{ср}, ^\circ\text{C}$ | $t_{раз}, ^\circ\text{C}$ | $E_{ср}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{день}}$ | ALM-250MB | | | | KDM KD 260p | | | |
|------|--------|--------------------------|---------------------------|---|---------------|-------------------|------------------|--|---------------|-------------------|------------------|--|
| | | | | | $E_{пад}, \%$ | $\eta_{доля}, \%$ | $\eta_{рас}, \%$ | $E_{мод}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{день}}$ | $E_{пад}, \%$ | $\eta_{доля}, \%$ | $\eta_{рас}, \%$ | $E_{мод}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{час}}{\text{день}}$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 1 | Январь | -5,33 | 30,33 | 0,695 | -10,3122 | -1,64995 | 17,64995 | 0,122667 | -12,3746 | -1,96509 | 17,84509 | 0,124023 |
| 2 | | -4,075 | 29,075 | 0,768 | -9,8855 | -1,58168 | 17,58168 | 0,135027 | -11,8626 | -1,88378 | 17,76378 | 0,136426 |
| 3 | | -3,795 | 28,795 | 0,757 | -9,7903 | -1,56645 | 17,56645 | 0,132978 | -11,7484 | -1,86564 | 17,74564 | 0,134334 |
| 4 | | -3,927 | 28,927 | 0,668 | -9,83518 | -1,57363 | 17,57363 | 0,117392 | -11,8022 | -1,87419 | 17,75419 | 0,118598 |
| 5 | | -3,453 | 28,453 | 0,582 | -9,67402 | -1,54784 | 17,54784 | 0,102128 | -11,6088 | -1,84348 | 17,72348 | 0,103151 |
| 6 | | -5,032 | 30,032 | 0,45 | -10,2109 | -1,63374 | 17,63374 | 0,079352 | -12,2531 | -1,94579 | 17,82579 | 0,080216 |
| 7 | | -7,344 | 32,344 | 0,573 | -10,997 | -1,75951 | 17,75951 | 0,101762 | -13,1964 | -2,09558 | 17,97558 | 0,103 |
| 8 | | -6,903 | 31,903 | 0,553 | -10,847 | -1,73552 | 17,73552 | 0,098077 | -13,0164 | -2,06701 | 17,94701 | 0,099247 |
| 9 | | -6,223 | 31,223 | 0,518 | -10,6158 | -1,69853 | 17,69853 | 0,091678 | -12,739 | -2,02295 | 17,90295 | 0,092737 |
| 10 | | -4,66 | 29,66 | 0,53 | -10,0844 | -1,6135 | 17,6135 | 0,093352 | -12,1013 | -1,92168 | 17,80168 | 0,094349 |
| 11 | | -3,103 | 28,103 | 0,745 | -9,55502 | -1,5288 | 17,5288 | 0,13059 | -11,466 | -1,8208 | 17,7008 | 0,131871 |
| 12 | | -2,786 | 27,786 | 0,622 | -9,44724 | -1,51156 | 17,51156 | 0,108922 | -11,3367 | -1,80027 | 17,68027 | 0,109971 |
| 13 | | -3,395 | 28,395 | 0,702 | -9,6543 | -1,54469 | 17,54469 | 0,123164 | -11,5852 | -1,83972 | 17,71972 | 0,124392 |
| 14 | | -4,658 | 29,658 | 0,91 | -10,0837 | -1,6134 | 17,6134 | 0,160282 | -12,1005 | -1,92155 | 17,80155 | 0,161994 |
| 15 | | -4,318 | 29,318 | 0,699 | -9,96812 | -1,5949 | 17,5949 | 0,122988 | -11,9617 | -1,89952 | 17,77952 | 0,124279 |
| 16 | | -3,29 | 28,29 | 0,671 | -9,6186 | -1,53898 | 17,53898 | 0,117687 | -11,5423 | -1,83292 | 17,71292 | 0,118854 |
| 17 | | -4,872 | 29,872 | 0,639 | -10,1565 | -1,62504 | 17,62504 | 0,112624 | -12,1878 | -1,93542 | 17,81542 | 0,113841 |
| 18 | | -4,668 | 29,668 | 0,611 | -10,0871 | -1,61394 | 17,61394 | 0,107621 | -12,1045 | -1,9222 | 17,8022 | 0,108771 |
| 19 | | -6,343 | 31,343 | 0,774 | -10,6566 | -1,70506 | 17,70506 | 0,137037 | -12,7879 | -2,03073 | 17,91073 | 0,138629 |
| 20 | | -5,866 | 30,866 | 0,725 | -10,4944 | -1,67911 | 17,67911 | 0,128174 | -12,5933 | -1,99982 | 17,87982 | 0,129629 |
| 21 | | -4,634 | 29,634 | 0,652 | -10,0756 | -1,61209 | 17,61209 | 0,114831 | -12,0907 | -1,92 | 17,8 | 0,116056 |
| 22 | | -5,632 | 30,632 | 0,703 | -10,4149 | -1,66638 | 17,66638 | 0,124195 | -12,4979 | -1,98466 | 17,86466 | 0,125589 |
| 23 | | -7,053 | 32,053 | 0,801 | -10,898 | -1,74368 | 17,74368 | 0,142127 | -13,0776 | -2,07673 | 17,95673 | 0,143833 |
| 24 | | -9,033 | 34,033 | 0,839 | -11,5712 | -1,8514 | 17,8514 | 0,149773 | -13,8855 | -2,20501 | 18,08501 | 0,151733 |
| 25 | | -10,811 | 35,811 | 0,847 | -12,1757 | -1,94812 | 17,94812 | 0,152021 | -14,6109 | -2,32021 | 18,20021 | 0,154156 |
| 26 | | -11,781 | 36,781 | 0,97 | -12,5055 | -2,00089 | 18,00089 | 0,174609 | -15,0066 | -2,38306 | 18,26306 | 0,177152 |
| 27 | | -10,025 | 35,025 | 0,853 | -11,9085 | -1,90536 | 17,90536 | 0,152733 | -14,2902 | -2,26928 | 18,14928 | 0,154813 |
| 28 | | -8,064 | 33,064 | 0,902 | -11,2418 | -1,79868 | 17,79868 | 0,160544 | -13,4901 | -2,14223 | 18,02223 | 0,162561 |
| 29 | | -8,567 | 33,567 | 1,045 | -11,4128 | -1,82604 | 17,82604 | 0,186282 | -13,6953 | -2,17482 | 18,05482 | 0,188673 |
| 30 | | -10,806 | 35,806 | 1,319 | -12,174 | -1,94785 | 17,94785 | 0,236732 | -14,6088 | -2,31989 | 18,19989 | 0,240056 |
| 31 | | -10,076 | 35,076 | 1,14 | -11,9258 | -1,90813 | 17,90813 | 0,204153 | -14,311 | -2,27259 | 18,15259 | 0,20694 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|---------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Февраль | -9,64 | 34,64 | 1,459 | -11,7776 | -1,88442 | 17,88442 | 0,260934 | -14,1331 | -2,24434 | 18,12434 | 0,264434 |
| 2 | | -8,473 | 33,473 | 1,609 | -11,3808 | -1,82093 | 17,82093 | 0,286739 | -13,657 | -2,16873 | 18,04873 | 0,290404 |
| 3 | | -6,734 | 31,734 | 1,334 | -10,7896 | -1,72633 | 17,72633 | 0,236469 | -12,9475 | -2,05606 | 17,93606 | 0,239267 |
| 4 | | -5,034 | 30,034 | 1,28 | -10,2116 | -1,63385 | 17,63385 | 0,225713 | -12,2539 | -1,94591 | 17,82591 | 0,228172 |
| 5 | | -5,759 | 30,759 | 1,557 | -10,4581 | -1,67329 | 17,67329 | 0,275173 | -12,5497 | -1,99289 | 17,87289 | 0,278281 |
| 6 | | -7,214 | 32,214 | 1,571 | -10,9528 | -1,75244 | 17,75244 | 0,278891 | -13,1433 | -2,08716 | 17,96716 | 0,282264 |
| 7 | | -8,216 | 33,216 | 1,474 | -11,2934 | -1,80695 | 17,80695 | 0,262474 | -13,5521 | -2,15208 | 18,03208 | 0,265793 |
| 8 | | -7,324 | 32,324 | 1,67 | -10,9902 | -1,75843 | 17,75843 | 0,296566 | -13,1882 | -2,09428 | 17,97428 | 0,300171 |
| 9 | | -7,593 | 32,593 | 1,672 | -11,0816 | -1,77306 | 17,77306 | 0,297166 | -13,2979 | -2,11171 | 17,99171 | 0,300821 |
| 10 | | -6,336 | 31,336 | 1,76 | -10,6542 | -1,70468 | 17,70468 | 0,311602 | -12,7851 | -2,03027 | 17,91027 | 0,315221 |
| 11 | | -5,532 | 30,532 | 1,487 | -10,3809 | -1,66094 | 17,66094 | 0,262618 | -12,4571 | -1,97818 | 17,85818 | 0,265551 |
| 12 | | -5,37 | 30,37 | 1,961 | -10,3258 | -1,65213 | 17,65213 | 0,346158 | -12,391 | -1,96768 | 17,84768 | 0,349993 |
| 13 | | -4,354 | 29,354 | 1,639 | -9,98036 | -1,59686 | 17,59686 | 0,288412 | -11,9764 | -1,90186 | 17,78186 | 0,291445 |
| 14 | | -3,013 | 28,013 | 1,477 | -9,52442 | -1,52391 | 17,52391 | 0,258828 | -11,4293 | -1,81497 | 17,69497 | 0,261355 |
| 15 | | -2,838 | 27,838 | 1,788 | -9,46492 | -1,51439 | 17,51439 | 0,313157 | -11,3579 | -1,80364 | 17,68364 | 0,316183 |
| 16 | | -3,969 | 28,969 | 2,026 | -9,84946 | -1,57591 | 17,57591 | 0,356088 | -11,8194 | -1,87691 | 17,75691 | 0,359755 |
| 17 | | -4,794 | 29,794 | 2,021 | -10,13 | -1,62079 | 17,62079 | 0,356116 | -12,156 | -1,93037 | 17,81037 | 0,359947 |
| 18 | | -4,891 | 29,891 | 2,498 | -10,1629 | -1,62607 | 17,62607 | 0,440299 | -12,1955 | -1,93665 | 17,81665 | 0,44506 |
| 19 | | -4,142 | 29,142 | 2,42 | -9,90828 | -1,58532 | 17,58532 | 0,425565 | -11,8899 | -1,88812 | 17,76812 | 0,429989 |
| 20 | | -2,469 | 27,469 | 2,38 | -9,33946 | -1,49431 | 17,49431 | 0,416365 | -11,2074 | -1,77973 | 17,65973 | 0,420302 |
| 21 | | -1,054 | 26,054 | 2,582 | -8,85836 | -1,41734 | 17,41734 | 0,449716 | -10,63 | -1,68805 | 17,56805 | 0,453607 |
| 22 | | -0,527 | 25,527 | 2,359 | -8,67918 | -1,38867 | 17,38867 | 0,410199 | -10,415 | -1,6539 | 17,5339 | 0,413625 |
| 23 | | -0,147 | 25,147 | 2,53 | -8,54998 | -1,368 | 17,368 | 0,43941 | -10,26 | -1,62928 | 17,50928 | 0,442985 |
| 24 | | 0,216 | 24,784 | 2,491 | -8,42656 | -1,34825 | 17,34825 | 0,432145 | -10,1119 | -1,60577 | 17,48577 | 0,43557 |
| 25 | | -0,337 | 25,337 | 2,707 | -8,61458 | -1,37833 | 17,37833 | 0,470431 | -10,3375 | -1,64159 | 17,52159 | 0,47431 |
| 26 | | -0,697 | 25,697 | 2,659 | -8,73698 | -1,39792 | 17,39792 | 0,462611 | -10,4844 | -1,66492 | 17,54492 | 0,466519 |
| 27 | | 0,215 | 24,785 | 2,422 | -8,4269 | -1,3483 | 17,3483 | 0,420176 | -10,1123 | -1,60583 | 17,48583 | 0,423507 |
| 28 | | 0,275 | 24,725 | 2,579 | -8,4065 | -1,34504 | 17,34504 | 0,447329 | -10,0878 | -1,60194 | 17,48194 | 0,450859 |
| 29 | | 0,921 | 24,079 | 1,904 | -8,18686 | -1,3099 | 17,3099 | 0,32958 | -9,82423 | -1,56009 | 17,44009 | 0,332059 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|------|-------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Март | 0,923 | 24,077 | 1,468 | -8,18618 | -1,30979 | 17,30979 | 0,254108 | -9,82342 | -1,55996 | 17,43996 | 0,256019 |
| 2 | | 1,322 | 23,678 | 1,666 | -8,05052 | -1,28808 | 17,28808 | 0,288019 | -9,66062 | -1,53411 | 17,41411 | 0,290119 |
| 3 | | 1,193 | 23,807 | 1,958 | -8,09438 | -1,2951 | 17,2951 | 0,338638 | -9,71326 | -1,54247 | 17,42247 | 0,341132 |
| 4 | | 0,839 | 24,161 | 2,116 | -8,21474 | -1,31436 | 17,31436 | 0,366372 | -9,85769 | -1,5654 | 17,4454 | 0,369145 |
| 5 | | 1,166 | 23,834 | 2,451 | -8,10356 | -1,29657 | 17,29657 | 0,423939 | -9,72427 | -1,54421 | 17,42421 | 0,427067 |
| 6 | | 1,389 | 23,611 | 2,615 | -8,02774 | -1,28444 | 17,28444 | 0,451988 | -9,63329 | -1,52977 | 17,40977 | 0,455265 |
| 7 | | 1,174 | 23,826 | 3,011 | -8,10084 | -1,29613 | 17,29613 | 0,520787 | -9,72101 | -1,5437 | 17,4237 | 0,524627 |
| 8 | | 1,307 | 23,693 | 3,026 | -8,05562 | -1,2889 | 17,2889 | 0,523162 | -9,66674 | -1,53508 | 17,41508 | 0,52698 |
| 9 | | 2,098 | 22,902 | 3,179 | -7,78668 | -1,24587 | 17,24587 | 0,548246 | -9,34402 | -1,48383 | 17,36383 | 0,551996 |
| 10 | | 2,249 | 22,751 | 3,242 | -7,73534 | -1,23765 | 17,23765 | 0,558845 | -9,28241 | -1,47405 | 17,35405 | 0,562618 |
| 11 | | 1,949 | 23,051 | 2,261 | -7,83734 | -1,25397 | 17,25397 | 0,390112 | -9,40481 | -1,49348 | 17,37348 | 0,392814 |
| 12 | | 2,199 | 22,801 | 2,566 | -7,75234 | -1,24037 | 17,24037 | 0,442388 | -9,30281 | -1,47729 | 17,35729 | 0,445388 |
| 13 | | 3,917 | 21,083 | 2,197 | -7,16822 | -1,14692 | 17,14692 | 0,376718 | -8,60186 | -1,36598 | 17,24598 | 0,378894 |
| 14 | | 4,281 | 20,719 | 3,169 | -7,04446 | -1,12711 | 17,12711 | 0,542758 | -8,45335 | -1,34239 | 17,22239 | 0,545778 |
| 15 | | 1,128 | 23,872 | 2,921 | -8,11648 | -1,29864 | 17,29864 | 0,505293 | -9,73978 | -1,54668 | 17,42668 | 0,509033 |
| 16 | | 0,565 | 24,435 | 3,624 | -8,3079 | -1,32926 | 17,32926 | 0,628013 | -9,96948 | -1,58315 | 17,46315 | 0,632865 |
| 17 | | 2,07 | 22,93 | 3,209 | -7,7962 | -1,24739 | 17,24739 | 0,553469 | -9,35544 | -1,48564 | 17,36564 | 0,557264 |
| 18 | | 4,509 | 20,491 | 2,564 | -6,96694 | -1,11471 | 17,11471 | 0,438821 | -8,36033 | -1,32762 | 17,20762 | 0,441203 |
| 19 | | 4,027 | 20,973 | 3,033 | -7,13082 | -1,14093 | 17,14093 | 0,519884 | -8,55698 | -1,35885 | 17,23885 | 0,522854 |
| 20 | | 3,622 | 21,378 | 3,933 | -7,26852 | -1,16296 | 17,16296 | 0,675019 | -8,72222 | -1,38509 | 17,26509 | 0,679036 |
| 21 | | 4,962 | 20,038 | 2,999 | -6,81292 | -1,09007 | 17,09007 | 0,512531 | -8,1755 | -1,29827 | 17,17827 | 0,515176 |
| 22 | | 3,364 | 21,636 | 3,449 | -7,35624 | -1,177 | 17,177 | 0,592435 | -8,82749 | -1,40181 | 17,28181 | 0,596049 |
| 23 | | 3,702 | 21,298 | 3,649 | -7,24132 | -1,15861 | 17,15861 | 0,626118 | -8,68958 | -1,37991 | 17,25991 | 0,629814 |
| 24 | | 3,289 | 21,711 | 3,611 | -7,38174 | -1,18108 | 17,18108 | 0,620409 | -8,85809 | -1,40666 | 17,28666 | 0,624221 |
| 25 | | 3,369 | 21,631 | 3,415 | -7,35454 | -1,17673 | 17,17673 | 0,586585 | -8,82545 | -1,40148 | 17,28148 | 0,590163 |
| 26 | | 3,209 | 21,791 | 3,389 | -7,40894 | -1,18543 | 17,18543 | 0,582414 | -8,89073 | -1,41185 | 17,29185 | 0,586021 |
| 27 | | 3,287 | 21,713 | 3,849 | -7,38242 | -1,18119 | 17,18119 | 0,661304 | -8,8589 | -1,40679 | 17,28679 | 0,665369 |
| 28 | | 2,228 | 22,772 | 3,42 | -7,74248 | -1,2388 | 17,2388 | 0,589567 | -9,29098 | -1,47541 | 17,35541 | 0,593555 |
| 29 | | 3,821 | 21,179 | 3,191 | -7,20086 | -1,15214 | 17,15214 | 0,547325 | -8,64103 | -1,3722 | 17,2522 | 0,550518 |
| 30 | | 5,183 | 19,817 | 3,264 | -6,73778 | -1,07804 | 17,07804 | 0,557427 | -8,08534 | -1,28395 | 17,16395 | 0,560231 |
| 31 | | 5,939 | 19,061 | 2,541 | -6,48074 | -1,03692 | 17,03692 | 0,432908 | -7,77689 | -1,23497 | 17,11497 | 0,434891 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|--------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Апрель | 5,68 | 19,32 | 3,607 | -6,5688 | -1,05101 | 17,05101 | 0,61503 | -7,88256 | -1,25175 | 17,13175 | 0,617942 |
| 2 | | 5,127 | 19,873 | 4,071 | -6,75682 | -1,08109 | 17,08109 | 0,695371 | -8,10818 | -1,28758 | 17,16758 | 0,698892 |
| 3 | | 6,888 | 18,112 | 3,441 | -6,15808 | -0,98529 | 16,98529 | 0,584464 | -7,3897 | -1,17348 | 17,05348 | 0,58681 |
| 4 | | 7,269 | 17,731 | 4,182 | -6,02854 | -0,96457 | 16,96457 | 0,709458 | -7,23425 | -1,1488 | 17,0288 | 0,712144 |
| 5 | | 8,109 | 16,891 | 4,242 | -5,74294 | -0,91887 | 16,91887 | 0,717698 | -6,89153 | -1,09437 | 16,97437 | 0,720053 |
| 6 | | 7,273 | 17,727 | 3,277 | -6,02718 | -0,96435 | 16,96435 | 0,555922 | -7,23262 | -1,14854 | 17,02854 | 0,558025 |
| 7 | | 8,151 | 16,849 | 2,695 | -5,72866 | -0,91659 | 16,91659 | 0,455902 | -6,87439 | -1,09165 | 16,97165 | 0,457386 |
| 8 | | 9,406 | 15,594 | 4,434 | -5,30196 | -0,84831 | 16,84831 | 0,747054 | -6,36235 | -1,01034 | 16,89034 | 0,748918 |
| 9 | | 8,531 | 16,469 | 3,255 | -5,59946 | -0,89591 | 16,89591 | 0,549962 | -6,71935 | -1,06703 | 16,94703 | 0,551626 |
| 10 | | 8,596 | 16,404 | 3,719 | -5,57736 | -0,89238 | 16,89238 | 0,628228 | -6,69283 | -1,06282 | 16,94282 | 0,630104 |
| 11 | | 9,185 | 15,815 | 4,119 | -5,3771 | -0,86034 | 16,86034 | 0,694477 | -6,45252 | -1,02466 | 16,90466 | 0,696303 |
| 12 | | 9,605 | 15,395 | 3,773 | -5,2343 | -0,83749 | 16,83749 | 0,635278 | -6,28116 | -0,99745 | 16,87745 | 0,636786 |
| 13 | | 9,634 | 15,366 | 3,443 | -5,22444 | -0,83591 | 16,83591 | 0,57966 | -6,26933 | -0,99557 | 16,87557 | 0,581026 |
| 14 | | 10,002 | 14,998 | 3,971 | -5,09932 | -0,81589 | 16,81589 | 0,667759 | -6,11918 | -0,97173 | 16,85173 | 0,669182 |
| 15 | | 10,871 | 14,129 | 3,427 | -4,80386 | -0,76862 | 16,76862 | 0,574661 | -5,76463 | -0,91542 | 16,79542 | 0,575579 |
| 16 | | 10,572 | 14,428 | 5,322 | -4,90552 | -0,78488 | 16,78488 | 0,893291 | -5,88662 | -0,9348 | 16,8148 | 0,894883 |
| 17 | | 11,058 | 13,942 | 4,351 | -4,74028 | -0,75844 | 16,75844 | 0,72916 | -5,68834 | -0,90331 | 16,78331 | 0,730242 |
| 18 | | 11,212 | 13,788 | 4,199 | -4,68792 | -0,75007 | 16,75007 | 0,703335 | -5,6255 | -0,89333 | 16,77333 | 0,704312 |
| 19 | | 10,075 | 14,925 | 3,294 | -5,0745 | -0,81192 | 16,81192 | 0,553785 | -6,0894 | -0,967 | 16,847 | 0,55494 |
| 20 | | 8,852 | 16,148 | 2,774 | -5,49032 | -0,87845 | 16,87845 | 0,468208 | -6,58838 | -1,04624 | 16,92624 | 0,469534 |
| 21 | | 8,874 | 16,126 | 4,296 | -5,48284 | -0,87725 | 16,87725 | 0,725047 | -6,57941 | -1,04481 | 16,92481 | 0,72709 |
| 22 | | 10,543 | 14,457 | 5,003 | -4,91538 | -0,78646 | 16,78646 | 0,839827 | -5,89846 | -0,93667 | 16,81667 | 0,841338 |
| 23 | | 11,76 | 13,24 | 5,366 | -4,5016 | -0,72026 | 16,72026 | 0,897209 | -5,40192 | -0,85782 | 16,73782 | 0,898152 |
| 24 | | 12,123 | 12,877 | 5,612 | -4,37818 | -0,70051 | 16,70051 | 0,937233 | -5,25382 | -0,83431 | 16,71431 | 0,938007 |
| 25 | | 12,941 | 12,059 | 6,032 | -4,10006 | -0,65601 | 16,65601 | 1,00469 | -4,92007 | -0,78131 | 16,66131 | 1,00501 |
| 26 | | 14,41 | 10,59 | 5,737 | -3,6006 | -0,5761 | 16,5761 | 0,950971 | -4,32072 | -0,68613 | 16,56613 | 0,950399 |
| 27 | | 14,939 | 10,061 | 5,578 | -3,42074 | -0,54732 | 16,54732 | 0,923009 | -4,10489 | -0,65186 | 16,53186 | 0,922147 |
| 28 | | 15,174 | 9,826 | 4,837 | -3,34084 | -0,53453 | 16,53453 | 0,799775 | -4,00901 | -0,63663 | 16,51663 | 0,798909 |
| 29 | | 16,569 | 8,431 | 5,646 | -2,86654 | -0,45865 | 16,45865 | 0,929255 | -3,43985 | -0,54625 | 16,42625 | 0,927426 |
| 30 | | 16,931 | 8,069 | 5,857 | -2,74346 | -0,43895 | 16,43895 | 0,96283 | -3,29215 | -0,52279 | 16,40279 | 0,960712 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|-----|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Май | 15,795 | 9,205 | 5,821 | -3,1297 | -0,50075 | 16,50075 | 0,960509 | -3,75564 | -0,5964 | 16,4764 | 0,959091 |
| 2 | | 14,903 | 10,097 | 5,876 | -3,43298 | -0,54928 | 16,54928 | 0,972436 | -4,11958 | -0,65419 | 16,53419 | 0,971549 |
| 3 | | 15,971 | 9,029 | 6,116 | -3,06986 | -0,49118 | 16,49118 | 1,0086 | -3,68383 | -0,58499 | 16,46499 | 1,006999 |
| 4 | | 14,969 | 10,031 | 5,379 | -3,41054 | -0,54569 | 16,54569 | 0,889992 | -4,09265 | -0,64991 | 16,52991 | 0,889144 |
| 5 | | 14,796 | 10,204 | 6,43 | -3,46936 | -0,5551 | 16,5551 | 1,064493 | -4,16323 | -0,66112 | 16,54112 | 1,063594 |
| 6 | | 15,231 | 9,769 | 5,58 | -3,32146 | -0,53143 | 16,53143 | 0,922454 | -3,98575 | -0,63294 | 16,51294 | 0,921422 |
| 7 | | 15,228 | 9,772 | 5,309 | -3,32248 | -0,5316 | 16,5316 | 0,877662 | -3,98698 | -0,63313 | 16,51313 | 0,876682 |
| 8 | | 15,348 | 9,652 | 5,485 | -3,28168 | -0,52507 | 16,52507 | 0,9064 | -3,93802 | -0,62536 | 16,50536 | 0,905319 |
| 9 | | 15,605 | 9,395 | 5,595 | -3,1943 | -0,51109 | 16,51109 | 0,923795 | -3,83316 | -0,60871 | 16,48871 | 0,922543 |
| 10 | | 15,919 | 9,081 | 5,869 | -3,08754 | -0,49401 | 16,49401 | 0,968033 | -3,70505 | -0,58836 | 16,46836 | 0,966528 |
| 11 | | 16,89 | 8,11 | 5,355 | -2,7574 | -0,44118 | 16,44118 | 0,880425 | -3,30888 | -0,52545 | 16,40545 | 0,878512 |
| 12 | | 17,084 | 7,916 | 5,036 | -2,69144 | -0,43063 | 16,43063 | 0,827447 | -3,22973 | -0,51288 | 16,39288 | 0,825545 |
| 13 | | 16,495 | 8,505 | 5,184 | -2,8917 | -0,46267 | 16,46267 | 0,853425 | -3,47004 | -0,55104 | 16,43104 | 0,851785 |
| 14 | | 16,158 | 8,842 | 5,032 | -3,00628 | -0,481 | 16,481 | 0,829324 | -3,60754 | -0,57288 | 16,45288 | 0,827909 |
| 15 | | 17,478 | 7,522 | 6,197 | -2,55748 | -0,4092 | 16,4092 | 1,016878 | -3,06898 | -0,48735 | 16,36735 | 1,014285 |
| 16 | | 17,062 | 7,938 | 5,805 | -2,69892 | -0,43183 | 16,43183 | 0,953868 | -3,2387 | -0,51431 | 16,39431 | 0,951689 |
| 17 | | 16,259 | 8,741 | 4,718 | -2,97194 | -0,47551 | 16,47551 | 0,777315 | -3,56633 | -0,56633 | 16,44633 | 0,775938 |
| 18 | | 17,218 | 7,782 | 5,979 | -2,64588 | -0,42334 | 16,42334 | 0,981952 | -3,17506 | -0,5042 | 16,3842 | 0,979611 |
| 19 | | 17,48 | 7,52 | 5,845 | -2,5568 | -0,40909 | 16,40909 | 0,959111 | -3,06816 | -0,48722 | 16,36722 | 0,956664 |
| 20 | | 18,315 | 6,685 | 6,37 | -2,2729 | -0,36366 | 16,36366 | 1,042365 | -2,72748 | -0,43312 | 16,31312 | 1,039146 |
| 21 | | 18,714 | 6,286 | 6,797 | -2,13724 | -0,34196 | 16,34196 | 1,110763 | -2,56469 | -0,40727 | 16,28727 | 1,107046 |
| 22 | | 19,372 | 5,628 | 6,462 | -1,91352 | -0,30616 | 16,30616 | 1,053704 | -2,29622 | -0,36464 | 16,24464 | 1,049729 |
| 23 | | 20,138 | 4,862 | 6,771 | -1,65308 | -0,26449 | 16,26449 | 1,101269 | -1,9837 | -0,31501 | 16,19501 | 1,096564 |
| 24 | | 19,017 | 5,983 | 5,93 | -2,03422 | -0,32548 | 16,32548 | 0,968101 | -2,44106 | -0,38764 | 16,26764 | 0,964671 |
| 25 | | 18,603 | 6,397 | 5,244 | -2,17498 | -0,348 | 16,348 | 0,857289 | -2,60998 | -0,41446 | 16,29446 | 0,854482 |
| 26 | | 18,676 | 6,324 | 5,806 | -2,15016 | -0,34403 | 16,34403 | 0,948934 | -2,58019 | -0,40973 | 16,28973 | 0,945782 |
| 27 | | 18,683 | 6,317 | 5,411 | -2,14778 | -0,34364 | 16,34364 | 0,884355 | -2,57734 | -0,40928 | 16,28928 | 0,881413 |
| 28 | | 18,803 | 6,197 | 4,641 | -2,10698 | -0,33712 | 16,33712 | 0,758206 | -2,52838 | -0,40151 | 16,28151 | 0,755625 |
| 29 | | 19,551 | 5,449 | 5,487 | -1,85266 | -0,29643 | 16,29643 | 0,894185 | -2,22319 | -0,35304 | 16,23304 | 0,890707 |
| 30 | | 20,19 | 4,81 | 5,157 | -1,6354 | -0,26166 | 16,26166 | 0,838614 | -1,96248 | -0,31164 | 16,19164 | 0,835003 |
| 31 | | 19,247 | 5,753 | 5,606 | -1,95602 | -0,31296 | 16,31296 | 0,914505 | -2,34722 | -0,37274 | 16,25274 | 0,911129 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Июнь | 18,138 | 6,862 | 5,645 | -2,33308 | -0,37329 | 16,37329 | 0,924272 | -2,7997 | -0,44459 | 16,32459 | 0,921523 |
| 2 | | 17,6 | 7,4 | 6,065 | -2,516 | -0,40256 | 16,40256 | 0,994815 | -3,0192 | -0,47945 | 16,35945 | 0,992201 |
| 3 | | 18,397 | 6,603 | 6,192 | -2,24502 | -0,3592 | 16,3592 | 1,012962 | -2,69402 | -0,42781 | 16,30781 | 1,00978 |
| 4 | | 19,817 | 5,183 | 6,809 | -1,76222 | -0,28196 | 16,28196 | 1,108638 | -2,11466 | -0,33581 | 16,21581 | 1,104134 |
| 5 | | 20,768 | 4,232 | 6,709 | -1,43888 | -0,23022 | 16,23022 | 1,088886 | -1,72666 | -0,27419 | 16,15419 | 1,083785 |
| 6 | | 21,138 | 3,862 | 6,71 | -1,31308 | -0,21009 | 16,21009 | 1,087697 | -1,5757 | -0,25022 | 16,13022 | 1,082338 |
| 7 | | 20,329 | 4,671 | 6,364 | -1,58814 | -0,2541 | 16,2541 | 1,034411 | -1,90577 | -0,30264 | 16,18264 | 1,029863 |
| 8 | | 20,193 | 4,807 | 5,991 | -1,63438 | -0,2615 | 16,2615 | 0,974227 | -1,96126 | -0,31145 | 16,19145 | 0,97003 |
| 9 | | 20,666 | 4,334 | 6,41 | -1,47356 | -0,23577 | 16,23577 | 1,040713 | -1,76827 | -0,2808 | 16,1608 | 1,035907 |
| 10 | | 20,568 | 4,432 | 6,062 | -1,50688 | -0,2411 | 16,2411 | 0,984536 | -1,80826 | -0,28715 | 16,16715 | 0,980053 |
| 11 | | 20,978 | 4,022 | 6,205 | -1,36748 | -0,2188 | 16,2188 | 1,006376 | -1,64098 | -0,26059 | 16,14059 | 1,001523 |
| 12 | | 20,657 | 4,343 | 6,266 | -1,47662 | -0,23626 | 16,23626 | 1,017364 | -1,77194 | -0,28138 | 16,16138 | 1,012672 |
| 13 | | 20,628 | 4,372 | 5,826 | -1,48648 | -0,23784 | 16,23784 | 0,946016 | -1,78378 | -0,28326 | 16,16326 | 0,941672 |
| 14 | | 21,117 | 3,883 | 6,101 | -1,32022 | -0,21124 | 16,21124 | 0,989047 | -1,58426 | -0,25158 | 16,13158 | 0,984188 |
| 15 | | 20,861 | 4,139 | 5,728 | -1,40726 | -0,22516 | 16,22516 | 0,929377 | -1,68871 | -0,26817 | 16,14817 | 0,924967 |
| 16 | | 20,304 | 4,696 | 4,875 | -1,59664 | -0,25546 | 16,25546 | 0,792454 | -1,91597 | -0,30426 | 16,18426 | 0,788982 |
| 17 | | 19,973 | 5,027 | 6,196 | -1,70918 | -0,27347 | 16,27347 | 1,008304 | -2,05102 | -0,3257 | 16,2057 | 1,004105 |
| 18 | | 21,006 | 3,994 | 6,846 | -1,35796 | -0,21727 | 16,21727 | 1,110235 | -1,62955 | -0,25877 | 16,13877 | 1,10486 |
| 19 | | 21,92 | 3,08 | 6,153 | -1,0472 | -0,16755 | 16,16755 | 0,994789 | -1,25664 | -0,19955 | 16,07955 | 0,989375 |
| 20 | | 22,101 | 2,899 | 6,293 | -0,98566 | -0,15771 | 16,15771 | 1,016804 | -1,18279 | -0,18783 | 16,06783 | 1,011148 |
| 21 | | 21,958 | 3,042 | 6,576 | -1,03428 | -0,16548 | 16,16548 | 1,063042 | -1,24114 | -0,19709 | 16,07709 | 1,05723 |
| 22 | | 22,282 | 2,718 | 6,653 | -0,92412 | -0,14786 | 16,14786 | 1,074317 | -1,10894 | -0,1761 | 16,0561 | 1,068212 |
| 23 | | 22,243 | 2,757 | 6,478 | -0,93738 | -0,14998 | 16,14998 | 1,046196 | -1,12486 | -0,17863 | 16,05863 | 1,040278 |
| 24 | | 22,492 | 2,508 | 6,755 | -0,85272 | -0,13644 | 16,13644 | 1,090016 | -1,02326 | -0,16249 | 16,04249 | 1,08367 |
| 25 | | 22,604 | 2,396 | 5,248 | -0,81464 | -0,13034 | 16,13034 | 0,84652 | -0,97757 | -0,15524 | 16,03524 | 0,841529 |
| 26 | | 21,94 | 3,06 | 5,03 | -1,0404 | -0,16646 | 16,16646 | 0,813173 | -1,24848 | -0,19826 | 16,07826 | 0,808736 |
| 27 | | 21,855 | 3,145 | 5,887 | -1,0693 | -0,17109 | 16,17109 | 0,951992 | -1,28316 | -0,20377 | 16,08377 | 0,946851 |
| 28 | | 22,051 | 2,949 | 5,752 | -1,00266 | -0,16043 | 16,16043 | 0,929548 | -1,20319 | -0,19107 | 16,07107 | 0,924408 |
| 29 | | 22,001 | 2,999 | 5,722 | -1,01966 | -0,16315 | 16,16315 | 0,924855 | -1,22359 | -0,19431 | 16,07431 | 0,919772 |
| 30 | | 22,956 | 2,044 | 5,969 | -0,69496 | -0,11119 | 16,11119 | 0,961677 | -0,83395 | -0,13243 | 16,01243 | 0,955782 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|----------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Сентябрь | 20,462 | 4,538 | 4,71 | -1,54292 | -0,24687 | 16,24687 | 0,765227 | -1,8515 | -0,29402 | 16,17402 | 0,761796 |
| 2 | | 21,085 | 3,915 | 4,72 | -1,3311 | -0,21298 | 16,21298 | 0,765252 | -1,59732 | -0,25365 | 16,13365 | 0,761508 |
| 3 | | 20,737 | 4,263 | 4,494 | -1,44942 | -0,23191 | 16,23191 | 0,729462 | -1,7393 | -0,2762 | 16,1562 | 0,72606 |
| 4 | | 19,504 | 5,496 | 4,237 | -1,86864 | -0,29898 | 16,29898 | 0,690588 | -2,24237 | -0,35609 | 16,23609 | 0,687923 |
| 5 | | 18,524 | 6,476 | 3,634 | -2,20184 | -0,35229 | 16,35229 | 0,594242 | -2,64221 | -0,41958 | 16,29958 | 0,592327 |
| 6 | | 18,682 | 6,318 | 4,173 | -2,14812 | -0,3437 | 16,3437 | 0,682023 | -2,57774 | -0,40935 | 16,28935 | 0,679754 |
| 7 | | 17,447 | 7,553 | 4,036 | -2,56802 | -0,41088 | 16,41088 | 0,662343 | -3,08162 | -0,48936 | 16,36936 | 0,660667 |
| 8 | | 17,676 | 7,324 | 4,334 | -2,49016 | -0,39843 | 16,39843 | 0,710708 | -2,98819 | -0,47452 | 16,35452 | 0,708805 |
| 9 | | 17,87 | 7,13 | 3,901 | -2,4242 | -0,38787 | 16,38787 | 0,639291 | -2,90904 | -0,46196 | 16,34196 | 0,6375 |
| 10 | | 18,441 | 6,559 | 4,795 | -2,23006 | -0,35681 | 16,35681 | 0,784309 | -2,67607 | -0,42496 | 16,30496 | 0,781823 |
| 11 | | 19,376 | 5,624 | 4,576 | -1,91216 | -0,30595 | 16,30595 | 0,74616 | -2,29459 | -0,36438 | 16,24438 | 0,743343 |
| 12 | | 19,39 | 5,61 | 3,879 | -1,9074 | -0,30518 | 16,30518 | 0,632478 | -2,28888 | -0,36347 | 16,24347 | 0,630084 |
| 13 | | 18,527 | 6,473 | 3,826 | -2,20082 | -0,35213 | 16,35213 | 0,625633 | -2,64098 | -0,41939 | 16,29939 | 0,623615 |
| 14 | | 17,007 | 7,993 | 4,015 | -2,71762 | -0,43482 | 16,43482 | 0,659858 | -3,26114 | -0,51787 | 16,39787 | 0,658374 |
| 15 | | 16,712 | 8,288 | 4,192 | -2,81792 | -0,45087 | 16,45087 | 0,68962 | -3,3815 | -0,53698 | 16,41698 | 0,6882 |
| 16 | | 17,55 | 7,45 | 4,173 | -2,533 | -0,40528 | 16,40528 | 0,684592 | -3,0396 | -0,48269 | 16,36269 | 0,682815 |
| 17 | | 17,316 | 7,684 | 4,113 | -2,61256 | -0,41801 | 16,41801 | 0,675273 | -3,13507 | -0,49785 | 16,37785 | 0,673621 |
| 18 | | 16,072 | 8,928 | 3,672 | -3,03552 | -0,48568 | 16,48568 | 0,605354 | -3,64262 | -0,57845 | 16,45845 | 0,604354 |
| 19 | | 16,39 | 8,61 | 3,827 | -2,9274 | -0,46838 | 16,46838 | 0,630245 | -3,51288 | -0,55785 | 16,43785 | 0,629076 |
| 20 | | 16,82 | 8,18 | 2,965 | -2,7812 | -0,44499 | 16,44499 | 0,487594 | -3,33744 | -0,52999 | 16,40999 | 0,486556 |
| 21 | | 16,823 | 8,177 | 3,14 | -2,78018 | -0,44483 | 16,44483 | 0,516368 | -3,33622 | -0,52979 | 16,40979 | 0,515267 |
| 22 | | 15,313 | 9,687 | 2,028 | -3,29358 | -0,52697 | 16,52697 | 0,335167 | -3,9523 | -0,62762 | 16,50762 | 0,334775 |
| 23 | | 14,109 | 10,891 | 2,339 | -3,70294 | -0,59247 | 16,59247 | 0,388098 | -4,44353 | -0,70563 | 16,58563 | 0,387938 |
| 24 | | 14,321 | 10,679 | 3,373 | -3,63086 | -0,58094 | 16,58094 | 0,559275 | -4,35703 | -0,6919 | 16,5719 | 0,55897 |
| 25 | | 14,5 | 10,5 | 3,487 | -3,57 | -0,5712 | 16,5712 | 0,577838 | -4,284 | -0,6803 | 16,5603 | 0,577458 |
| 26 | | 13,815 | 11,185 | 2,841 | -3,8029 | -0,60846 | 16,60846 | 0,471846 | -4,56348 | -0,72468 | 16,60468 | 0,471739 |
| 27 | | 12,45 | 12,55 | 2,921 | -4,267 | -0,68272 | 16,68272 | 0,487302 | -5,1204 | -0,81312 | 16,69312 | 0,487606 |
| 28 | | 11,772 | 13,228 | 3,084 | -4,49752 | -0,7196 | 16,7196 | 0,515633 | -5,39702 | -0,85705 | 16,73705 | 0,516171 |
| 29 | | 11,38 | 13,62 | 2,636 | -4,6308 | -0,74093 | 16,74093 | 0,441291 | -5,55696 | -0,88245 | 16,76245 | 0,441858 |
| 30 | | 11,69 | 13,31 | 2,764 | -4,5254 | -0,72406 | 16,72406 | 0,462253 | -5,43048 | -0,86236 | 16,74236 | 0,462759 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|---------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Октябрь | 10,614 | 14,386 | 3,362 | -4,89124 | -0,7826 | 16,7826 | 0,564231 | -5,86949 | -0,93207 | 16,81207 | 0,565222 |
| 2 | | 10,746 | 14,254 | 3,286 | -4,84636 | -0,77542 | 16,77542 | 0,55124 | -5,81563 | -0,92352 | 16,80352 | 0,552164 |
| 3 | | 11,621 | 13,379 | 3,002 | -4,54886 | -0,72782 | 16,72782 | 0,502169 | -5,45863 | -0,86683 | 16,74683 | 0,50274 |
| 4 | | 11,95 | 13,05 | 2,422 | -4,437 | -0,70992 | 16,70992 | 0,404714 | -5,3244 | -0,84551 | 16,72551 | 0,405092 |
| 5 | | 11,484 | 13,516 | 2,219 | -4,59544 | -0,73527 | 16,73527 | 0,371356 | -5,51453 | -0,87571 | 16,75571 | 0,371809 |
| 6 | | 9,668 | 15,332 | 2,816 | -5,21288 | -0,83406 | 16,83406 | 0,474047 | -6,25546 | -0,99337 | 16,87337 | 0,475154 |
| 7 | | 9,801 | 15,199 | 2,628 | -5,16766 | -0,82683 | 16,82683 | 0,442209 | -6,20119 | -0,98475 | 16,86475 | 0,443206 |
| 8 | | 8,884 | 16,116 | 2,079 | -5,47944 | -0,87671 | 16,87671 | 0,350867 | -6,57533 | -1,04416 | 16,92416 | 0,351853 |
| 9 | | 7,692 | 17,308 | 2,279 | -5,88472 | -0,94156 | 16,94156 | 0,386098 | -7,06166 | -1,12139 | 17,00139 | 0,387462 |
| 10 | | 8,873 | 16,127 | 2,718 | -5,48318 | -0,87731 | 16,87731 | 0,458725 | -6,57982 | -1,04487 | 16,92487 | 0,460018 |
| 11 | | 9,722 | 15,278 | 2,293 | -5,19452 | -0,83112 | 16,83112 | 0,385938 | -6,23342 | -0,98987 | 16,86987 | 0,386826 |
| 12 | | 9,384 | 15,616 | 2,236 | -5,30944 | -0,84951 | 16,84951 | 0,376755 | -6,37133 | -1,01177 | 16,89177 | 0,3777 |
| 13 | | 8,171 | 16,829 | 1,927 | -5,72186 | -0,9155 | 16,9155 | 0,325962 | -6,86623 | -1,09036 | 16,97036 | 0,327019 |
| 14 | | 8,71 | 16,29 | 1,912 | -5,5386 | -0,88618 | 16,88618 | 0,322864 | -6,64632 | -1,05544 | 16,93544 | 0,323806 |
| 15 | | 9,132 | 15,868 | 1,703 | -5,39512 | -0,86322 | 16,86322 | 0,287181 | -6,47414 | -1,02809 | 16,90809 | 0,287945 |
| 16 | | 9,94 | 15,06 | 1,913 | -5,1204 | -0,81926 | 16,81926 | 0,321753 | -6,14448 | -0,97574 | 16,85574 | 0,32245 |
| 17 | | 8,823 | 16,177 | 1,786 | -5,50018 | -0,88003 | 16,88003 | 0,301477 | -6,60022 | -1,04811 | 16,92811 | 0,302336 |
| 18 | | 7,574 | 17,426 | 1,956 | -5,92484 | -0,94797 | 16,94797 | 0,331502 | -7,10981 | -1,12904 | 17,00904 | 0,332697 |
| 19 | | 7,953 | 17,047 | 1,825 | -5,79598 | -0,92736 | 16,92736 | 0,308924 | -6,95518 | -1,10448 | 16,98448 | 0,309967 |
| 20 | | 8,397 | 16,603 | 1,748 | -5,64502 | -0,9032 | 16,9032 | 0,295468 | -6,77402 | -1,07572 | 16,95572 | 0,296386 |
| 21 | | 7,591 | 17,409 | 1,608 | -5,91906 | -0,94705 | 16,94705 | 0,272509 | -7,10287 | -1,12794 | 17,00794 | 0,273488 |
| 22 | | 5,944 | 19,056 | 1,696 | -6,47904 | -1,03665 | 17,03665 | 0,288942 | -7,77485 | -1,23465 | 17,11465 | 0,290264 |
| 23 | | 4,796 | 20,204 | 1,161 | -6,86936 | -1,0991 | 17,0991 | 0,198521 | -8,24323 | -1,30903 | 17,18903 | 0,199565 |
| 24 | | 4,138 | 20,862 | 1,401 | -7,09308 | -1,13489 | 17,13489 | 0,24006 | -8,5117 | -1,35166 | 17,23166 | 0,241416 |
| 25 | | 3,918 | 21,082 | 1,562 | -7,16788 | -1,14686 | 17,14686 | 0,267834 | -8,60146 | -1,36591 | 17,24591 | 0,269381 |
| 26 | | 5,029 | 19,971 | 1,471 | -6,79014 | -1,08642 | 17,08642 | 0,251341 | -8,14817 | -1,29393 | 17,17393 | 0,252628 |
| 27 | | 4,513 | 20,487 | 1,49 | -6,96558 | -1,11449 | 17,11449 | 0,255006 | -8,3587 | -1,32736 | 17,20736 | 0,25639 |
| 28 | | 5,634 | 19,366 | 1,93 | -6,58444 | -1,05351 | 17,05351 | 0,329133 | -7,90133 | -1,25473 | 17,13473 | 0,3307 |
| 29 | | 4,885 | 20,115 | 1,537 | -6,8391 | -1,09426 | 17,09426 | 0,262739 | -8,20692 | -1,30326 | 17,18326 | 0,264107 |
| 30 | | 3,87 | 21,13 | 1,455 | -7,1842 | -1,14947 | 17,14947 | 0,249525 | -8,62104 | -1,36902 | 17,24902 | 0,250973 |
| 31 | | 3,053 | 21,947 | 1,63 | -7,46198 | -1,19392 | 17,19392 | 0,280261 | -8,95438 | -1,42195 | 17,30195 | 0,282022 |

Продолжение таблицы 3.6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|----|---------|--------|--------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Декабрь | -0,517 | 25,517 | 0,787 | -8,67578 | -1,38812 | 17,38812 | 0,136845 | -10,4109 | -1,65326 | 17,53326 | 0,137987 |
| 2 | | -2,244 | 27,244 | 0,814 | -9,26296 | -1,48207 | 17,48207 | 0,142304 | -11,1156 | -1,76515 | 17,64515 | 0,143632 |
| 3 | | -2,72 | 27,72 | 0,754 | -9,4248 | -1,50797 | 17,50797 | 0,13201 | -11,3098 | -1,79599 | 17,67599 | 0,133277 |
| 4 | | -3,412 | 28,412 | 0,603 | -9,66008 | -1,54561 | 17,54561 | 0,1058 | -11,5921 | -1,84082 | 17,72082 | 0,106857 |
| 5 | | -3,14 | 28,14 | 0,487 | -9,5676 | -1,53082 | 17,53082 | 0,085375 | -11,4811 | -1,8232 | 17,7032 | 0,086215 |
| 6 | | -1,717 | 26,717 | 0,655 | -9,08378 | -1,4534 | 17,4534 | 0,11432 | -10,9005 | -1,73101 | 17,61101 | 0,115352 |
| 7 | | -3,169 | 28,169 | 0,648 | -9,57746 | -1,53239 | 17,53239 | 0,11361 | -11,493 | -1,82508 | 17,70508 | 0,114729 |
| 8 | | -3,11 | 28,11 | 0,496 | -9,5574 | -1,52918 | 17,52918 | 0,086945 | -11,4689 | -1,82126 | 17,70126 | 0,087798 |
| 9 | | -2,353 | 27,353 | 0,487 | -9,30002 | -1,488 | 17,488 | 0,085167 | -11,16 | -1,77221 | 17,65221 | 0,085966 |
| 10 | | -2,295 | 27,295 | 0,409 | -9,2803 | -1,48485 | 17,48485 | 0,071513 | -11,1364 | -1,76845 | 17,64845 | 0,072182 |
| 11 | | -1,821 | 26,821 | 0,538 | -9,11914 | -1,45906 | 17,45906 | 0,09393 | -10,943 | -1,73774 | 17,61774 | 0,094783 |
| 12 | | -1,568 | 26,568 | 0,644 | -9,03312 | -1,4453 | 17,4453 | 0,112348 | -10,8397 | -1,72135 | 17,60135 | 0,113353 |
| 13 | | -3,033 | 28,033 | 0,683 | -9,53122 | -1,525 | 17,525 | 0,119696 | -11,4375 | -1,81627 | 17,69627 | 0,120866 |
| 14 | | -3,871 | 28,871 | 0,728 | -9,81614 | -1,57058 | 17,57058 | 0,127914 | -11,7794 | -1,87056 | 17,75056 | 0,129224 |
| 15 | | -4,543 | 29,543 | 0,658 | -10,0446 | -1,60714 | 17,60714 | 0,115855 | -12,0535 | -1,9141 | 17,7941 | 0,117085 |
| 16 | | -5,565 | 30,565 | 0,662 | -10,3921 | -1,66274 | 17,66274 | 0,116927 | -12,4705 | -1,98032 | 17,86032 | 0,118235 |
| 17 | | -5,257 | 30,257 | 0,773 | -10,2874 | -1,64598 | 17,64598 | 0,136403 | -12,3449 | -1,96036 | 17,84036 | 0,137906 |
| 18 | | -4,117 | 29,117 | 0,531 | -9,89978 | -1,58396 | 17,58396 | 0,093371 | -11,8797 | -1,8865 | 17,7665 | 0,09434 |
| 19 | | -3,217 | 28,217 | 0,487 | -9,59378 | -1,535 | 17,535 | 0,085395 | -11,5125 | -1,82819 | 17,70819 | 0,086239 |
| 20 | | -3,706 | 28,706 | 0,63 | -9,76004 | -1,56161 | 17,56161 | 0,110638 | -11,712 | -1,85987 | 17,73987 | 0,111761 |
| 21 | | -3,739 | 28,739 | 0,694 | -9,77126 | -1,5634 | 17,5634 | 0,12189 | -11,7255 | -1,86201 | 17,74201 | 0,12313 |
| 22 | | -2,069 | 27,069 | 0,616 | -9,20346 | -1,47255 | 17,47255 | 0,107631 | -11,0442 | -1,75381 | 17,63381 | 0,108624 |
| 23 | | -1,872 | 26,872 | 0,818 | -9,13648 | -1,46184 | 17,46184 | 0,142838 | -10,9638 | -1,74105 | 17,62105 | 0,14414 |
| 24 | | -2,637 | 27,637 | 0,605 | -9,39658 | -1,50345 | 17,50345 | 0,105896 | -11,2759 | -1,79061 | 17,67061 | 0,106907 |
| 25 | | -2,015 | 27,015 | 0,721 | -9,1851 | -1,46962 | 17,46962 | 0,125956 | -11,0221 | -1,75031 | 17,63031 | 0,127115 |
| 26 | | -1,163 | 26,163 | 0,524 | -8,89542 | -1,42327 | 17,42327 | 0,091298 | -10,6745 | -1,69511 | 17,57511 | 0,092094 |
| 27 | | -1,602 | 26,602 | 0,579 | -9,04468 | -1,44715 | 17,44715 | 0,101019 | -10,8536 | -1,72355 | 17,60355 | 0,101925 |
| 28 | | -3,733 | 28,733 | 0,612 | -9,76922 | -1,56308 | 17,56308 | 0,107486 | -11,7231 | -1,86162 | 17,74162 | 0,108579 |
| 29 | | -6,449 | 31,449 | 0,661 | -10,6927 | -1,71083 | 17,71083 | 0,117069 | -12,8312 | -2,03759 | 17,91759 | 0,118435 |
| 30 | | -8,002 | 33,002 | 0,718 | -11,2207 | -1,79531 | 17,79531 | 0,12777 | -13,4648 | -2,13821 | 18,01821 | 0,129371 |
| 31 | | -7,116 | 32,116 | 0,968 | -10,9194 | -1,74711 | 17,74711 | 0,171792 | -13,1033 | -2,08081 | 17,96081 | 0,173861 |

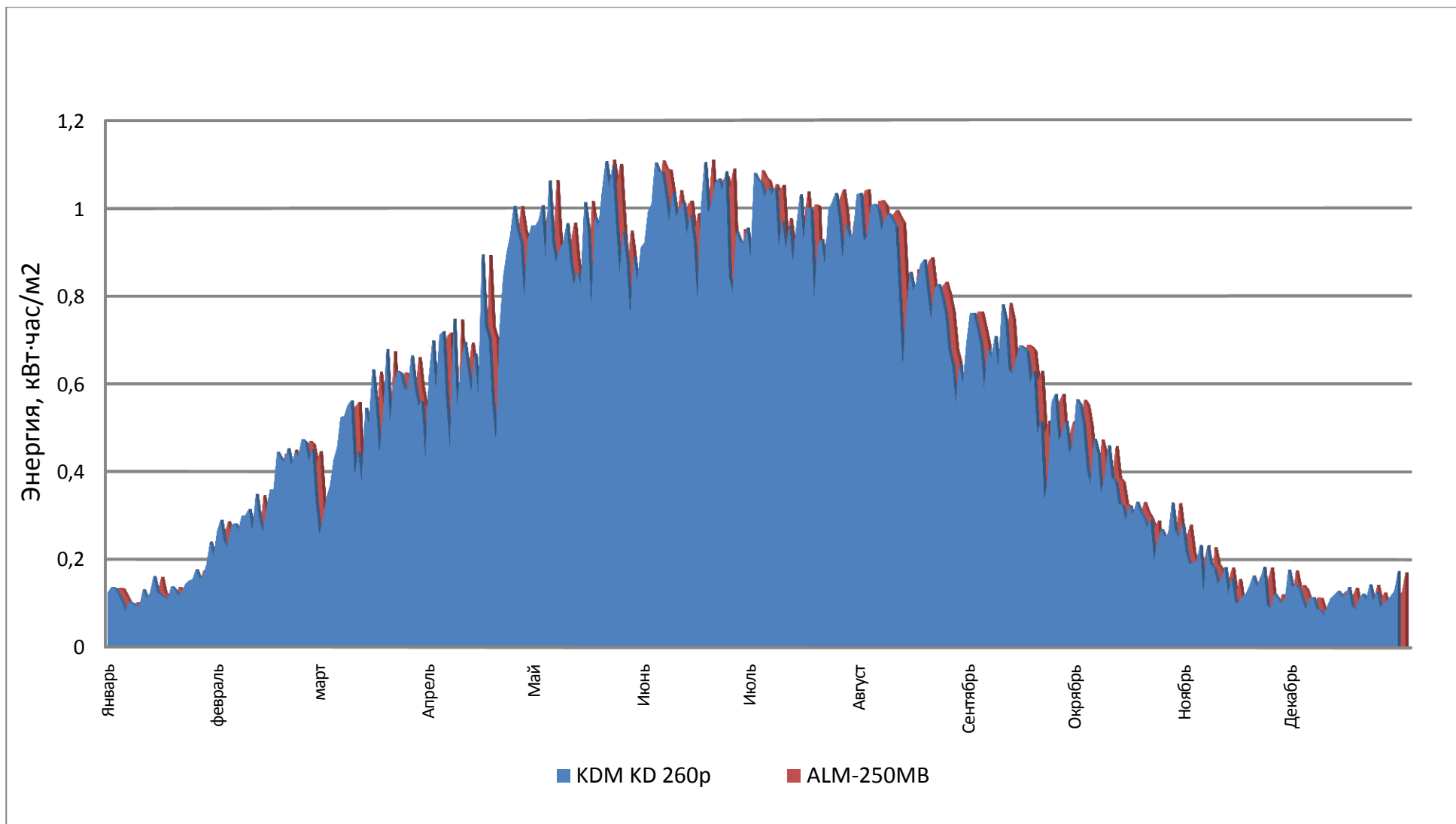


Рисунок 3.4 – Фактическая выработка электроэнергии на 1 м² рассматриваемых панелей в течении года

Расчетное значение количества энергии, получаемое от солнечной батареи принимается, как среднегодовое значение фактической энергии в сутки:

$$W_{\text{ср.ф}} = 0.6 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

Рассчитываем количество энергии, которое возможно получить за год:

$$W_{\text{год.ф}} = W_{\text{ср}} \cdot 365 = 0.6 \cdot 365 = 219 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^2}$$

Количество панелей находим, исходя из необходимого количества энергии $W_{\text{общ}} = 9179 \text{ кВт} \cdot \text{час}$:

$$S_{\text{СП}} = \frac{W_{\text{общ}}}{W_{\text{год.ф}}} = \frac{9179}{219} = 41,9 \text{ м}^2$$

Принимаем $N_{\text{п}} = \frac{42}{1,626} = 25$ при выбранном модуле площадью $1,626 \text{ м}^2$.

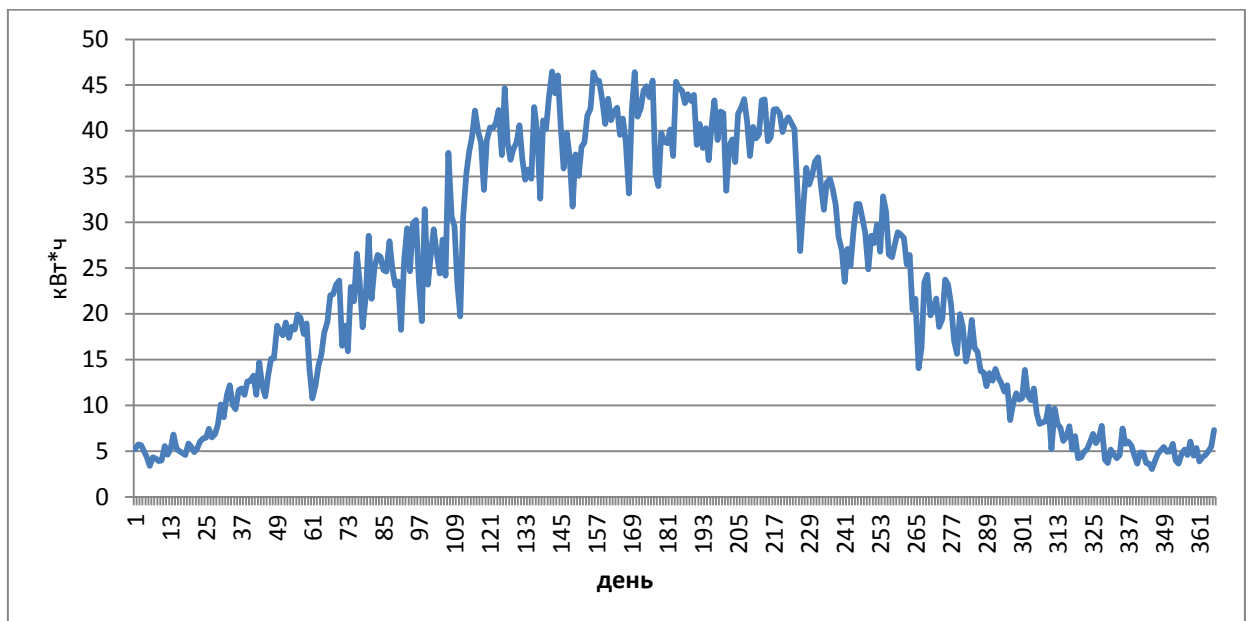


Рисунок 3.5 – Поступление энергии в течении года

Расчет по среднегодовому значению приводит к тому, что в течение года возникает как избыток, так и недостаток энергии в зависимости от времени года. Для надежной и бесперебойной работы необходимо выбрать 25 солнечных панелей KDM KD 260p.

3.3 Расчет горячего водоснабжения от солнечных коллекторов с поддержкой отопления

3.3.1. Выбор типа солнечного коллектора

Существуют различные виды солнечных коллекторов, имеющих свои положительные и отрицательные стороны.

В таблице 3.7 сведены положительные и отрицательные характеристики четырех наиболее распространенных видов солнечных коллекторов [36].

Исходя из известных данных и климатических условий Центральной Украины (приведенных в разделе 2) можно сделать вывод, что вакуумный коллектор с прямой теплопередачей необходимо использовать сезонно (апрель-октябрь). Дальнейшее их использование невозможно за счет вероятности замерзания жидкости внутри трубок и дальнейшего повреждения прибора.

Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником – это более технологичный вариант предыдущего вида коллектора. За счет неизменности теплоносителя (можно залить незамерзающую жидкость, увеличивая диапазон эксплуатации до $-5...-10^{\circ}\text{C}$) в вакуумных трубках он не подвержен риску загрязнения внутренних поверхностей. Кроме того возможно подключение коллектора к трубам с магистральным давлением.

Таблица 3.7 – Параметры солнечных коллекторов

| | Сравнительная эффективность апрель- октябрь, в зависимости от площади | Сравнительная эффективность ноябрь- март, в зависимости от площади | Проблема размножения бактерий | Сравнительная цена | Ремонтопригодность | Нагрев теплоносителя до температуры |
|--|--|---|----------------------------------|--------------------|--------------------|--|
| Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде | 90% | 0 | есть | 20% | 70% | 95°C |
| Вакуумный коллектор с прямой теплопередачей воде и встроенным теплообменником | 95% | 70% | нет | 65% | 60% | 95°C |
| Вакуумный коллектор с термотрубками | 100% | 100% | нет | 100% | 100% | 250°C |
| Плоский солнечный коллектор | 60% | 33% | есть | 60% | 30% | 95°C |

Плоский солнечный коллектор оптимален при необходимости использовать энергию солнца апрель-октябрь. За счет относительной дешевизны он может быть оптимальным для нагрева воды и бассейна в этот период. В холодное время года при минусовых температурах плоский солнечный коллектор не может служить источником тепла за счет больших потерь в окружающую среду. К недостаткам этого типа коллекторов относятся и достаточно небольшие температуры нагрева циркулирующей жидкости.

В случае разбития герметизирующего стекла эффективность коллектора значительно уменьшается, так как тепло расходуется на обогрев окружающей среды, а также отсутствует парниковый эффект позволяющий в достаточной степени нагревать теплоноситель.

В большинстве случаев солнечные коллектора устанавливаются на крыше, поэтому для монтажных организаций важна легкость доставки и

монтажа. Плоские солнечные коллекторы представляют собой неразборной блок больших габаритов, все это затрудняет подъем оборудования для монтажа на высоту и дальнейшая работа с ними.

Вакуумный коллектор с термотрубками – самый технологичный на данный момент тип коллектора. Может эффективно работать при температуре до -50°C . В отличие от плоского коллектора, при механическом повреждении одной или нескольких вакуумных трубок, они легко заменяются без остановки и слива всей системы. Из-за формы трубок и более эффективного поглощения солнечной радиации с одного м^2 вакуумный коллектор собирает в 1,5 раза больше тепловой энергии. К недостаткам данного типа приборов можно отнести относительно большую цену. Но этот «минус» компенсируется большим количеством «плюсов»

Использование вышеописанных типов вакуумных коллекторов является достаточно выгодным. Ведь с одного квадратного метра солнечного коллектора в условиях Украины для коммунально-бытовых нужд можно получать примерно 500 кВт·ч тепла в год. Ежегодная потребность одного человека в горячей воде требует 1500 кВт·ч тепла, а для отопления одного квадратного метра современного жилища – примерно 100 кВт·ч в год [37].

3.3.2. Определение необходимого солнечного коллектора

После анализа существующих типов солнечных коллекторов с учетом климатических условий Центральной Украины, наиболее рациональным и эффективным будет выбор вакуумного солнечного коллектора SC-LH1 фирмы Altek, в таблице 3.8 указаны его характеристики [38].

Всесезонный трубчатый вакуумный коллектор Altek эффективен для применения в круглогодичном режиме в любом регионе Украины. КПД коллектора – до 95%. Обладает высокой производительностью в условиях низкой солнечной инсоляции. Термоизоляция теплообменника 75 мм. Алюминиевая рама коллектора позволяет уменьшить нагрузку на несущие конструкции кровли. Универсальная конструкция рамы рассчитана на

установку коллектора на любой тип кровли: от горизонтальной до вертикальной поверхностей. Установка происходит непосредственно на крыше зданий таким образом, чтобы наиболее эффективно использовать площадь крыши для сбора энергии. Коллекторы монтируются под углом, от 30 до 60.

Для поддержания отопления в системе применяется буферный бак, который представляет собой автоматизированную систему преобразования, поддержания и сохранения тепла, полученного от энергии солнца, а также и от других источников энергии (например, традиционный котел, работающий на электричестве, газе или твердом топливе), которые поддерживают систему при недостаточном количестве солнечного излучения. Нагретая от доступных источников тепла вода используется как теплоноситель для существующей системы отопления. Контроллер автоматически поддерживает самые оптимальные параметры циркуляции и обеспечивает комфортную заданную температуру. При отсутствии достаточной солнечной активности или в ночное время, автоматика системы обеспечивает минимально необходимое привлечение дополнительной энергии для поддержания заданной температуры внутри помещения. Система обладает малой инерционностью, быстрым выходом на рабочий режим и позволяет обеспечить среднегодовую экономию энергоносителей до 50 %.

Основные преимущества всесезонных вакуумных трубчатых солнечных коллекторов:

1. Благодаря цилиндрической форме вакуумной трубки, тепловые трубки могут пассивно поглощать солнечное тепло весь день.

2. Из тепловой трубки выкачан воздух для создания вакуума. Это сокращает проводящие и конвективные потери тепла из внутренней трубы. Поэтому ветер и низкая температура не оказывают влияния на производительность вакуумного трубчатого коллектора.

3. Солнечные коллекторы работают при значительных отрицательных температурах (до -30°C).

4. Вакуумные трубки обладают: высокой прочностью и долговечностью, просты в монтаже и замене.

5. Благодаря высокой степени поглощения солнечной радиации в пасмурную погоду и хорошим изоляционным характеристикам трубок, солнечные трубчатые коллекторы нагревают воду в течение всего года.

6. Обладают высокой производительностью.

Таблица 3.8 – Характеристики вакуумного солнечного коллектора Altek SC-LH1

| | |
|--|----------------------|
| Тип коллектора | Вакуумный |
| Тип вакуумной трубки | Heat-pipe |
| Принцип работы | Под давлением |
| Режим использования | Круглогодичное |
| Количество трубок | 10, 15, 20, 30 (шт.) |
| Толщина стекла | 1.8 (мм) |
| Минимальная рабочая температура окружающей среды | -50.0 (град.) |
| Максимальная температура окружающей среды | 60.0 (град.) |
| Способ монтажа | Наклонный |
| Угол наклона | 60.0 (град.) |
| Максимальное давление | 6.0 (бар) |
| Коэффициент поглощения | 95.0 (%) |
| Коэффициент рассеивания | 5.0 (%) |
| КПД, не менее | 95.0 (%) |
| Срок службы | 25.0 (лет) |
| Гарантийный срок | 12 (мес) |
| Параметры трубок | |
| Толщина стенки | 1.8 (мм) |
| Длина трубок | 1800.0 (мм) |
| Внешний диаметр трубок | 58.0 (мм) |
| Материал трубки | Стекло |

3.3.3. Расчет нагрузки горячего водоснабжения и отопления

Суточное потребление горячей воды определяется по формуле:

$$G_{\text{сут}} = N \cdot m$$

где N – норма потребления одним человеком горячей воды при температуре 55°C в сутки, которая принимается по нормам проектирования внутреннего водопровода жилых зданий. Для солнечных систем горячего водоснабжения жилых зданий рекомендовано принимать норму потребления горячей воды $85 \text{ л}/(\text{чел} \cdot \text{сутки})$;

m – количество жильцов.

$$G_{\text{сут гвс}} = 85 \cdot 4 = 340 \text{ л}$$

Количество горячей воды циркулируемой в системе отопления определяется по формуле:

$$G_{\text{отоп}} = \left(S \cdot \frac{100}{P} \right) \cdot V_{\text{рад}} \cdot 1.2 = 200 \cdot \frac{100}{160} \cdot 0.38 \cdot 1.2 = 57 \approx 60 \text{ л.}$$

где S – площадь помещения – 200 м^2 ,

P – тепловая мощность одной секции радиатора, среднее значение – 160 Вт ,

$V_{\text{рад}}$ – объем воды в одной секции – $0,38 \text{ л}$.

Тогда суточное потребление воды будет определено как:

$$G_{\text{сут}} = G_{\text{сут гвс}} + G_{\text{отоп}} = 340 + 60 = 400 \text{ л}$$

Нагрузка горячего водоснабжения определяется по формуле:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}})$$

где $T_{\text{ГВ}}$ – средняя температура горячей воды – 55 °С,

$T_{\text{ХВ}}$ – температура холодной воды, для зимних месяцев – 5 °С, для летних – 15 °С, осенью и весной – 10 °С.

Рассчитаем нагрузку горячего водоснабжения для каждого месяца:

- Для января:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 5) \\ &= 23260 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для февраля:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 5) \\ &= 23260 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для марта:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ &= 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для апреля:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ &= 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для мая:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ &= 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для июня:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 15) \\ &= 18608 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для июля:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} &= 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 15) \\ &= 18608 \text{ (Вт} \cdot \text{час)/сутки,} \end{aligned}$$

- Для августа:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 15) \\ = 18608 \text{ (Вт} \cdot \text{час)}/\text{сутки},$$

- Для сентября:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ = 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)}/\text{сутки},$$

- Для октября:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ = 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)}/\text{сутки},$$

- Для ноября:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 10) \\ = 20934 \text{ (Вт} \cdot \text{час)}/\text{сутки},$$

- Для декабря:

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{сут}} = 1.163 \cdot G_{\text{сут}} \cdot (T_{\text{ГВ}} - T_{\text{ХВ}}) = 1.163 \cdot 400 \cdot (55 - 5) \\ = 23260 \text{ (Вт} \cdot \text{час)}/\text{сутки}.$$

Данные нагрузки системы горячего водоснабжения по месяцам сводим в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Результаты расчета тепловой нагрузки системы горячего водоснабжения и поддержки отопления

| Месяц | Нагрузка ГВС, МДж | Нагрузка ГВС, кВт·ч | Нагрузка ГВС, МКалл. |
|----------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| Январь | 2595,6 | 721 | 619,9 |
| Февраль | 2428,2 | 674,5 | 579,9 |
| Март | 2336,4 | 649 | 558 |
| Апрель | 2260,8 | 628 | 539,9 |
| Май | 2336,4 | 649 | 558 |
| Июнь | 2008,8 | 558 | 479,8 |
| Июль | 2077,2 | 577 | 496,1 |
| Август | 2077,2 | 577 | 496,1 |
| Сентябрь | 2260,8 | 628 | 539,9 |

| | | | |
|----------|----------------|---------------|---------------|
| Октябрь | 2336,4 | 649 | 558 |
| Ноябрь | 2260,8 | 628 | 539,9 |
| Декабрь | 2595,6 | 721 | 619,9 |
| Σ | 27574,2 | 7659,5 | 6585,4 |

Количество теплоты, поступающей из теплоприемника на 1 м^2 солнечного коллектора определяем по формуле:

$$Q_{\text{пол}} = F_R' [E_{\beta} \tau \alpha - U_L (T_T - T_a)]$$

где $Q_{\text{пол}}$ – полезная тепловая мощность коллектора, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

$F_R' = 0.95$ – коэффициент эффективности поглощающей панели, учитывает то обстоятельство, что средняя температура панели всегда выше средней температуры жидкости;

E_{β} – плотность потока суммарной солнечной радиации в плоскости коллектора, $\text{Вт}/\text{м}^2$. Значение данного параметра приведено в таблице 3.8. Оно изменяется по месяцам;

τ – пропускная способность прозрачной изоляции;

α – поглощающая способность панели коллектора;

$U_L = 0,6$ – общий коэффициент тепловых потерь, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$T_T = 328 \text{ К}$ – средняя температура теплоносителя в коллекторе;

T_a – температура окружающего воздуха, К .

Примем произведение $\alpha\tau$ равное 1,08 [39].

Определим температуру окружающего воздуха для каждого месяца опираясь на данные приведенные в таблице 3.10 (данные взяты за последние 6 лет согласно усредненному значению температуры для Центральной Украины).

Таблица 3.10 – Значения среднемесячной температуры окружающего воздуха за 2012 – 2017 гг. для Центральной Украины.

| Месяц | Усредненное значение за 6 лет, °С | Усредненное значение за 6 лет, К |
|----------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Январь | -6,15 | 266,85 |
| Февраль | -3,96 | 269,04 |
| Март | 2,72 | 275,72 |
| Апрель | 10,35 | 283,35 |
| Май | 17,26 | 290,26 |
| Июнь | 20,98 | 293,98 |
| Июль | 23,51 | 296,51 |
| Август | 23,33 | 296,33 |
| Сентябрь | 16,73 | 289,73 |
| Октябрь | 7,82 | 280,82 |
| Ноябрь | 2,51 | 275,51 |
| Декабрь | -3,28 | 269,72 |

Количество теплоты, поступающей из теплоприемника на 1 м² солнечного коллектора:

$$Q_{\text{пол1}} = 0,95 \cdot [83,74 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 266,85)] = 0,0505 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол2}} = 0,95 \cdot [206,3 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 269,04)] = 0,1762 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол3}} = 0,95 \cdot [327,5 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 275,72)] = 0,3039 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол4}} = 0,95 \cdot [466,4 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 283,35)] = 0,4483 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол5}} = 0,95 \cdot [633,6 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 290,26)] = 0,6219 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол6}} = 0,95 \cdot [658,8 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 293,98)] = 0,6496 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол7}} = 0,95 \cdot [676,8 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 296,51)] = 0,6693 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол8}} = 0,95 \cdot [581,6 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 296,33)] = 0,5726 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол9}} = 0,95 \cdot [398,9 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 289,73)] = 0,3834 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол}10} = 0,95 \cdot [226,9 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 280,82)] = 0,2037 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол}11} = 0,95 \cdot [94,68 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 275,51)] = 0,0665 \text{ ГДж};$$

$$Q_{\text{пол}12} = 0,95 \cdot [72,1 \cdot (1,08) - 0,6 \cdot (328 - 269,72)] = 0,0403 \text{ ГДж};$$

Данные вводим в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Ежемесячное количество теплоты, поступающей из теплообменника на 1 м² солнечного коллектора

| Месяц | E_{β} , МДж/м ² | T_a , К | $Q_{\text{пол}}$, ГДж. | $Q_{\text{пол}}$, Вт · ч |
|----------|-------------------------------------|--------------|----------------------------|------------------------------|
| I | 83,74 | 266,85 | 0,0505 | 14027 |
| II | 206,3 | 269,04 | 0,1762 | 48944 |
| III | 327,5 | 275,72 | 0,3039 | 84416 |
| IV | 466,4 | 283,35 | 0,4483 | 124527 |
| V | 633,6 | 290,26 | 0,6219 | 172750 |
| VI | 658,8 | 293,98 | 0,6496 | 180444 |
| VII | 676,8 | 296,51 | 0,6693 | 185916 |
| VIII | 581,6 | 296,33 | 0,5726 | 159055 |
| IX | 398,9 | 289,73 | 0,3834 | 106500 |
| X | 226,9 | 280,82 | 0,2037 | 56583 |
| XI | 94,68 | 275,51 | 0,0665 | 18472 |
| XII | 72,1 | 269,72 | 0,0403 | 11194 |
| Σ | - | - | 4,19 | 1162828 |

Рассчитаем среднее значение необходимой площади солнечных коллекторов для определенного значения тепловой нагрузки для каждого месяца по формуле:

$$S_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ГВС}\Sigma}}{Q_{\Sigma}}, \text{ м}^2$$

Результаты расчета сведем в таблицу 3.12.

Таблица 3.12 – Необходимая площадь солнечных коллекторов

| Месяц | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|------------------------------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|----|-----|
| $S_{\text{ср}}, \text{ м}^2$ | 51,4 | 13,8 | 7,6 | 5,04 | 3,75 | 3,09 | 3,1 | 3,6 | 5,9 | 11,4 | 34 | 64 |

Как видно из таблицы, с октября по февраль, необходима большая площадь солнечных коллекторов для полного покрытия тепловой нагрузки, что является нерациональным для летнего периода. Поэтому рассчитаем среднее значение площади для года:

$$S_{\text{ср год}} = \frac{Q_{\text{ГВС}\Sigma}}{Q_{\Sigma}} = \frac{7659,5}{1162,83} = 6,5 \text{ м}^2 .$$

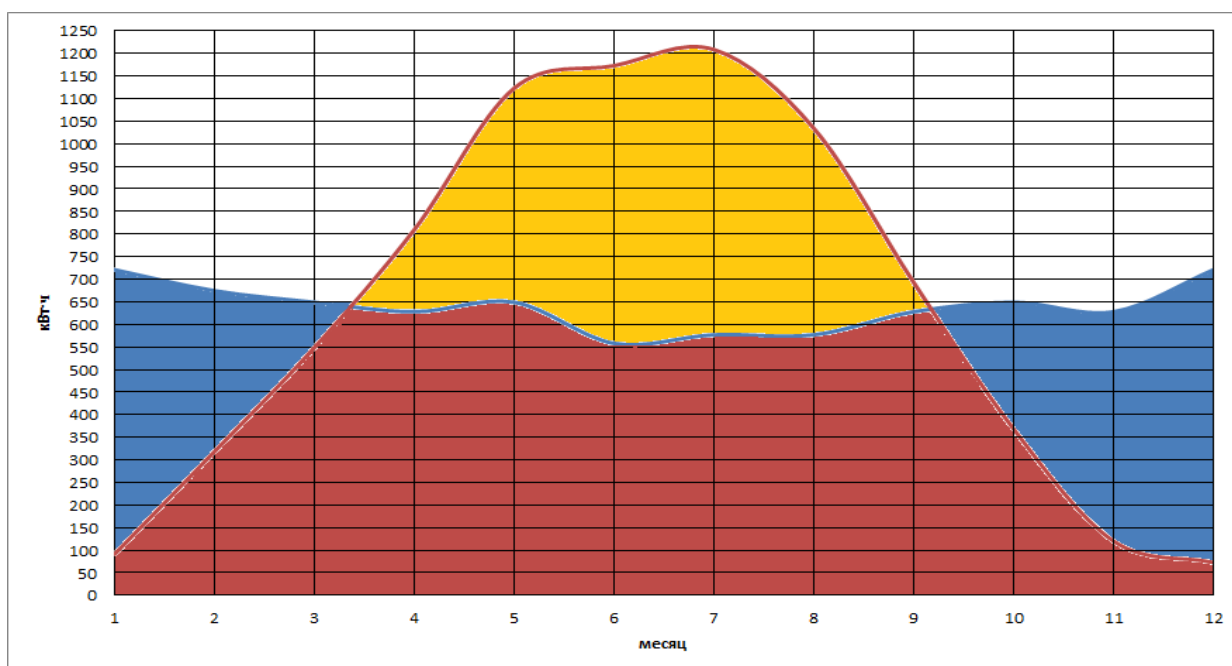


Рисунок 3.6 – Энергия, вырабатываемая солнечной установкой и годовая потребность энергии для приготовления горячей воды и отопления

- — потребляемая энергия;
- — энергия, вырабатываемая гелиоколлекторной установкой;
- — оставшаяся непокрытой потребность в энергии (требуется дополнительный нагрев);
- — избыток солнечной энергии (можно использовать, например, для подогрева воды в бассейне)
- — использованная солнечная энергия.

Определим количество вакуумных трубок:

$$N = \frac{S_{\text{ср год}}}{S_{\text{тр}}} = \frac{6,5}{0,1044} = 62 \text{ трубки}$$

3.3.4 Выбор накопительного бака

Исходя из потребляемого количества воды в сутки принимаем объем. Выбираем бивалентный бак Euroterm ВТА-1 солар+[40].

Бивалентный водонагреватель оснащен двумя теплообменниками: нижний – для подключения к гелиоконтур для нагрева воды с помощью солнечной энергии, а верхний – для дополнительного подогрева воды отопительным котлом в случае необходимости и отопления.

На рисунке 3.7 изображено распределение тепла в бивалентном водонагревателе в течение суток

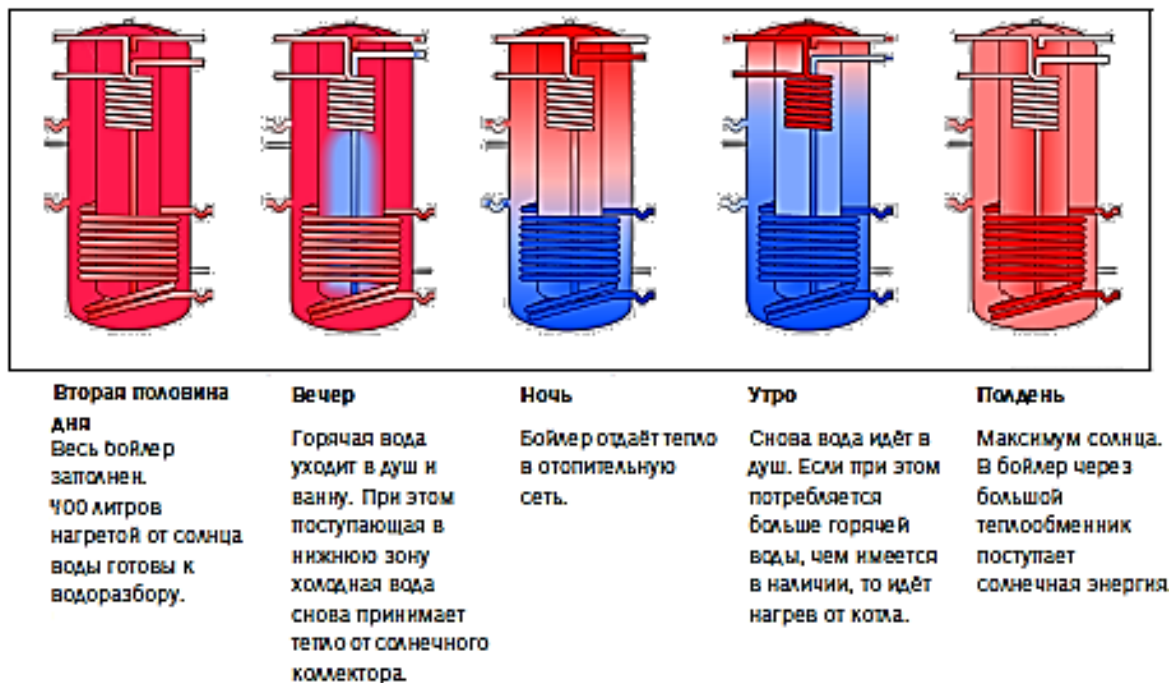


Рисунок 3.7 – Комбинированный бивалентный водонагреватель для горячего водоснабжения и поддержки отопления

Комбинированный емкостный водонагреватель представляет собой комбинацию буферной емкости для отопления и емкостного водонагревателя для горячего водоснабжения. Он подходит также для подключения нескольких генераторов теплоты. Отбор теплоты для горячего водоснабжения происходит с помощью встроенного теплообменника в котором нагревается холодная вода.

3.3.5 Выбор дополнительного источника нагрева

Так как имеется полностью автономная система, наиболее продуктивным и менее затратным будет применение, в качестве источника косвенного подогрева воды, котла на биомассе.

Целесообразно подключение солнечной системы к бивалентному водонагревателю в доме, который отапливается котлом на гранулированном топливе (пеллеты) с автоматической подачей топлива. Поэтому был выбран твердотопливный котел Kostrzewa Pellets Fuzzy Logic 2-50, технические характеристики которого приведены в таблице 3.13 [41].

Пеллетный котел автоматической подачей топлива Kostrzewa Pellets Fuzzy Logic 2-50 это работающая установка практически на всех видах твердого топлива. Топливо в виде пеллет засыпается в бункер очень большой вместимости. Заполнение такого бункера в зависимости от энергопотребления здания обеспечивает работу оборудования без обслуживания в течение 7-30 дней.

Данный котел предназначен для сжигания: гранул из опилок (пеллет), угольного горошка, овса³, а также древесины (на дополнительной колосниковой решетке, которая поставляется с котлом). Модуляция горелки методом Fuzzy Logic: мощность котла (от 10% до 100%) плавно настраивается автоматически от тепловой потребности помещения.

Таблица 3.13 – Технические характеристики Kostrzewa Pellets Fuzzy Logic 2 50

| | | |
|---|-----------------|---------|
| Диапазон мощности | кВт | 15-50 |
| Объем воды в котле | дм ³ | 120 |
| Макс. рабочее давление | бар | 2 |
| Рекомендуемая/мин.температура воды | °С | 70/50 |
| Тяга дымохода | мбар | 0,2-0,3 |
| Масса топлива в бункере (гранулы) | кг | 320 |
| Размеры отверстия для наполнения топлива | мм | 350x350 |
| Примерный расход топлива при номинальной мощности (гранулы) | кг/час | 11,6 |
| Примерный расход топлива при минимальной мощности (гранулы) | кг/час | 3,48 |

3.3.6 Расчет расширительного бака

Исходя из объемов потребляемой воды (400 л) и норм давления в системе выбираем расширительный бак исходя из соотношения:

$$V_{\text{расш.бака}} = 0,1 \cdot V_{\text{бака}} = 0,1 \cdot 400 = 40 \text{ л}$$

Принимаем расширительный бак Aquasystem VSV40 [42] с характеристиками:

- $V = 40$ – ёмкость бака (объём), литров.
- $h = 365$ – высота бака, мм.
- $d = 450$ – диаметр (габариты) бака, мм.
- $P_{\text{max}} = 10$ – максимальное рабочее давление, бар.
- $P_{\text{нач}} = 2,5$ – предустановленное давление, бар.

– DN = 3/4" – номинальный диаметр присоединительного штуцера, дюймов.

3.3.7 Выбор контроллера

С помощью интеллектуального регулятора управления в сочетании с гелиоколлекторами обеспечивается особенно эффективное использование солнечной энергии. Регуляторы предназначены для использования в одно- и многоконтурных гелиоустановках. Контроллер обеспечивает максимально возможную эффективность использования солнечной энергии для приготовления горячей воды или поддержания системы отопления.

Контроллер – обязательный элемент гелиосистем с принудительной циркуляцией теплоносителя. Он предназначен для управления процессом нагрева от солнца и контроля состояния гелиосистемы, а также, в зависимости от контроллера, может управлять и другими теплотехническими процессами в общей системе. Контроллер получает информацию от датчиков температуры (один из которых обязательно находится в солнечном коллекторе) и выбирает необходимый режим работы.

Эффективность и безопасность гелиосистемы в значительной мере зависят от контроллера: правильности заложенных алгоритмов работы гелиосистемы, надежности элементов.

Наиболее подходящим для данной системы горячего водоснабжения и отопления был выбран контроллер фирмы RUCELF SR 868 C8 [43] с характеристиками приведенными в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Характеристики контроллера

| | |
|-------------------------------|------------------|
| Потребляемая мощность | 3 Вт |
| Напряжение питания | ~110/220V, 93 Вт |
| Точность измерения температур | ± 2 0С |
| Условия эксплуатации | -10...50 0С |
| Класс защиты | IP 40 |
| Габариты | 120x120x18 мм |

3.3.8 Выбор насосной станции

Учитывая количество вакуумных солнечных коллекторов выбираем насосную станцию BOSCH AGS20 [44].

Характеристики выбранной станции:

- высота подачи воды до 6м;
- индикатор объемного расхода байпасной линии 4-36 л/мин;
- максимальная температура 110 градусов;
- рабочее давление 8 бар.

3.3.9 Проверка правильности выбора площади солнечного коллектора

Нужную площадь коллекторов выбираем по ясному дню теплого месяца года (июль):

$$A = N/n; \text{ м}^2,$$

где $N = 400$ л – суточное потребление горячей воды, л.;

n – суточная производительность 1 м^2 солнечного коллектора, которая определяется по формуле:

$$n = \frac{Q_{\text{пол}}}{m \cdot c \cdot (t_{\text{гар}} - t_{\text{хол}})}, \text{ л/м}^2 \cdot \text{день},$$

где $Q_{\text{пол}}$ – количество полезного тепла, что вырабатывается коллектором, кВт·ч/м²·сутки; $Q_{\text{пол}} = 3.18$ кВт·ч/м²·сутки;

m – удельный вес воды, кг/л.; $m = 1$ кг/л.;

c – теплоемкость воды, кВт·ч/ м²·°С.; $c = 0,001$ кВт·ч / м²·°С.;

$t_{\text{гар}} = 55^\circ\text{С}$, $t_{\text{хол}} = 5^\circ\text{С}$ – соответственно температура горячей и холодной воды, °С

$$n = \frac{3.18}{1 \cdot 0,001 \cdot (55 - 5)} = 63.7 \text{ л/м}^2 \cdot \text{день}$$

Нужная площадь солнечного коллектора:

$$A = \frac{400}{63.7} = 6.28 \text{ м}^2$$

В результате предлагается внедрить гелиоустановку со следующими параметрами:

- 3 вакуумных коллектора Altek SC-LH1 на 30,20 и 15 трубок
- Объем бака аккумулятора – 400 м³;
- Расход теплоносителя 15 л/мин.
- Теплоноситель – этиленгликоль.

Выбираем структуру системы горячего водоснабжения и отопления на базе солнечных коллекторов и твердотопливного котла. Ее вид представлен на рисунке 3.8.

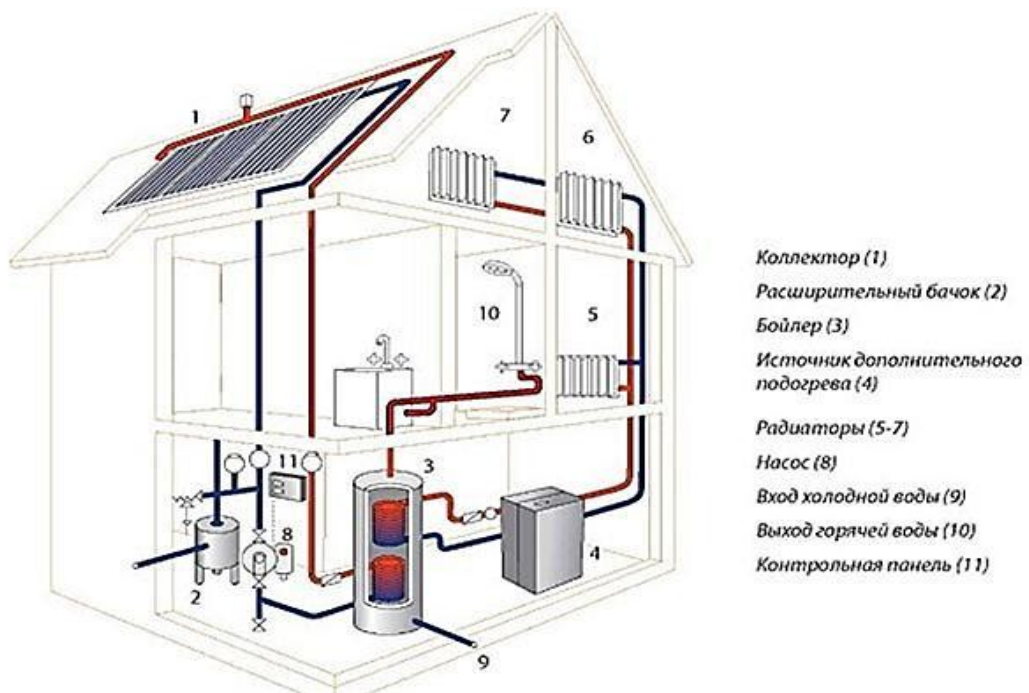


Рисунок 3.8 – Структура системы горячего водоснабжения с поддержкой отопления

3.4 Выбор ветроустановки

Исходя из анализа графиков электрических нагрузок (рис. 3.2 и рис. 3.3), становится очевидно, что для обеспечения электрической энергией потребителя необходимо использовать ВЭУ номинальная мощность которой соответствует максимальному потреблению – 4,2 кВт. При этом, данная ВЭУ должна вырабатывать электрическую энергию при относительно малых скоростях ветра.

Согласно рисунку 2.38, на высоте 30 м с вероятностью 20% встречаются ветра со скоростью 6-7 м/с, а с вероятностью в 15% – ветра скоростью 8 м/с встречаются практически во всех частях Центральной Украины. Исключение составляют – г. Лубны, г. Миргород и г. Полтава, где фиксируются с большой вероятностью низкие скорости ветра, следовательно, для этих городов необходимо выбирать тихоходные ВЭУ.

Выполним расчет ВЭУ для условий города Кропивницкий.

Согласно анализа рынка ВЭУ мощностью до 10 кВт и справочной литературы [45, 46, 47,48] были выбраны 3 вида ВЭУ паспортные данные которых приведены в таблице 3.15 и мощностные характеристики – на рисунке 3.9.

Таблица 3.15 Характеристики ВЭУ

| № п/п | Параметры | СВ-6.7/1000 | WindKraft 5000W | EuroWind 5000W |
|-------|---------------------------------|-------------|-----------------|----------------|
| 1 | Диаметр ветротурбины, м | 6,7 | 6,0 | 6,4 |
| 2 | Стартовая скорость ветра, м/с | 2...3 | 2...3 | 2-3 |
| 3 | Номинальная скорость ветра, м/с | 8 | 10 | 10 |

Продолжение таблицы 3.15

| | | | | |
|---|---|-------------|-------------|-------------|
| 4 | Максимальная эксплуатационная скорость ветра, м/с | 40...50 м/с | 40 | 40 |
| 5 | Напряжение генератора, В (стабилизированное) | 240 | 240 | 240 |
| 6 | Номинальная мощность, Вт | 4000 | 5000 | 5000 |
| 7 | Максимальная мощность, Вт | 4600 | 6500 | 6400 |
| 8 | Рекомендуемая высота мачты, м | 21...27 | не менее 20 | не менее 20 |
| 9 | Срок службы, лет | не менее 15 | не менее 15 | не менее 15 |

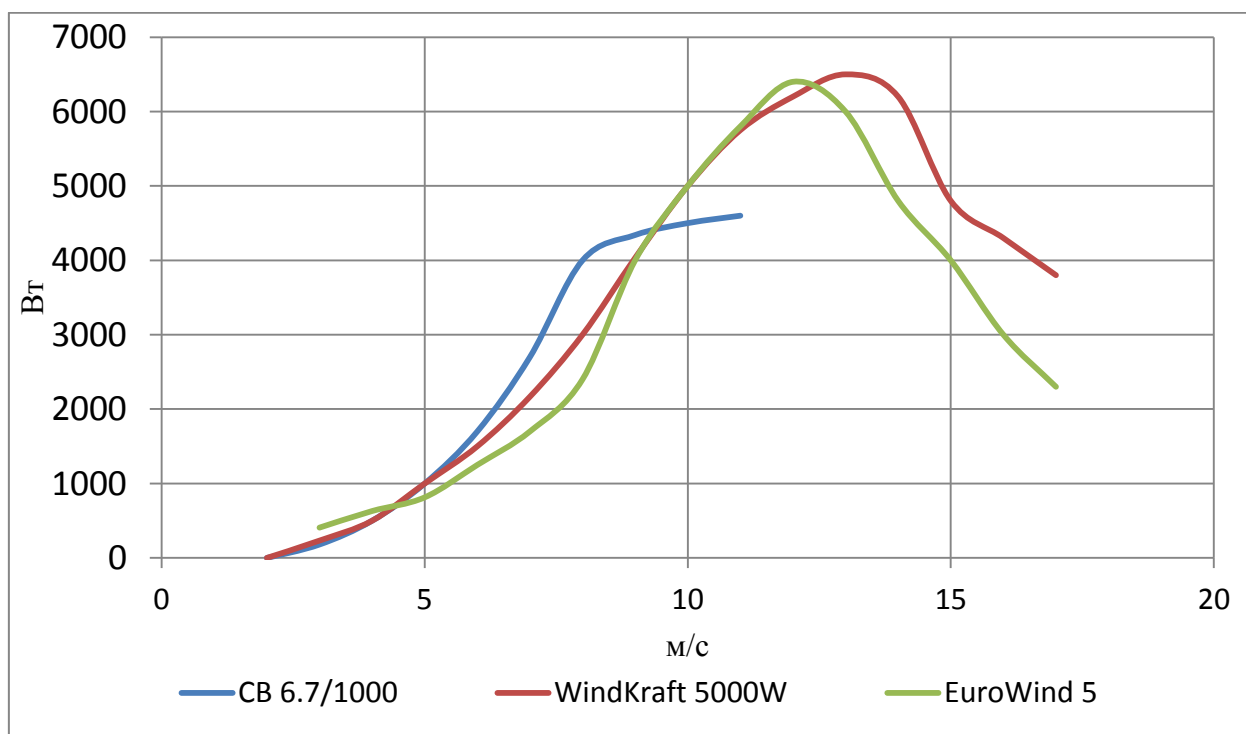


Рисунок 3.9 – Зависимость мощности ветроустановки от скорости ветра

Исходя из сравнения вероятности распределения скоростей ветра за 2012-2017 гг. и мощностных характеристик ВЭУ становится очевидным, что

больше всего для условий Центрально Украины подходит ВЭУ СВ-6.7/1000 , так как она работает на относительно низких скоростях ветра, а также имеет аэромеханическая систему стабилизации частоты вращения, остановку флюгированием (аэродинамический тормоз) и тихоходный генератор с прямым приводом.

Достоинством данного ветрогенератора является также и то, что в поставляемую комплектацию входит неуправляемый выпрямитель и автономный инвертор, выдающий на выходе «чистую» синусоиду с напряжением 240 В.

Рассчитаем фактическую выработку электрической энергии данной ветроустановкой. Для этого воспользуемся кривой распределения скоростей ветра (рис. 2.38) и зависимостью мощности ВЭУ от скорости ветра (рисунок 3.9). Полученные данные занесены в таблицу 3.16 и изображены на рисунке 3.10.

Таблица 3.16 Выработка электроэнергии ветроустановкой СВ-6.7/1000 за год

| V_i , м/с | Вероятность, % | t, час | $P_{ВЭУ}$, кВт | W, кВт·час |
|----------------|-------------------|-----------|--------------------|---------------|
| 0 | 6,76 | 592,89 | 0 | 0 |
| 1 | 6,92 | 606,88 | 0 | 0 |
| 3 | 35,14 | 3078,54 | 0,18 | 554,136 |
| 5 | 16,26 | 1424,67 | 1 | 1424,67 |
| 7 | 23,04 | 2018,64 | 2,7 | 5450,33 |
| 9 | 9,21 | 807,02 | 4,34 | 3502,5 |
| 11 | 1,39 | 122,13 | 4,6 | 561,8 |
| 14 | 1,21 | 106,53 | 4,2 | 447,42 |
| 18 | 0,03 | 2,69 | 2,2 | 5,92 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ | | | | 11946,8 |

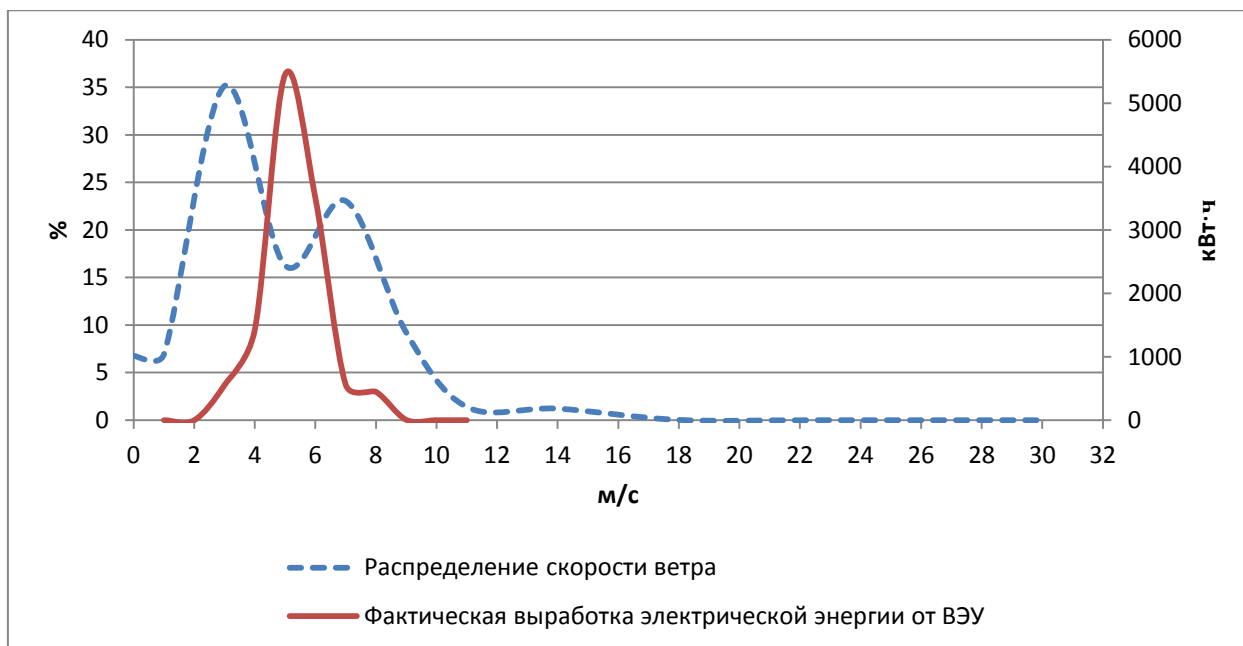


Рисунок 3.10 Выработка электроэнергии при соответствующей скорости

3.5 Выбор ДГУ, инвертора и разработка системы электроснабжения

3.5.1 Выбор дизель-генераторной установки

Исходя из минимальной необходимой мощности коттеджа (табл. 3.4) выберем по каталогам дизель-генераторную установку с системой регулирования, так как в ночной период потребление электроэнергии минимально. Исходя из этих данных, был выбран дизельный генератор Кентавр КДГ-283ЭК [49], в таблице 3.17 приведены паспортные данные.

Данная модель миниэлектростанции в условиях интенсивной эксплуатации способна выполнить большой объем бытовых задач – быть в качестве аварийного или резервного источника освещения, обеспечивать электропитанием различные бытовые электрические устройства, электроприборы, а также электроинструменты. Благодаря наличию автоматического регулятора напряжения, который обеспечивает стабильность выходного напряжения во всем диапазоне допустимых нагрузок, миниэлектростанцию кентавр КДГ-283ЭК можно использовать для электропитания сложного электронного оборудования, средств связи, а также

Таблица 3.17 – Паспортные данные Кентавр КДГ-283ЭК

| Наименование параметра | Значение параметра |
|----------------------------------|------------------------------|
| Тип генератора: | Дизельный |
| Номинальная мощность кВт: | 2.8 |
| Максимальная мощность кВт: | 3.0 |
| Количество фаз | 1 фаза |
| Напряжение, В: | 220 |
| Тип генератора | Синхронный |
| Частота, Гц | 50 Гц |
| Коэффициент мощности, cos φ | 1.0 |
| Система охлаждения | Воздушная |
| Тип двигателя | 4-х тактный, одноцилиндровый |
| Объем двигателя, см ³ | 296 |
| Мощность двигателя, лс. | 6.0 |
| Емкость топливного бака, л. | 15.0 |
| Время бесперебойной работы, ч. | 17.0 |
| Метод запуска | Автоматический |
| Применяемое топливо | Дизельное топливо |
| Объем картера, л. | 0.6 |

специальных и бытовых потребителей (компьютеров, телевизоров, отопительных котлов, насосов, электродвигателей и т.д.).

За счет экономичного двигателя, надежного электрического генератора и емкого топливного бака (15 литров) миниэлектростанция кентавр КДГ-283ЭК, максимальная мощность которой составляет 3,0 кВА, может непрерывно работать на протяжении 8 часов при полном топливном баке. минимальный расход топлива составляет 265 гр/кВт·ч.

Чтобы предотвратить повреждение двигателя в случае недостаточного количества масла в картере, предусмотрена аварийная система – при низком

уровне масла в картере система защиты остановит двигатель, тем самым предотвратит его повреждение.

3.5.2 Выбор инвертора

Исходя из того, что солнечные панели выдают постоянный ток выбираем гибридный инвертор, мощностью не менее максимально возможной нагрузки (рисунок 3.2 – 3.3), Conext XW+ 8548 E [50]. Ниже приведены его паспортные данные.

Таблица 3.18 – Паспортные данные гибридного инвертора Conext XW+ 8548 E

| Наименование параметра | Значение параметра |
|--|-----------------------|
| Номинальная мощность, Вт | 6800 |
| Пиковая мощность, Вт | 8500 (20 мин) |
| Эффективность при 100% нагрузке, % | 93,00 |
| Форма волны переменного тока | Чистая синусоида |
| Собственное потребление (рабочий режим без нагрузки), Вт | 26 |
| Собственное потребление (спящий режим), Вт | < 7 |
| Выходное напряжение переменного тока, В | 230 ±3% |
| Диапазон входного переменного тока, В | 165-280 |
| Максимальный ток в режиме транзита, А | 30 |
| Диапазон частоты входного переменного тока, Гц | 45-55 (по умолчанию) |
| Номинальная выходная частота, Гц | 50,0±0,1 |
| Гармонические искажения, % | < 5 при ном. нагрузке |
| AUX-реле контакта управления (пост. ток) | 0-12 В, макс. 250 мА |
| Диапазон входного постоянного тока, В | 44-64 |
| Размеры инвертора, см | 58,0 x 41,0 x 23,0 |
| Вес инвертора, кг | 52 |
| Температурный режим работы, С° | от -25 до 70 |

3.5.3 Обоснование схемы автономного электроснабжения

На основании выполненных расчетов была разработана схема автономного электроснабжения коттеджа, которая изображена на рисунке 3.11.

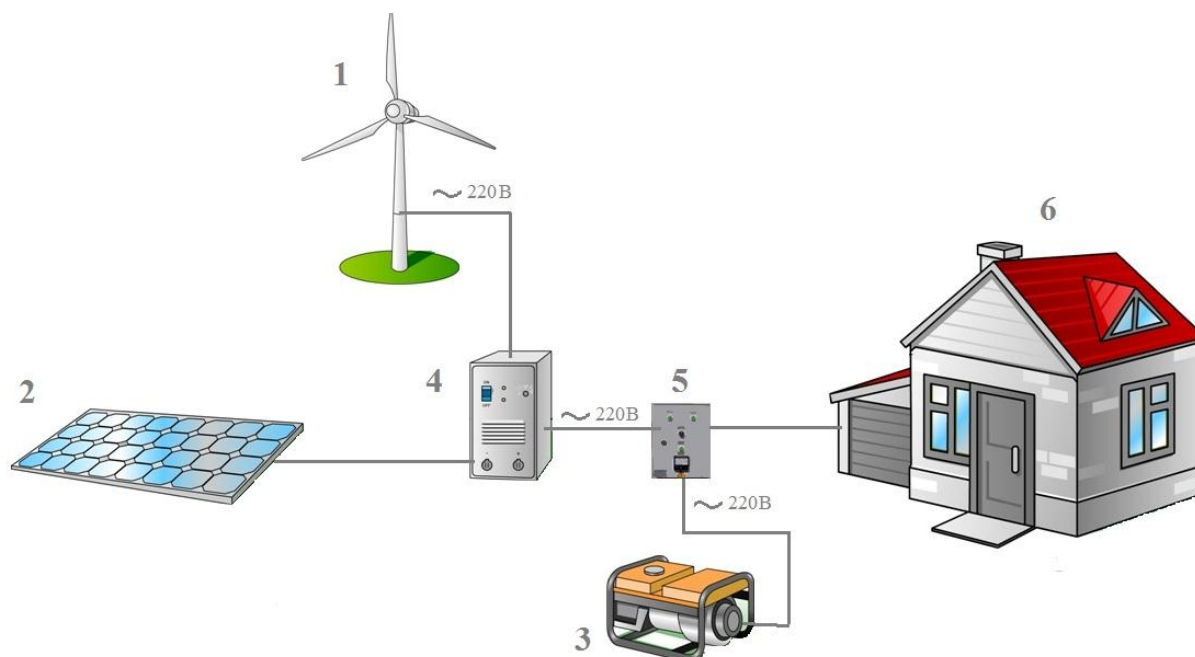


Рисунок 3.11 – Схема подключения автономного электроснабжения:
1 – ветроустановка; 2 – солнечная установка; 3 – дизель-генераторная установка; 4 – гибридный автономный инвертор; 5 – блок управления (автоматический ввод резерва); 6 – нагрузка.

Данная схема разработана исходя из следующих соображений:

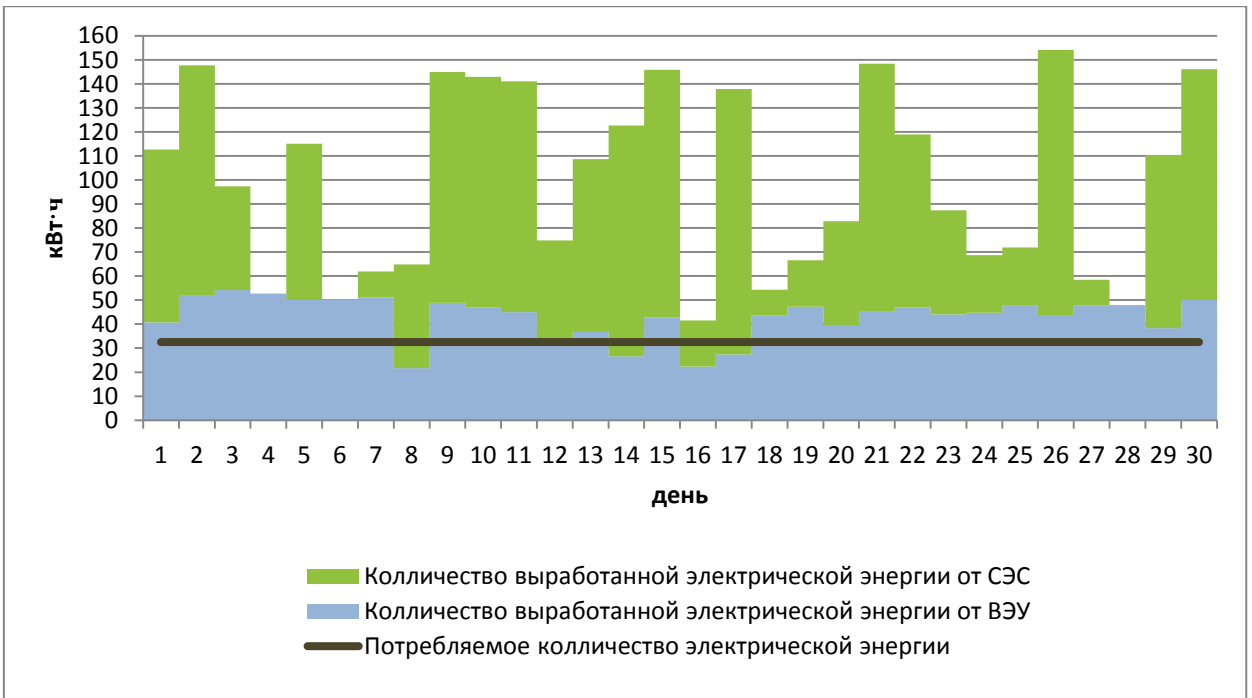
- напряжение потребителя – однофазное, 220 В, следовательно система должна выдавать такое же напряжение;
- напряжение на выходе блока солнечных панелей постоянное для работы инвертора без аккумуляторов (согласно исходным данным) составляет 220 В постоянного тока;
- напряжение на выходе генератора – однофазное, 220 В;
- напряжение на выходе дизель генератора – однофазное, 220 В.

За согласование работы всех источников необходимо предусматривать в системе электронный блок (автоматический ввод резерва – АВР) который в

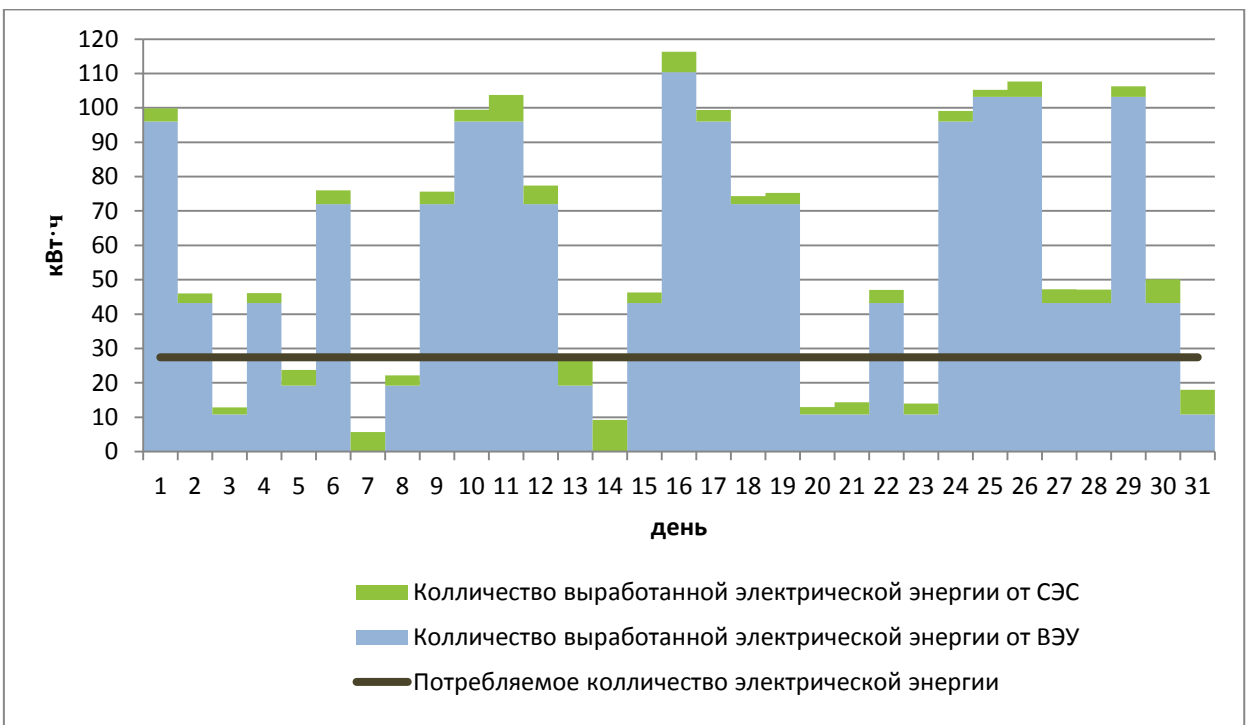
соответствии с нагрузкой будет выбирать один или несколько источников энергии и подключать его к выходу.

В соответствии с предложенной схемой (рис. 3.11) и возможным алгоритмом ее работы с АВР, когда резервный источник – ДГУ, было выполнено моделирование работы такой системы. Результаты моделирования приведены на рис. 3.12...3.14. Рассмотрены один зимний (декабрь) и один летний (июнь) месяцы – рис. 3.12, *а, б*, а также для 1-го числа указанных месяцев: соответственно для 1-го июня (рис. 3.13) и 1-го декабря (рис. 3.14).

Анализ данных результатов показывает, что в летний период включения дизельной станции минимально возможно. Однако в зимний период, особенно в тихие и пасмурные дни, ДГУ будет обеспечивать выработку необходимого количества электрической энергии (темная область на рисунках 3.12...3.14). Графики построены на основании усреднения данных за последние 6 лет по каждому из месяцев и дней.



а)



б)

Рисунок 3.12 – Месячная выработка электрической энергии

а) – для июня; б) – для декабря

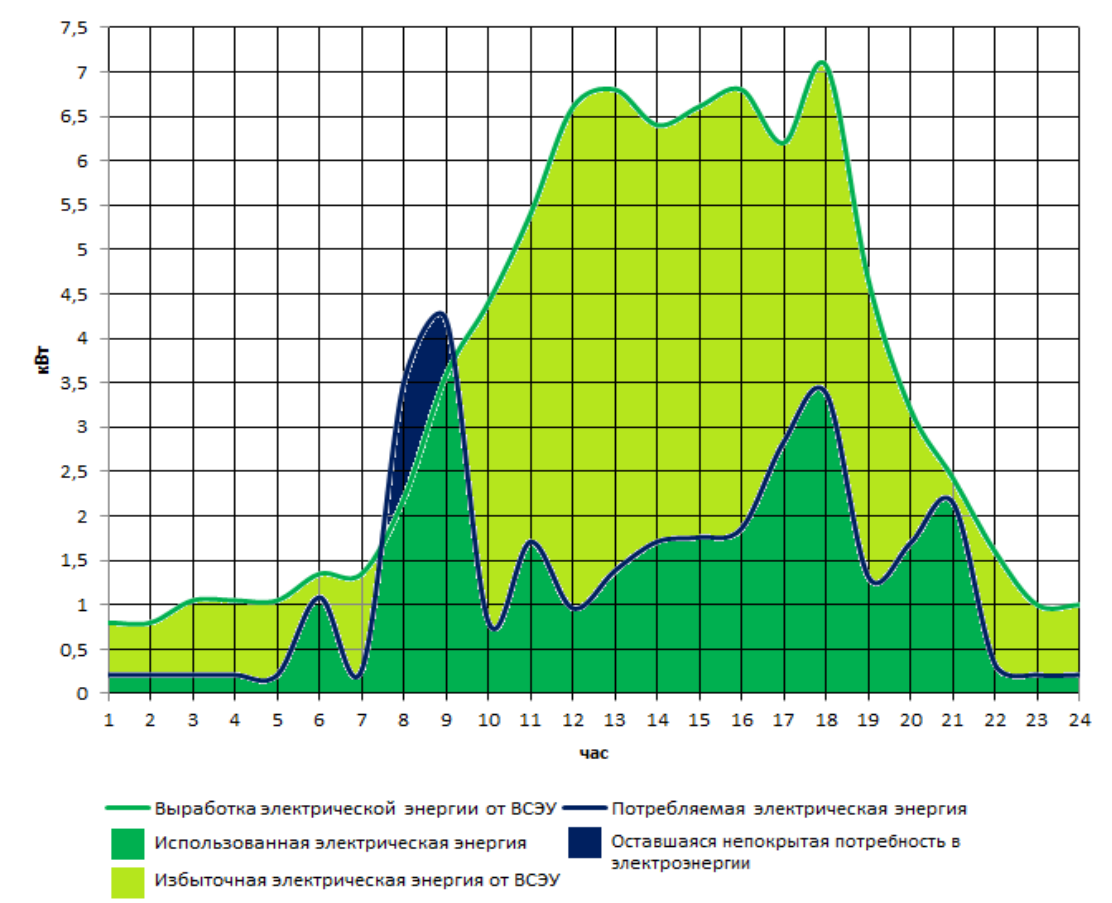
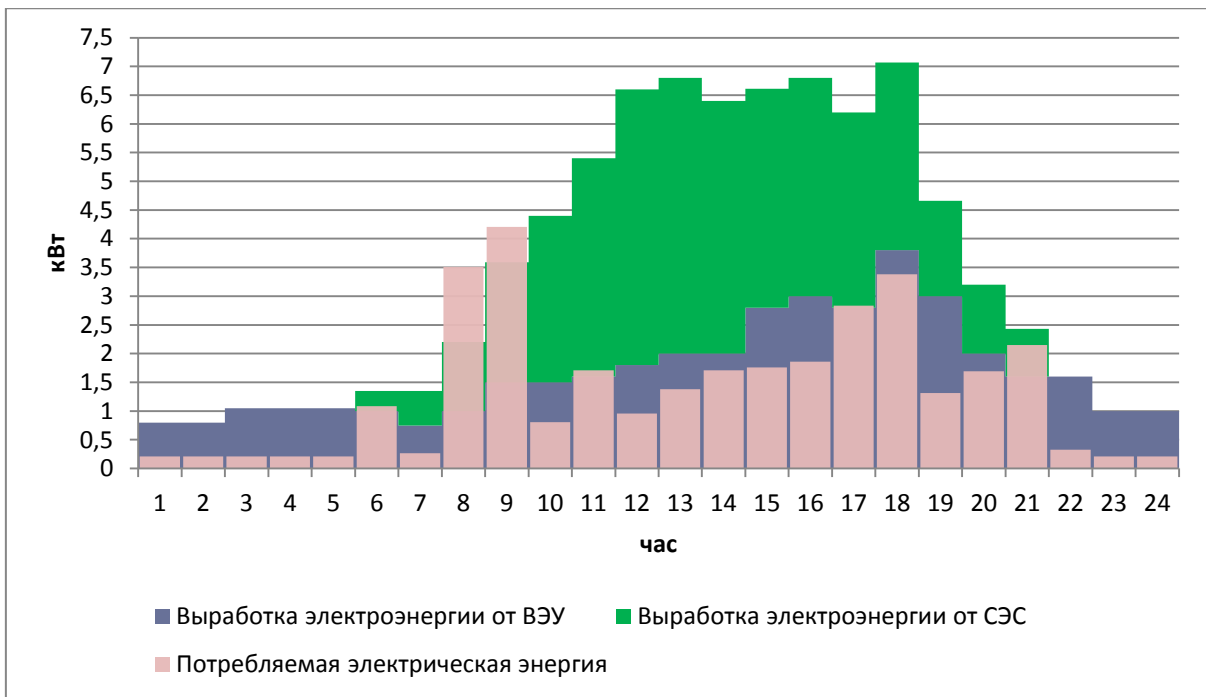
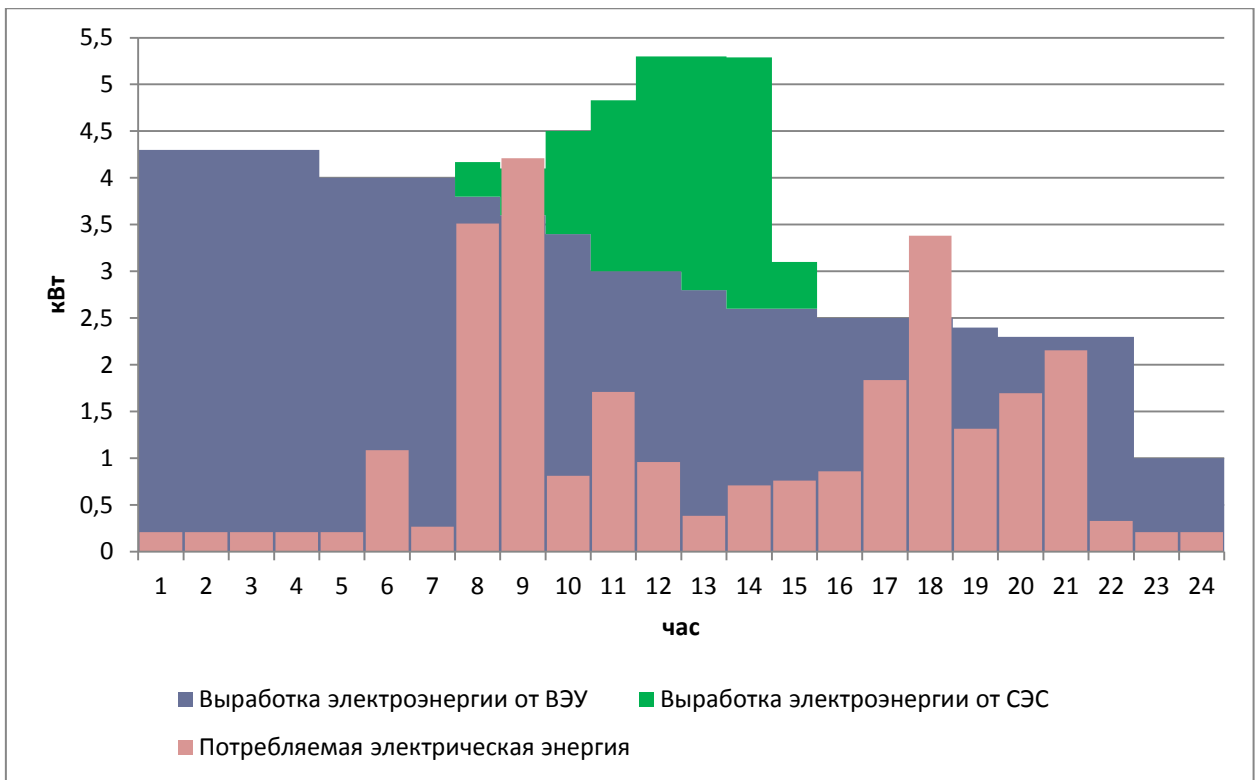
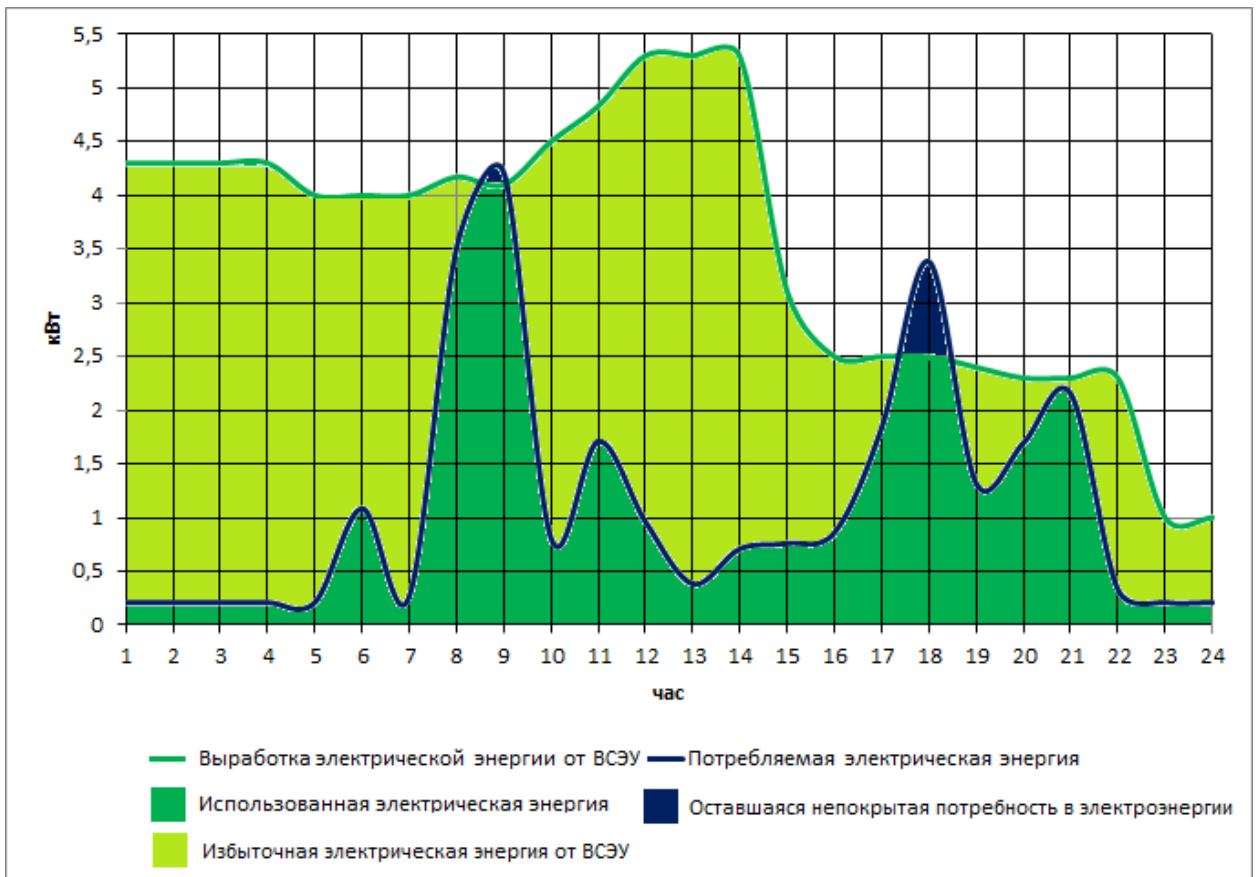


Рисунок 3.13 – Суточная выработка (а) и потребление (б) электрической энергии компонентами энергосистемы коттеджа для 1-го июня 2017 г.



а)



б)

Рисунок 3.14 – Суточная выработка (а) и потребление (б) электрической энергии компонентами энергосистемы коттеджа для 1-го декабря 2017 г.

3.6 Выводы к разделу

В результате выполненных расчетов энергопотребления отдельного коттеджа неподключенного к энергосистеме для условий Центральной Украины (Полтавская и Кировоградская области, показано что комплексное использование альтернативных источников энергии (солнечной и ветровой), а также в качестве резервного источника – дизель-генераторную установку, позволяет его обеспечить энергией.

Выработка электроэнергии в условиях Центральной Украины на панелях с использованием технологии монокристалла и поликристалла практически одинаково. Но в результате более низкой стоимости поликристаллических панелей, себестоимость установки будет несколько ниже.

Для условий Центральной Украины лучше использовать отечественные тихоходные ветрогенераторы, которые обеспечивают достаточную выработку электроэнергии при малых скоростях ветра.

РАЗДЕЛ 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Введение

На большей территории Украины, в частности ее центральной части, энергетические потенциалы ветра и солнечного излучения являются низкими. Для работы в таких условиях необходимо искать подходы к построению комбинированных гибридных установок, которые бы сочетали высокую энергетическую эффективность с низкой удельной (на единицу мощности) стоимости, что будет способствовать более быстрой окупаемости системы.

Поэтому в данной магистерской диссертации был проведен расчет системы комплексного эффективного энергоснабжения коттеджа на основе возобновляемых источников энергии в условиях Центральной Украины.

В связи с этим необходимо определить капитальные и эксплуатационные затраты по внедрению такой системы и рассчитать ее срок окупаемости. А также оценить, насколько данная система экономически выгодна в сравнении с базовой системой, в которой в качестве источника электрической энергии используется дизельный генератор, а в качестве тепловой – pelletный котел.

4.1 Расчет капитальных затрат

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м(н)}},$$

где $K_{\text{об}}(\sum_{i=1}^k C_i)$ – стоимость приобретения электрооборудования (средств автоматизации, программного обеспечения и т.д.) по проекту или суммарная стоимость комплектующих элементов i - го вида, необходимых для реализации принятого технического решения; k - количество необходимых комплектующих элементов;

$Z_{\text{тзс}}$ – транспортно-заготовительные и складские расходы;

$Z_{м(н)}$ – затраты на монтажные и наладочные работы.

Таблица 4.1 –Сводка капитальных затрат, грн.

| № п/п | Наименование технических средств (комплектующих изделий) | Количе- ство | Цена за единицу, грн. | Сумма, грн. |
|----------|---|-----------------|-----------------------------|----------------|
| 1 | Поликристаллический модуль KDM KD 260p | 25 | 3864 | 96600 |
| 2 | Вакуумный солнечный коллектор SC-LH1-15 | 1 | 12176,19 | 12176,19 |
| 3 | Вакуумный солнечный коллектор SC-LH1-20 | 1 | 16158,64 | 16158,64 |
| 4 | Вакуумный солнечный коллектор SC-LH1-30 | 1 | 19708,63 | 19708,63 |
| 5 | Бивалентный бак Euroterm ВТА-1 солар+ | 1 | 28812 | 28812 |
| 6 | Пеллетный котел Kostrzewa Pellets Fuzzy Logic | 1 | 14250 | 14250 |
| 7 | Расширительный бак Aquasystem VSV40 | 1 | 1274,28 | 1274,28 |
| 8 | Расширительный бак Aquasystem VSV35 | 1 | 1056,6 | 1056,6 |
| 9 | Контроллер RUCELF SR 868 C8 | 1 | 3528,6 | 3528,6 |
| 10 | Насосная станция BOSCH AGS20 | 1 | 1015 | 1015 |
| 11 | Теплоноситель, жидкость для кон- тура гелиосистемы | 50 | 50 | 2500 |
| 12 | Ветроустановка СВ-6.7/1000 | 1 | 235578 | 235578 |
| 13 | Дизельный генератор Кентавр КДГ-283ЭК | 1 | 14699 | 14699 |
| 14 | Гибридный инвертор Conext XW+ 8548 E | 1 | 111972 | 111972 |
| Всего | | | | 559329 |

Стоимостные показатели оборудования определены по состоянию на 29.12.2017:

Стоимость транспортно-заготовительных и складских расходов ($Z_{ТЗС}$), согласно прайс-листам вышеперечисленных компаний является бесплатной, если заказ выполнен на сумму от 5000 грн. В данном случае $Z_{ТЗС} = 0$.

Затраты на монтажные (Z_M) и на наладочные работы (Z_H) можно определить следующим образом:

Затраты на электромонтажные работы по установке солнечных панелей, коллекторов, отопительного контура и контура водоснабжения, ветроустановки, согласно прайс-листа компании «ЭкоДом» [51], составляют:

$$Z_{M(H)} = Z_{МСЭС} + Z_{МВЭУ} + Z_{МГВС+O} ,$$

где, $Z_{МСЭС} = 19600$ грн –затраты на монтаж и наладку солнечной станции, $Z_{МВЭУ} = 21000$ грн – затраты на монтаж и наладку ветроустановки, $Z_{МГВС+O} = 38400$ грн – затраты на монтаж и наладку гелиоустановки, подключение ГВС и отопительного контура.

$$Z_{M(H)} = 19600 + 21000 + 38400 = 79000 \text{ грн.}$$

Согласно, капитальные затраты на создание и внедрение системы будут составлять:

$$K_{пр} = 559329 + 79000 = 638329 \text{ грн.}$$

4.2 Расчет эксплуатационных затрат

Годовые эксплуатационные затраты составляют:

$$C = C_a + C_3 + C_{пр}, \quad \text{грн.}$$

где, C_a – амортизационные отчисления;

C_T – затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования;

C_3 – стоимость электроэнергии, потребляемой объектом проектирования.

4.2.1 Расчет амортизационных отчислений

Амортизация объекта основных средств начисляется исходя из времени его использования. Время полезного использования объекта основных средств начисляется исходя из времени его полезного использования. Срок полезного использования объектов основных средств и нематериальных активов 5 лет, исходя из ожидаемых экономических выгод, технических и качественных характеристик основного средства, морального и физического износа, а также других факторов, которые могут повлиять на возможность использования. Срок полезного использования внедряемого оборудования составляет 12 лет.

Норма амортизации при прямолинейном методе постоянна в течение всего амортизационного периода и равна:

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100, \%$$

где, T_n – срок полезного использования (амортизационный период);

Φ_n – первоначальная (или переоцененная) стоимость объекта основных средств.

Норма амортизации для базового варианта:

$$H_{a(Б)} = \frac{205080}{205080 \cdot 5} \cdot 100\% = 20\%.$$

Норма амортизации для проектного варианта:

$$H_{a(П)} = \frac{638328,94}{638328,94 \cdot 12} \cdot 100\% = 8,3\%.$$

Тогда годовые амортизационные отчисления АО при прямолинейном методе:

$$AO = \frac{\Phi_{п} \cdot H_{a}}{100}.$$

Годовые амортизационные отчисления для базового варианта:

$$AO_{пр(Б)} = \frac{205080 \cdot 20}{100} = 41016 \text{ грн.}$$

Годовые амортизационные отчисления для проектного варианта:

$$AO_{пр(П)} = \frac{638328,94 \cdot 8,3}{100} = 52981 \text{ грн.}$$

Таблица 4.2 – Расчет амортизационных отчислений

| № п/п | Наименование показателей | Капитальные за- траты, тыс. грн. | Норма амор- тизации, % | Сумма амор- тизации, грн. |
|----------|-----------------------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1 | Проектный вариант | 638328 | 8,3 | 52981 |
| 2 | Базовый вариант | 205080 | 20 | 41016 |

4.2.2 Определение годовых затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт

Годовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт оборудования включают затраты на материалы, запасные части, заработную плату ремонтным работникам и могут определяться по фактическим данным предприятия и составляют 5% [51] от величины капитальных затрат.

$$C_T = 0,05 \cdot K_{\text{пр}},$$

Годовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт для базового варианта:

$$C_{T(\text{б})} = 0,05 \cdot 205080 = 10254 \text{ грн.}$$

Годовые затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт для проектного варианта:

$$C_{T(\text{п})} = 0,05 \cdot 638329 = 31916 \text{ грн.}$$

4.2.3 Расчет стоимости потребленной электрической и тепловой энергии

Стоимость тепловой и электрической энергии, потребленной объектом в течение года определяется, исходя из цены на дизельное топливо и топливные гранулы:

$$C_{\text{э+т}} = W_{\text{г}} \cdot V \cdot C_{\text{дт}} + M_{\text{г}} \cdot C_{\text{тг}}, \quad \text{грн.},$$

где $W_{\text{г}}$ – количество потребленной за год электроэнергии, кВт·ч;

$V = 0,265$ л/кВт·ч – расход дизельного топлива;

$C_з = 26,15$ грн./л – цена дизельного топлива (по состоянию на декабрь 2017 года, согласно с данными "Консалтинговой группы А-95");

$M_г$ – масса топливных гранул, т;

$C_{тг} = 2580$ грн./т – цена топливных гранул.

Для базового варианта:

$$C_з = 9166,86 \cdot 0,265 \cdot 26,15 + 40,254 \cdot 2580 = 167379 \text{ грн.}$$

Для проектного варианта:

$$C_з = 665,76 \cdot 0,265 \cdot 26,15 + 10,022 \cdot 2580 = 30469 \text{ грн.}$$

Следовательно, годовые эксплуатационные затраты базового варианта составят:

$$C_б = 41016 + 10254 + 167379 = 218649 \text{ грн.}$$

Годовые эксплуатационные затраты проектного варианта составляют:

$$C_п = 52981 + 31916 + 30469 = 115366 \text{ грн.}$$

Определим годовую экономию средств от внедрения проекта:

$$\Delta C = C_б - C_п = 218649 - 115366 = 103283 \text{ грн.}$$

4.3 Определение и анализ показателей экономической эффективности

Оценка экономической эффективности рассмотренных в магистерской диссертации технических и организационных решений осуществляется на основе определения и анализа следующих показателей:

1) расчетный коэффициент эффективности капитальных затрат:

$$E_p = \frac{\Delta C}{K_{пр}} = \frac{103283}{638328} = 0,16, \text{ доли ед.}$$

Данный коэффициент показывает, что одна гривна капитальных вложений приносит 0,16 грн., дополнительной прибыли;

2) срок окупаемости капитальных вложений:

$$T_{ок} = \frac{K_{пр}}{\Delta C} = \frac{638328}{103283} = 6 \text{ лет}$$

Срок окупаемости капитальных вложений показывает, что они окупятся за 6 лет за счет экономии от внедрения принятого технического решения в данной магистерской диссертации.

Проект капитальных вложений считается целесообразным, если выполняется условие:

$$E_p > E_n$$

E_n – нормативное значение коэффициента эффективности определяется исходя принятой индивидуальной нормы прибыльности:

$$E_n = 1/T_{ож},$$

где, $T_{\text{ож}} = 12$ лет, ожидаемый, принятый срок окупаемости капитальных вложений.

Тогда нормативное значение коэффициента эффективности составит:

$$E_n = 1/12 = 0,083$$

Нормативное значение коэффициента эффективности меньше расчетного коэффициента эффективности капитальных затрат $0,083 < 0,16$, это говорит об экономической целесообразности внедрения данного проекта.

4.4 Выводы по разделу

В результате выполнения технико-экономического анализа был произведён расчёт стоимости внедряемого проекта, которая составила 638328 грн., а также рассчитана экономическая эффективность от его внедрения. Было установлено, что при использовании такой системы происходит экономия средств и данная система окупается за 6 лет, что превышает полезный срок использования оборудования, это говорит об эффективности внедрения данного проекта.

ВЫВОДЫ

В результате выполнения исследования в рамках магистерской диссертации были получены следующие результаты:

1. Наиболее перспективными в области построения автономных систем энергообеспечения для удаленных населенных пунктов Центральной Украины является применение гибридных систем на базе структуры ветро-солнечно-дизельной станции с использованием солнечных коллекторов для системы отопления и горячего водоснабжения.

2. Применение тепловых насосов требует специального геологического и гидрогеологического обследования для определения возможных источников низкопотенциального тепла, а также необходима экологическая оценка влияния тепловых насосов на окружающую среду (кроме систем воздух – вода).

3. Погодные и климатические условия Кировоградской и Полтавской областей находятся приблизительно на одном уровне. Однако, однозначных выводов по применению тех или иных систем для этих областей сделать не получается.

4. Анализ солнечной инсоляции показал, что она (инсоляция) для рассматриваемых областей практически одинаковая, и, следовательно решения, принятые для одной области можно реализовывать и в другой (при одинаковых равных исходных условиях). При этом необходимо делать корреляцию на число пасмурных дней.

5. Соотношение пасмурных, солнечных дней и дней с облачностью для областей достаточно разное. Следовательно для тех городов и близлежащей местности где число пасмурных дней более 50 % (например, г. Светловодск, г. Кропивницкий, г. Полтава) для обустройства фотогальванических систем в составе гибридной системы лучше использовать солнечные панели на основе аморфного кремния, которые показывают хорошую эффективность при рассеянном излучении (в пасмурную погоду).

6. Выработка электроэнергии в условиях Центральной Украины для местности, где количество солнечных дней превышает количество пасмурных, на панелях с использованием технологии монокристалла и поликристалла практически одинаково. Но в результате более низкой стоимости поликристаллических панелей, себестоимость установки будет несколько ниже.

7. Для обустройства ветростанций как в составе гибридных систем так и стоящих отдельно в условиях Центральной Украины (Кировоградская и Полтавская области) необходимо применять ветроагрегаты с малой стартовой и малой номинальной скоростью ветра (как горизонтально-осевых, так и вертикально-осевых систем).

8. В результате выполненных расчетов энергопотребления отдельно стоящего коттеджа неподключенного к энергосистеме для условий Центральной Украины (Полтавская и Кировоградская области, показано что комплексное использование альтернативных источников энергии (солнечной и ветровой), а также в качестве резервного источника – дизель-генераторную установку, позволяет его обеспечить энергией.

Перечень использованной литературы

1. Соломин Е.В. Методология разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок: монография. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2011.
2. Система горячего водоснабжения. Режим доступа: <http://solar-tech.com.ua/our-objects/sistema-goryachego-vodosnabzheniya-i-otopleniya-rudiki.html>
3. Автономное электроснабжение. Режим доступа: <http://greensystem.com.ua/index.php/avtonomelectrosnab-menu>
4. Гибридные системы для энергоснабжения дома. Режим доступа: <https://alterair.ua/articles/gibridnyie-sistemyi-dlya-doma/>
5. Автономное гибридное отопление. Режим доступа: <http://snt.biz.ua/solutions/avtonomnoe-gibridnoe-otoplenie/>
6. Щур І. З. Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро- сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта [Текст] / І. З. Щур, В. І. Климко // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2014. – Вип. 2. – С. 92–100.
7. Кушнир Т.А. Экологические проблемы развития солнечной энергетики / Т.А. Кушнир, Ф.П. Шкрабец // Матеріали V Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації» (ДВНЗ «НГУ», 28-29 грудня 2017 р.) / М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – Д., 2017. – Ч. 11. С. 26-27.
8. Сысоев В.В. Автономная система электроснабжения. Режим доступа: <http://www.ntpo.com/investicii-v-innovacii/alternativnye-inetradicionnye-istochniki-jenergii/39085-avtonomnaya-sistema-elektrosnabzheniya.html>
9. Автономные гибридные системы электроснабжения с использование энергии Солнца. Режим доступа: <http://www.solarbat.info/drugoe/avtonomnie-gibridnie>

10. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие/ Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 128 с.

11. Хилько В. А. Некоторые показатели эксплуатации ветродизельной электростанции// Альтернативная энергетика и экология. 2012. Вып., 07. С. 133-136.

12. Николаев В.Г. Методология ресурсного и технико-экономического обоснования использования ветроэнергетических установок / Диссертация. Москва: ВИЭСХ, 2012.

13. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). 2008. Т. LII, № 6. С. 95-106.

14. Тарасенко А.Б., Киселева С.В. О выборе оптимального состава гибридной энергетической установки для изолированного поселка // Альтернативная энергетика и экология. 2012. Вып., 02. С. 177-182.

15. Viessmann. Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения. – К. «Злато-Граф», 2010. 195 с.

16. Солнечный коллектор своими руками. Режим доступа: http://house4u.com.ua/articles/solar_collector_2_0/part5.php

17. Солнечная теплотехника: Документация для проектирования. Режим доступа: <https://www.bosch-climate.ru/files/201212111400560.solar%20planning%20.pdf>

18. Мазурова О.К. Автономное теплоснабжение: Учебное пособие / О.К. Мазурова, Н.В. Кузнецов, А.Н. Бутенко - Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 150 с.

19. Mints, P. PV - the story so far how it is there PV industry progression in it's a bid to be considered mainstream/P. Mints// Refocus. - 2006.- Vol. 7, №6.- P. 34-36.

20. Колтун, М.М. Оптика и метрология солнечных элементов/ М.М. Колтун. - М.: Наука, 1984. – 280 с.
21. Тарнижевский, Б.В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характера радиационного режима/ Б.В. Тарнижевский// Теплоэнергетика. - 1960. Вып. 2. - С. 18-26.
22. Brandhorst, H.M. Terrestrial solar cell calibration and measurements procedures/H.M. Brandhorst//Proceedings of the Inte. Photovoltaic Solar Energy Conf., Luxembourg, 26-29 May 1977/ Reidel Publ. Co: Dordrecht-Boston,1978.- P.745-753.
23. Terrestrial Photovoltaic Measurement Procedures, Technical Memorandum 73702, NASA, Cleveland, Ohio,1977. 2. Sims, R.E.H. Renewable energy: a response to climate change/R.E.H. Sims// Solar Energy. - 2004.- Vol. 76. -P. 9-17.
24. Гременок, В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов/В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский.- Минск: Изд. центр БГУ, 2007.- 222с.
25. Петренко Ю.Н., Трещ А.М. Использование солнечной энергии для питания бытовых потребителей// Энергетика. 2013. Вып., 1. С. 40-46.
26. NASA. Surface meteorology and Solar Energy. Режим доступа: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/global.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>
27. Потенциал солнечной энергии в Украине. Режим доступа: https://okna.ua/library/art-potencial_solnechnoj_energii_v_ukraine-s-2
28. Ветровой кадастр Украины. Режим доступа: <http://teplonasos.ua/raznoe/drugie-istochniki-energii/veter/>
29. Климат Центральной Украины. Режим доступа: <http://geo.pnpu.edu.ua/climate.php>
30. Повторяемость скоростей ветра Режим доступа: <https://world-weather.ru/>
31. Климат. Архив погоды. Режим доступа: <https://ru.climate-data.org/location/25815/>

32. Погода в Украине. Режим доступа: http://rp5.ua/%D0%9F%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%B2_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D1%96

33. ARCHON проекты коттеджей. Проекты средних домов. Режим доступа: <http://www.archon.com.ua/proekt-doma/m46ea62cbc1b62,villa-viktoriiia,cat,2,sredniye-doma>

34. Шкрабец Ф.П. Основы электроснабжения [Текст] / Шкрабец Ф.П – Д: Национальный горный университет, 2012 – 465 с.

35. ECO-TECH Ukraine. Рейтинги производителей фотоэлектрических модулей. Режим доступа: <https://eco-tech.com.ua/a265635-kak-vybrat-solnechnuyu.html>

36. Solar-Tech. Солнечные батареи. Режим доступа: <http://solar-tech.com.ua/solar-electricity/solar-panels/>

37. СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация зданий. – М.:Стройиздат, 1991 – 72 с.

38. Экономный дом. Солнечные коллекторы Altek. Режим доступа: <https://ekonomniy-dom.com/g6704866-solnechnyj-kollektory-alket>

39. Розрахунок та вибір обладнання для системи гарячого водопостачання з сонячним колектором [Текст] : метод. рек. до викон. розрахунк. роботи з курсу "Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії" для студен. спец. "Енергетичний менеджмент" та "Екологія та охорона навколишнього середовища" / Уклад.: В. В. Дубровська, В. І. щкляр, Ю. В. Лохманець. – К.: НТУУ "КПІ", 2011. – 52 с.

40. Solar-Tech. Баки накопительные. Режим доступа: <http://solar-tech.com.ua/solar-power-system/storage-tanks/boiler-kosvennogo-nageva-euroterm-vta-1-solar--400l-.html>

41. Тепло Хата. Водоснабжение и нагрев воды. Режим доступа: <https://teploxata.com.ua/pelletnyj-kotel-kostrzewa-pellets-fuzzy-logic-2-50-kvt/>

42. UniDim. AQUASYSTEM. Режим доступа: <https://unidim.com.ua/aquasystem>

43. in:green. Термостаты, терморегуляторы. Режим доступа: <https://in-green.com.ua/rucelf/rucelf-sr-868-c8q>
44. Bosch Термотехника. Оборудование. Режим доступа: <https://www.bosch-climate.ru/bosch-products/solar-energy/pumpstation/ags20-2.html>
45. СвітВітру. Ветрогенераторы. Режим доступа: http://mirvetra.com.ua/vetrogenerator_6_7.html
46. ТермоТехнологии. Интернет-магазин. Ветрогенераторы. Режим доступа: <http://termoteh.at.ua/shop/474/desc/vetrogenerator-5000w>
47. НВПІ «ЕКО-СТ». Ветрогенераторы Euro Wind. Режим доступа: http://ecost.lviv.ua/ru/euro_wind.html
48. Дзензерский В. А. Ветроустановки малой мощности / В. А. Дзензерский, С. В. Тарасов, И. Ю. Костюков. – К.: Наук. думка, 2011. – 592 с.
49. Kentav. Генераторы. Режим доступа: <http://kentavr.ua/catalog/item/kdg-283ek/>
50. SYENERGY. Автономные системы. Режим доступа: <http://syenergy.com.ua/14-schneider-electric-conext-xw-8548-e.html>
51. ЭкоДом. Альтернативная энергетика. Режим доступа: <http://eko.house/>