



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Институт**

**ИЭВТ**

**Кафедра**

**ПТС**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
**(бакалаврская работа)**

**Направление** 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
(код и наименование)

**Направленность (профиль)** Промышленная теплоэнергетика

**Форма обучения** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Тема:** Разработка и эксплуатация систем мониторинга и  
управления дома с околонулевым энергопотреблением

**Студент** ФП-06-16 Чайкин В.Ю.  
группа подпись фамилия и инициалы

**Научный  
руководитель** Д.т.н., Профессор Султангузин И.А.  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** \_\_\_\_\_  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**Консультант** \_\_\_\_\_  
уч. степень должность подпись фамилия и инициалы

**«Работа допущена к защите»**

**Зав. кафедрой** \_\_\_\_\_  
уч. степень звание подпись фамилия и инициалы

**Дата** \_\_\_\_\_

**Москва, 2020**



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

**Институт** \_\_\_\_\_ **ИЭВТ**  
**Кафедра** \_\_\_\_\_ **ПТС**

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**(бакалаврскую работу)**

**Направление** \_\_\_\_\_ **13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**  
(код и наименование)

**Направленность (профиль)** \_\_\_\_\_ **Промышленная теплоэнергетика**

**Форма обучения** \_\_\_\_\_ **очная**  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Тема:** \_\_\_\_\_ **Разработка и эксплуатация систем мониторинга и**  
**управления дома с околонулевым энергопотреблением**

**Студент** \_\_\_\_\_ **ФП-06-16** \_\_\_\_\_ **Чайкин В.Ю.**  
группа \_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ фамилия и инициалы

**Научный** \_\_\_\_\_ **Д.т.н., Профессор** \_\_\_\_\_ **Султангузин И.А.**  
**руководитель** \_\_\_\_\_  
уч. степень \_\_\_\_\_ должность \_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ фамилия и инициалы

**Консультант** \_\_\_\_\_  
уч. степень \_\_\_\_\_ должность \_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ фамилия и инициалы

**Консультант** \_\_\_\_\_  
уч. степень \_\_\_\_\_ должность \_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ фамилия и инициалы

**Зав. кафедрой** \_\_\_\_\_  
уч. степень \_\_\_\_\_ звание \_\_\_\_\_ подпись \_\_\_\_\_ фамилия и инициалы

**Место выполнения работы** \_\_\_\_\_

## СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ЗАДАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

*Исходные данные:* жилая площадь здания – 160 м<sup>2</sup>

количество человек (лето/зима) - 4/4 человека

место здания: Московская область,

Пушкинский район.

### ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Количество листов \_\_\_\_\_

Количество слайдов в презентации \_\_\_\_\_

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

#### **Примечания:**

1. Задание брошюруется вместе с выпускной работой после титульного листа (страницы задания имеют номера 2, 3).
2. Отзыв руководителя, рецензия(и), отчет о проверке на объем заимствований и согласие студента на размещение работы в открытом доступе вкладываются в конверт (файловую папку) под обложкой работы.

<b>Оглавление</b>	
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>7</b>
<b>ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ИСЛЕДУЕМОГО ДОМА И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА .....</b>	<b>10</b>
<b>1.1 Характеристики пассивного дома .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Анализ систем умного дома .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Система мониторинга ТеплоМонитор.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Система мониторинга ПолиТЭР.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5 Система погодного мониторинга .....</b>	<b>21</b>
<b>1.6 Постановка задачи .....</b>	<b>22</b>
<b>ГЛАВА 2. ОПЫТ УСТАНОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Устройство системы сбора показаний энергоэффективного дома ..</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Поиск и устранение неисправностей в системе сбора показаний....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Мониторинг солнечной энергии .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Результаты нахождения и устранения неполадок .....</b>	<b>31</b>
<b>ГЛАВА 3. РАБОТА С ДАННЫМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Обработка и анализ данных с использованием программных средств .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Проблемы и особенности обработки данных различных форматов на примере параметров из системы Тепломонитор .....</b>	<b>33</b>
<b>3.3 Сопоставления результатов от разных устройств в системе Тепломонитор .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Обработка данных от солнечных батарей .....</b>	<b>36</b>
<b>3.5 Особенности приведения к единому временному формату.....</b>	<b>38</b>
<b>3.7 Уменьшение энергетических затрат в отопительный период.....</b>	<b>43</b>
<b>3.8 Сравнение реальных показаний с расчетами в различных программах BIM моделирования.....</b>	<b>47</b>
<b>3.9 Результаты обработки данных .....</b>	<b>51</b>
<b>ГЛАВА 4. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА .....</b>	<b>52</b>

<b>4.1 Система прогнозирования.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Солнечные батареи.....</b>	<b>54</b>
<b>4.3 Тепловой насос.....</b>	<b>57</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>59</b>
<b>Приложение А .....</b>	<b>62</b>
<b>Приложение Б .....</b>	<b>70</b>

## **АННОТАЦИЯ**

В ходе выполнения данной работы был произведен анализ систем мониторинга энергоэффективного дома, а также произведено подключение и отладка приборов учета электричества и тепла, разводка и подключение к ним различных датчиков. Произведена наладка систем мониторинга для сбора данных в системе энергоэффективного дома. Разработаны и протестированы разнообразные методики и способы обработки получаемых данных. При анализе данных была произведена оценка эффективности работы энергоэффективного дома. На основании этих данных предложены дальнейшие меры по повышению энергетической эффективности здания.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Практика строительства Пассивных домов стала предпочтительной для архитекторов и исследователей во многих странах мира, поскольку она показала высокий тепловой комфорт внутри таких зданий и низкое энергопотребление [1]. Пассивный дом — это здание с комфортной внутренней температурой в течении всего года, с низким потреблением энергии для обогрева или охлаждения помещения здания.

Главной особенностью пассивного дома является показатель энергопотребления на отопление не более  $15 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$  [1,2]. При мягком климате в Европе он достижим, но при холодном климате в России – достичь его крайне сложно [3], поэтому более реально строить энергоэффективные дома с энергопотреблением на отопление до  $50 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

Для создания энергоэффективного дома требуется большое количество высококлассного и дорогого оборудования. Этому оборудованию требуется постоянный мониторинг различных параметров. Достичь этого позволяет большое количество датчиков температуры, влажности и расхода. Все показания с этих приборов формируют большой объём данных, которые необходимо собирать, систематизировать и обрабатывать. Для этого применяются специальные системы мониторинга. Работа любой системы основана на постоянном контроле параметров данной системы.

На примере энергоэффективного дома площадью  $200 \text{ м}^2$  в Пушкинском районе Московской области был реализован постоянный мониторинг различных значений. Для этого используются системы мониторинга, которые могут записывать различные параметры системы за продолжительный срок для их последующего анализа и самостоятельно корректировать параметры системы для эффективной работы. В результате работы системы мониторинга в режиме накопления данных было получено огромное количество параметров, которые нужно обработать и корректно систематизировать. Основная задача в обработке параметров понять, какие данные нам нужны и как их правильно трактовать. Также

во время работы мониторинга мы должны своевременно выявлять и устранять дефекты, которые сказываются на некорректном сборе данных.

Сбор разнообразных параметров работы энергоэффективного дома является очень важной задачей, благодаря этим уникальным данным будет возможно судить о эффективности совместной работы различных устройств, применяемых в этом доме, на протяжении всего жизненного цикла здания. Главной целью всего этого проекта является создание наиболее подробной дорожной карты по правильному строительству и эксплуатации энергоэффективного дома. Поэтому так важно получать максимально достоверную информацию о работе систем дома, а также иметь возможность в реальном времени регистрировать изменения, полученные в рамках проведения различного рода теплоэнергетических мероприятий, проводимых для повышения эффективности различных систем. Такая возможность оперативного отслеживания поможет также иметь возможность следить и выявлять ошибки и аварию, происходящие на объекте, в режиме реально времени, что позволит оперативно устранить неисправность, возникающую во время эксплуатации.

#### **Актуальность.**

В связи с ростом энергоэффективного строительства возросло также повсеместное использование энергоэффективного оборудования. Для его работы применяют различные системы управления и мониторинга. Эти системы обладают большим потенциалом по их дальнейшей модификации. Правильная работа этих систем позволит более эффективно использовать оборудование.

#### **Научная новизна.**

Новизна данного дипломного проекта состоит в том, что по данным из систем мониторинга найдено время аккумуляции равное 12 часам. Нахождение данного параметра уникально.

Полученные данные позволяют провести сравнения с системами моделирования. В результате расхождения с результатами моделирования составили в среднем 5,46%, а расхождение с методикой РНПП 1.4%.

Новинкой является разработанный метод, который позволяет обрабатывать большое количество информации. По этим данным в сравнении с позапрошлым отопительным периодом на 30% сократилось потребление энергии ТН, и на 14% по сравнению с прошлым годом

#### **Практическая ценность.**

Собранные в процессе эксплуатации данные, которые получены во время работы дома в различных режимах, будут иметь очень высокую ценность.

Разработанные методы выявления и устранения ошибок могут использоваться при эксплуатации других систем мониторинга, при их отладке и настройке.

Составлены алгоритмы обработки данных из нескольких систем мониторинга. Предложены методики для их совместной обработки. Представлены методики для обработки данных за продолжительные периоды.

#### **Достоверность.**

Приведенные в бакалаврской работе результаты и выводы базируются на анализе данных, полученных из систем мониторинга и управления. Точность получаемых данных соответствует приборной точности измерительного оборудования. Так погрешность термометров РТ-100 КТС-Б составляет 0,06%, а расходомеров ВСКМ-15 Декаст 0,2%. Дублирование из разных систем позволяет повысить достоверность полученных значений.

# ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ИСЛЕДУЕМОГО ДОМА И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

## 1.1 Характеристики пассивного дома

В рамках данной дипломной работы представлены данные, полученные в результате работы энергоэффективного дома, расположенного в Пушкинском районе Московской области. Причиной исследования именно этого дома стала его уникальность для нашей страны. На каждом этапе строительства, начиная с идеи, были использованы самые инновационные методы в области проектирования зданий (Рисунок 1) [4].

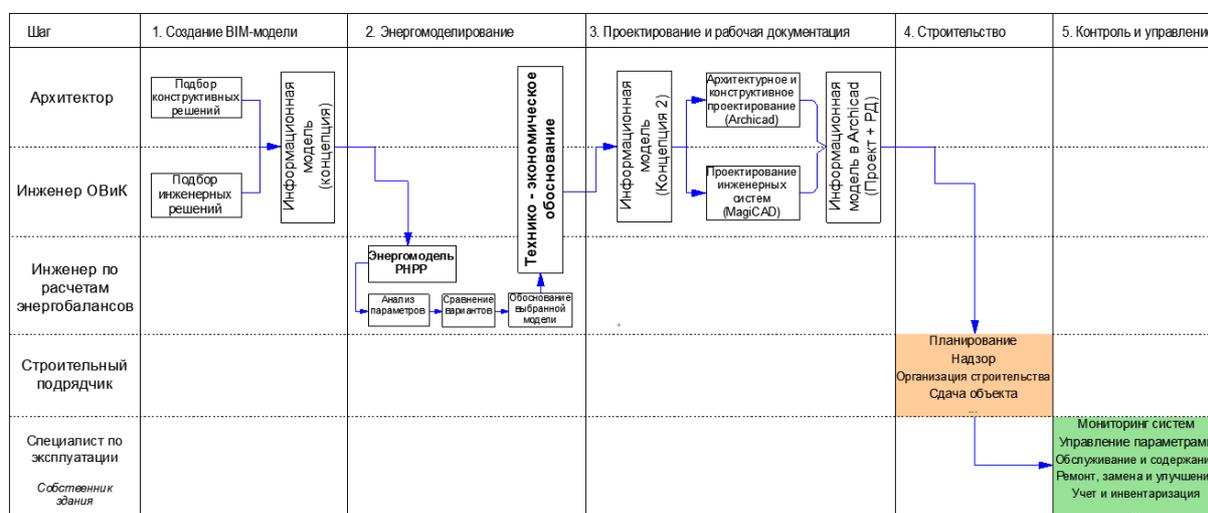


Рисунок 1. Этапы строительства энергоэффективного дома

Меры для повышения эффективности здания принимались даже на этапе выбора участка под строительство. Он выбран так, что максимальная площадь здания находилась на южной (солнечной) стороне, что позволило в дальнейшем максимально использовать солнечную энергию для работы систем дома.

При Энергомоделировании этого энергоэффективного дома, в рамках выполнения бакалаврской работы [5], был проведен расчет по методике Института пассивного дома с помощью программ «Passive House Planning Package Version 8», «SketchUp Pro» и «designPH». Была построена математическая модель дома, описывающая геометрические размеры, ориентацию по отношению к сторонам света, теплоизоляционные свойства материалов.

В результате, которого произведен расчёт нагрузок на систему отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха для данного здания получены данные. По ним можно было предварительно судить о эффективности использования различного оборудования.

При строительстве были использованы современные энергоэффективные технологии: система отопления «тёплый пол», солнечные коллекторы, солнечные батареи, приточно-вытяжная установка с рекуперацией теплоты удаляемого воздуха с эффективностью 88,5%, грунтовый тепловой насос (ТН), высокотехнологичные теплоизоляционные материалы, энергоэффективные окна. Полученные в результате расчетов тепловые нагрузки (таблица 1) соответствовали высоким стандартом энергетической эффективности [3] и позволили произвести правильный подбор и настройку различного оборудования.

Таблица 1. Результаты расчёта годовых теплопотерь через ограждающие конструкции

Зона	$F_i, \text{ м}^2$	$G_{ii}, \frac{\text{кК} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$	$U_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°К}}$	$Q_{Ti}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$
Окна	27,3	136	0,959	3561
Крыша	118,4	136	0,092	1484
Стена выше уровня земли	239,8	136	0,118	3839
Пол первого этажа и пол подвала	114,2	91	0,194	2026
Стена подвала	70,2	91	0,139	895
Всего				11806

Были также рассчитаны годовые потребления на различные системы. Так при расчете было рассчитано годовое потребление теплоты на отопление. Оно составило:

$$Q_0 = 6915 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

Потребность в тепловой энергии для системы ГВС за год:

$$Q_0 = 2593 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

В качестве основного источника тепла планировалось использовать тепловой насос. Теплоноситель первичного контура – 25% раствор этиленгликоля. Движение теплоносителя первичного контура обеспечивает циркуляционный насос. КПД выработки тепловой энергии на отопление и горячее водоснабжение:

$$Q_0 = 2593 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

С учётом потерь теплоты в баке-аккумуляторе, трубопроводах, бытовых нужд, тепловой насос должен был выработать

$$Q_{\text{ТН}} = 9508 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

на отопление и горячее водоснабжение.

Планируемое потребление электроэнергии:

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = 3111 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}$$

Однако, не смотря на свою точность, эти расчеты были теоретическими. Помимо этого, в проект добавились дополнительные источники энергии, такие как солнечные коллекторы и охлаждаемые солнечные батареи, выбран другой тепловой насос. В связи с этим многие данные изменились и поэтому требовалось получить их в ходе практических исследований.

При строительстве была выбрана схема (Рисунок 2) отопления дома с помощью теплового насоса и солнечных коллекторов, так как при дальнейшей модификации систем дома это позволило сделать дом полностью автономным.

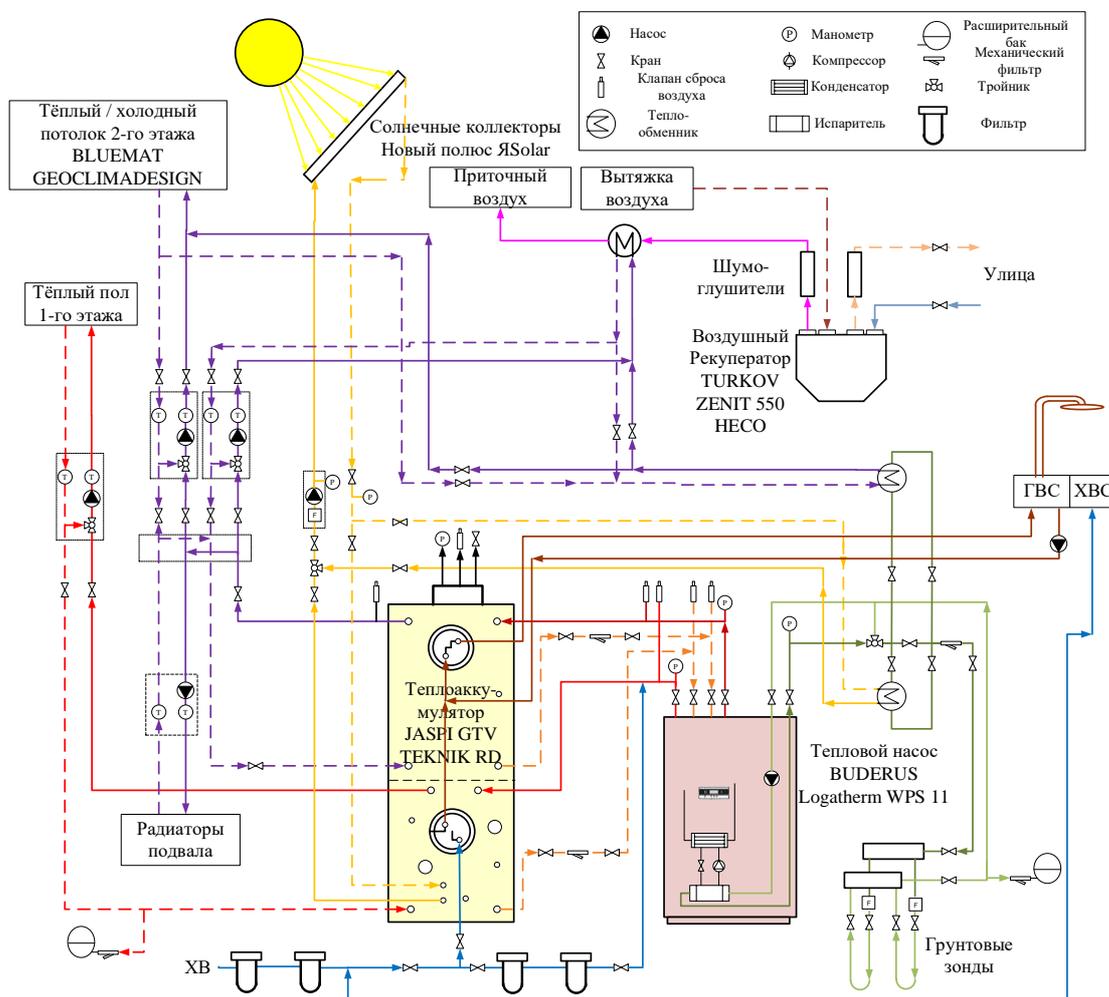


Рисунок 2. Мнемосхема системы отопления и вентиляции дома

Дом оснащён:

- тепловым насосом, BUDERUS Logatherm WPS 11;
- солнечными коллекторами, ЯSolar 4 коллектора по 2 м<sup>2</sup>;
- солнечными батареями, Delta BST 360-24 М;
- механической вентиляцией с рекуперацией тепла, ZENIT 550 HECS;
- энергоэффективными окнами со специальным покрытием и газом;
- тёплым полом;
- тёплым потолком с функцией охлаждения летом и большим слоем изоляции.

## 1.2 Анализ систем умного дома

Обладая большим количеством высококлассного и дорогого оборудования, дом представляет собой высокую цену с точки зрения накопления опыта и экспериментальных данных. Он является уникальным объектом, ведь в нашей стране существует очень мало зданий, объединяющих в себе такое количество оборудования и технологий по сбережению и эффективному использованию тепла из различных источников. Поэтому важно получать достоверную информацию о всех проходящих в доме процессах. Достичь этого позволяет большое количество датчиков температуры, влажности и расхода, установленные в различных контурах системы. Все показания с этих приборов формируют большой объём данных, который необходимо собирать, систематизировать и обрабатывать. Для этого применяются специальные системы мониторинга.

Основные положения системы управления энергоснабжением здания «умный дом» представлены в работе [6], в соответствии с которыми реализовывались системы управления и мониторинга дома с около нулевым энергопотреблением. На данный момент в системе энергоэффективного дома используются совместно две системы мониторинга внутренних параметров, а также система учета параметров окружающей среды. Основной является ТеплоМонитор от фирмы «ТеплоСТАРТ». Эта система является управляющей и позволяет производить удалённый контроль и корректировку различных параметров, также производит автоматическое управление в зависимости от температуры окружающей среды и других параметров. Второй системой мониторинга является ПТК «ПолиТЭР» от Научно-Производственного Предприятия «Политех-Автоматика». Эта система позволяет регистрировать больше видов различных датчиков в том числе тепловычислители и импульсные расходомеры.

### 1.3 Система мониторинга ТеплоМонитор

ТеплоМонитор — это платформа для мониторинга и диспетчеризации котельных. В нее входят веб-сервисы сайта [teplomonitor.ru](http://teplomonitor.ru) и аппараты, непосредственно контролирующие работу системы отопления.

Одним из обоснований применения данной системы послужило то, что в этой системе «под ключ» реализована большая часть необходимых функций для энергоэффективной эксплуатации здания. Система (Рисунок 3) совмещает в себе автоматическое и удаленное управление различными системами, мониторинг и архивирование различных параметров дома, ведение подробного журнала аварий и изменений в работе всей системы теплоснабжения.

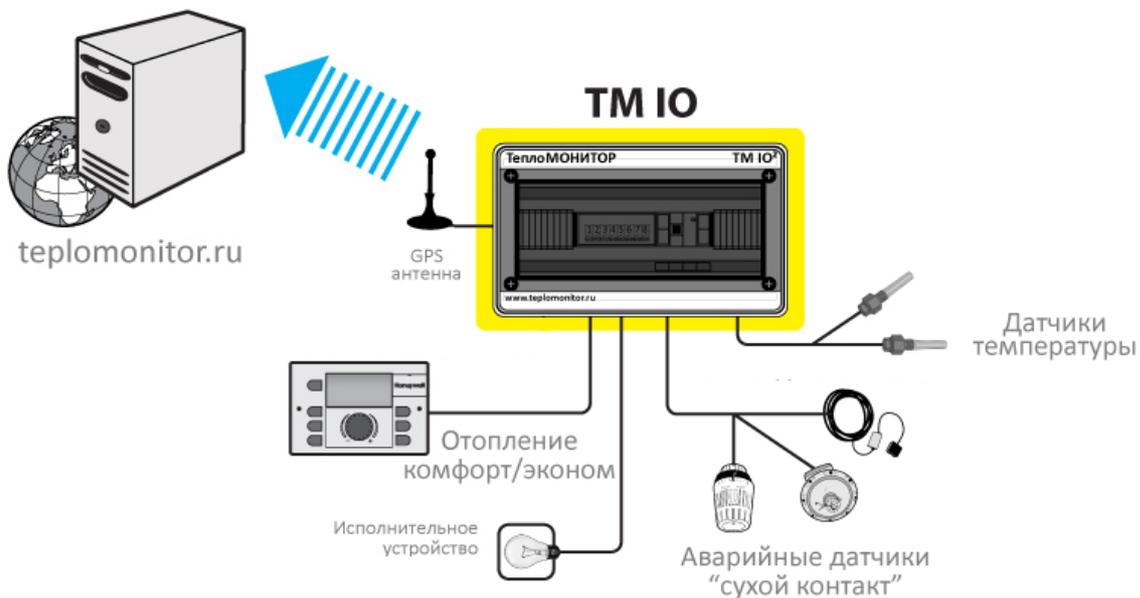


Рисунок 3. Схема работы системы Тепломонитор

На данный момент часть, отвечающая за управление, настроена на поддержание комфортной комнатной температуры и температуры ГВС. Для этого система, основываясь на показаниях различных термометров, задает необходимые режимы работы насосов и задвижек в различных контурах для обеспечения наибольшей эффективности. Помимо автоматических режимов, работа с данной системой может вестись через специальный веб-интерфейс (Рисунок 4) из любой

точки мира. Так как именно через эту систему происходит регулирование систем, для поддержания комфортной температуры в здании.

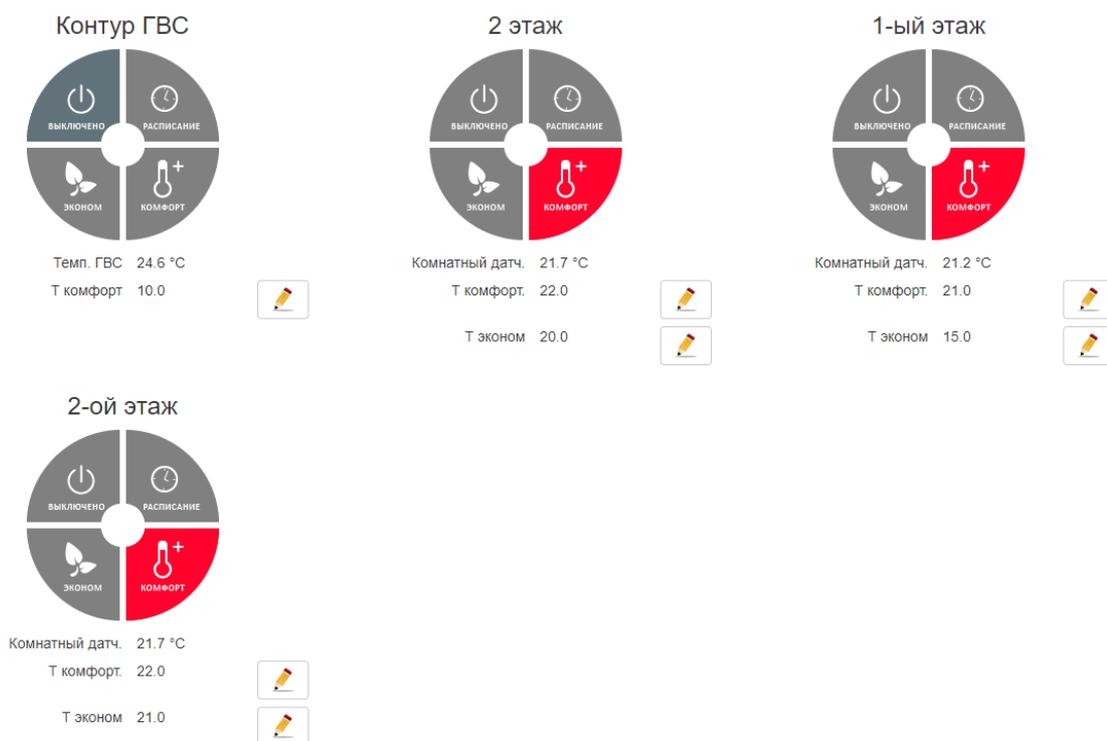


Рисунок 4. Интерфейс управления температурами в различных контурах

Контролер SMARTWEB X, входящий в состав этой системы, позволяет удаленно производить:

- управление тепловым насосом;
- управление аккумулятором тепла;
- управление теплым полом 1 этажа;
- управление потолком 2 этажа;
- управление температурой ГВС;
- управление солнечными коллекторами;
- сбор информации о системе.

Помимо управления, в веб-интерфейсе присутствует возможность удаленного мониторинга мгновенных значений и построения графиков по этим параметрам, полученным от приборов. В основном это термометры, которые установлены в различных участках системы. С их помощью можно производить визуальный анализ правильности работы системы.

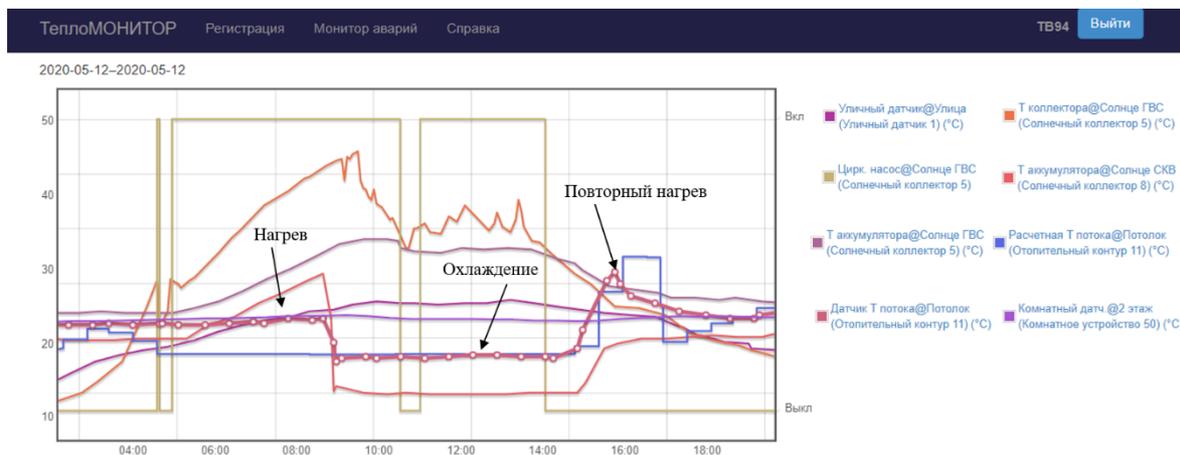


Рисунок 5. Веб-интерфейс системы Тепломонитор

Производить удаленное управление и контроль показаний можно через специальный веб-интерфейс. На представленном фрагменте интерфейса (Рисунок 5) можно заметить, как изменяется температура в различных контурах системы. Например, по графику видно, как с 6:00 часов начинается рост температуры в солнечном коллекторе, в связи с увеличением солнечной активности, а потом для поддержания необходимой температуры включается режим охлаждения 2-го этажа с 11:00. После 16:00 автоматически происходит возврат на режим нагрева. Недостатком системы является то, что она может работать только с непрерывно изменяющимися показаниями расхода, что в свою очередь не позволяет использовать расходомеры импульсного типа, что усложняет снятие параметров для задач мониторинга.

## 1.4 Система мониторинга ПолиТЭР

Второй системой мониторинга является ПТК «ПолиТЭР» от НПП «Политех-Автоматика» [7]. Эта система промышленного образца, в связи с чем работа с ней требует специальных навыков и знания структуры работы данной системы.

Главной особенностью, которая повлияла на выбор данного ПТК, является то, что система позволяет производить более полный сбор различных параметров из разных источников. Благодаря тому, что ПолиТЭР является промышленным решением его применение, позволило использовать большое количество разных датчиков, подключенных с помощью различных протоколов и форматов передачи сигналов. Это позволило собирать одной системе и хранить в одной базе данных.

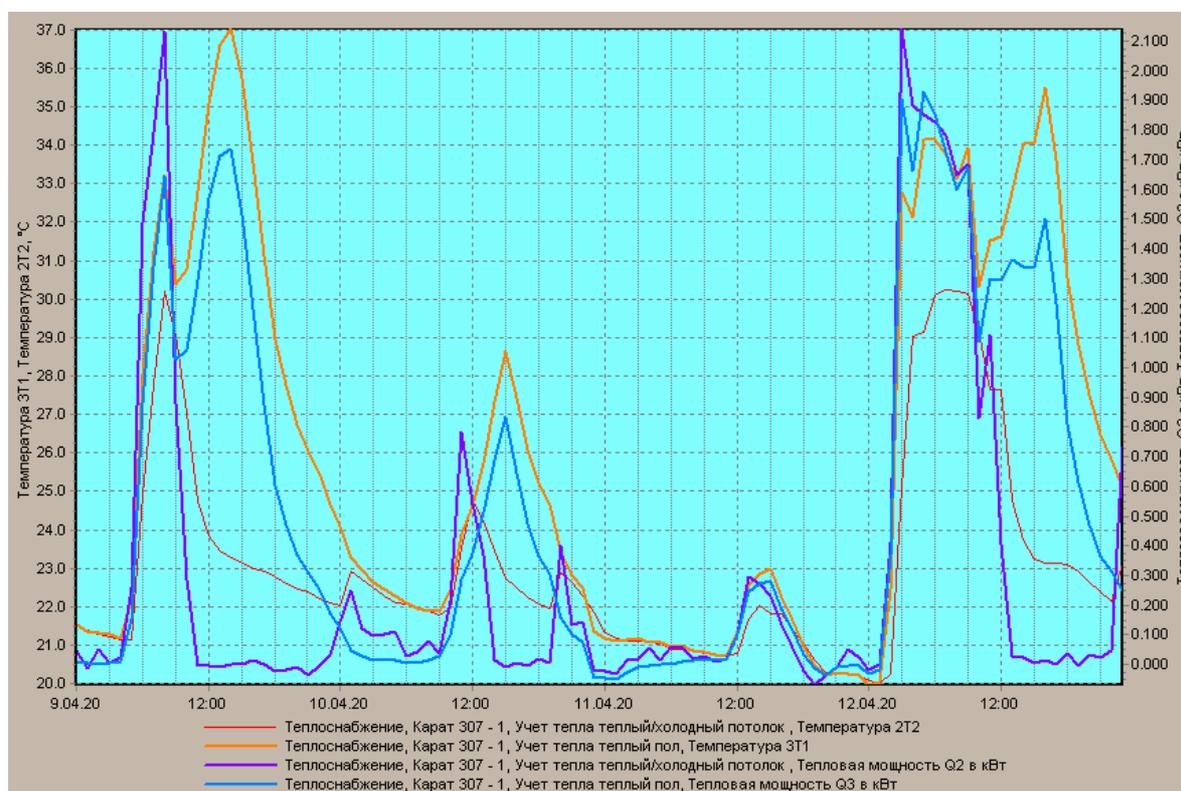


Рисунок 6. График показаний Тепловой мощности и температуры, поступающие в одну систему

Еще одной положительной стороной данной системы является то, что у нее присутствует возможность подключения счетчиков электрической энергии и тепловычислителей (Рисунок 6), к которым в свою очередь можно подключать термометры сопротивления и импульсные расходомеры (Рисунок 7). Такие

расходомеры очень часто используются в быту, соответственно обладают не высокой стоимостью по сравнению с ультразвуковыми, что позволяет установить их в достаточном количестве на всех необходимых местах.

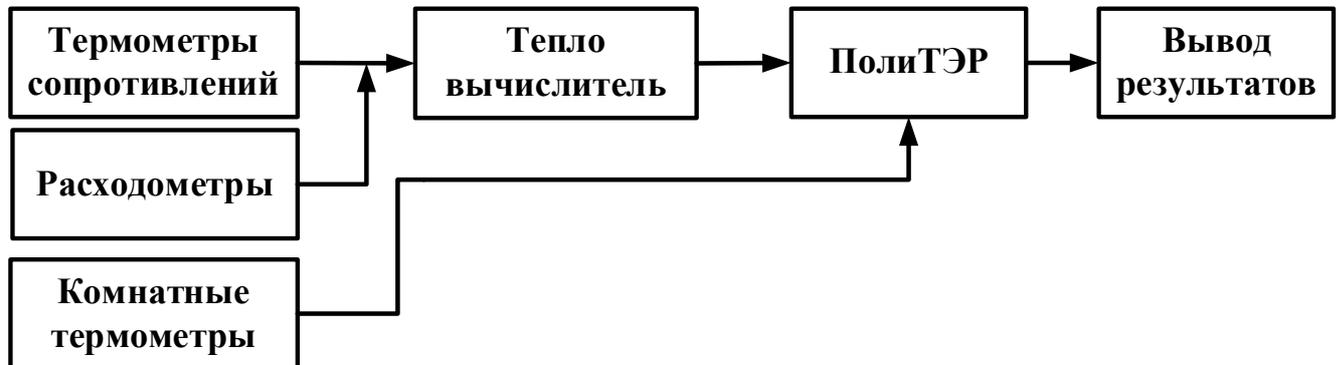


Рисунок 7. Упрощенная схема работы системы мониторинга

В результате у нас появилась возможность получать количество теплоты, полученное и выделенное на каждом элементе системы дома.

Также в этой программе есть возможность создания собственных мнемосхем. Специально для этой системы была создана мнемосхема, на которой отображены все основные параметры системы отопления.

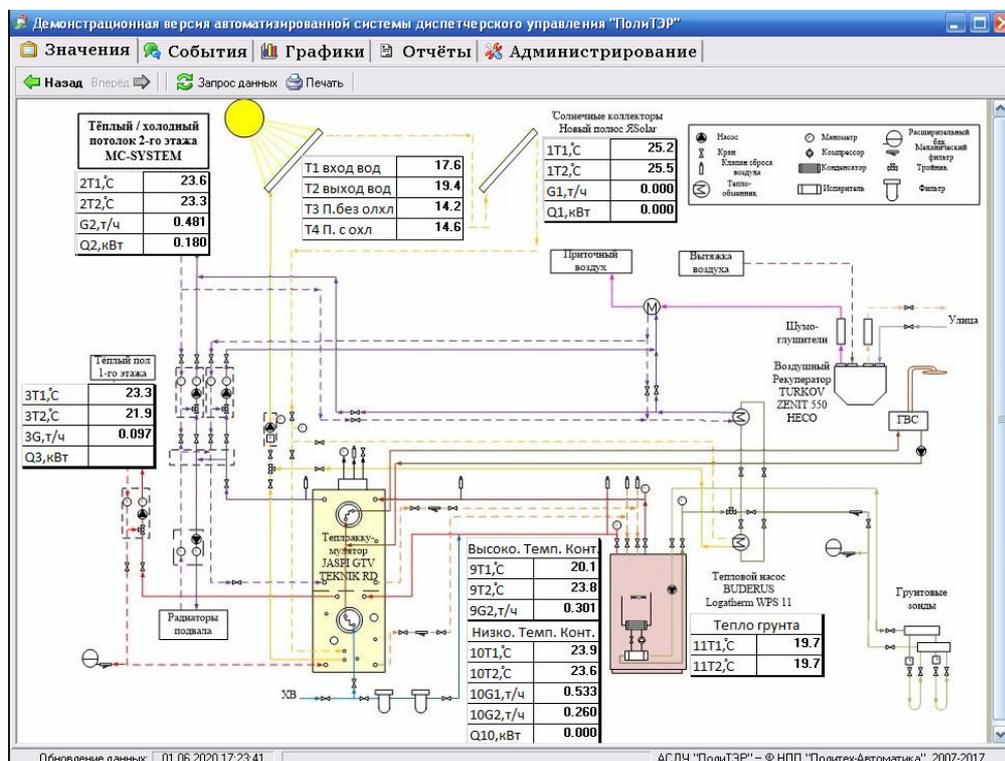


Рисунок 8. Мнемосхема в программе ПолиТЭР

Данная мнемосхема (Рисунок 8) позволяет контролировать работу систем в реальном времени. Благодаря чему можно оперативно реагировать на возможные возникающие неполадки и аварии. На мнемосхеме представлены данные одновременно с 3 устройств, что позволяет наблюдать более полную картину о происходящих событиях.

Отличительной особенностью системы ПолиТЭР является сбор и хранение информации на локальном сервере, что позволяет хранить значения, полученные от различных устройств в одном архиве. Это в значительной мере упрощает способы получения данных. Возможность фильтрации и усреднения, запрашиваемых из системы данных упрощает работу и анализ данных.

В отличие от Тепломонитора на данный момент здесь отсутствует возможность управления системами, так как эта система рассчитана именно на диспетчеризацию и сбор данных с теплоэнергетических систем. В при дальнейшем повышении энергоэффективности дома за счет установки дополнительного оборудования планирует добавление такого функционала.

## 1.5 Система погодного мониторинга

Так как параметры работы энергоэффективного дома напрямую зависят от параметров окружающей среды, то для полного представления о работе систем требуется точная и актуальная информация о погоде. В связи с этим была установлена метеостанция MISOL WS-2310-1. Это позволило собирать в автоматическом режиме следующие важные показания:

- Температура и влажность внутри дома;
- Температура и влажность снаружи дома
- Барометрическое давление;
- Количество осадков;
- Солнечная энергия;
- Солнечный УФ-индекс;
- Показания скорости и направления ветра.

Все эти данные собираемые в отдельный архив позволяют проследить подробную динамику изменений за несколько лет. Это необходимо для оценки мероприятий по повышению энергоэффективности в долгосрочных перспективах.

Стоит также отметить уникальность сбора таких параметров, как количество солнечной энергии (Рисунок 9).

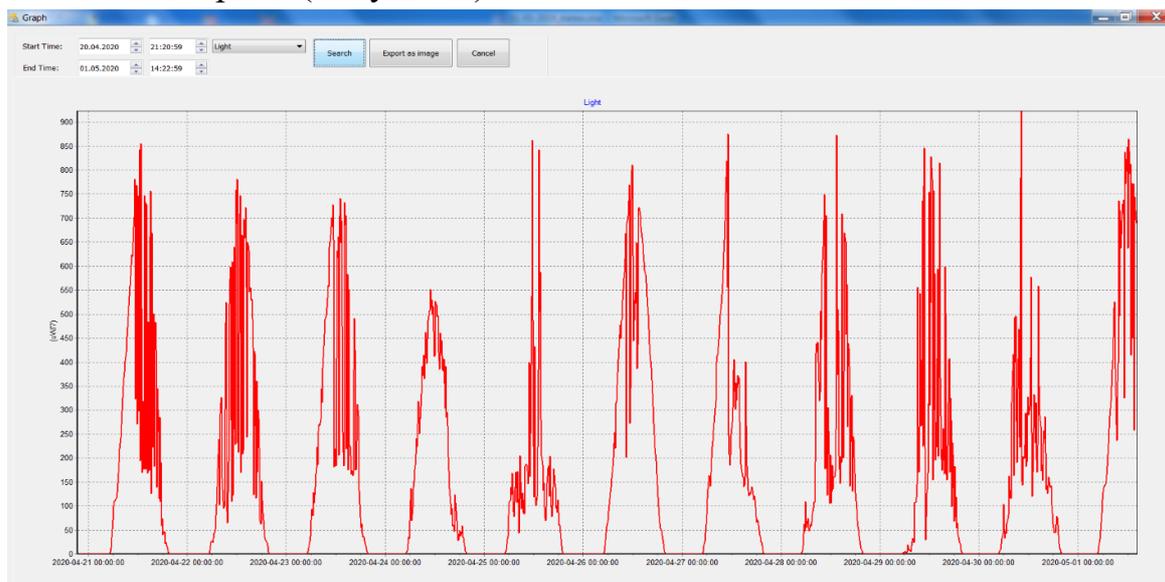


Рисунок 9. График интенсивности солнечного излучения и количество солнечной энергии метеостанции MISOL WS-2310-1

Ближайшие публичные метеорологические станции с этими параметрами находится в 50 км, следовательно, использование данных публичных параметров абсолютно бессмысленно. Однако, эти значения позволяют оценить эффективность использования энергии солнца различным оборудованием, таким как солнечные коллекторы и солнечные батареи. Необходимость получения информации о солнечном излучении обуславливается тем, что именно от солнца дом получает максимальное количество тепловой энергии и соответственно какое количество тепловой энергии придется сгенерировать иными источниками тепла.

### **1.6 Постановка задачи**

В результате анализа систем мониторинга стало очевидно, что системы дома имеют огромный потенциал для научных и учебных исследований. Однако, требуется произвести отладку данных систем, а также научиться правильно обрабатывать данные из этих систем с целью их последующего анализа и получения уникальных данных. Данная задача, актуальна не только для частного строительства, но для систем мониторинга разного уровня. Ведь в последнее время практика установки систем диспетчеризации и управления для решения задач цифровизации получила большое распространение во многих сферах.

Разработка методов обработки данных из этих систем является актуальной задачей. Из-за того, что практика мониторинга в нашей стране появилась недавно, то исследования работы подобных систем ранее не проводилось. Параметры из данных систем позволяют производить более точные расчёты, чем теоретические модели, что несет в себе большую практическую пользу, так как эти значения получаются на прямую, через эксперимент на реальном объекте.

## ГЛАВА 2. ОПЫТ УСТАНОВКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИБОРОВ И СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

### 2.1 Устройство системы сбора показаний энергоэффективного дома

После монтирования всех систем инженерная система дома выглядит следующим образом (Рисунок 10).

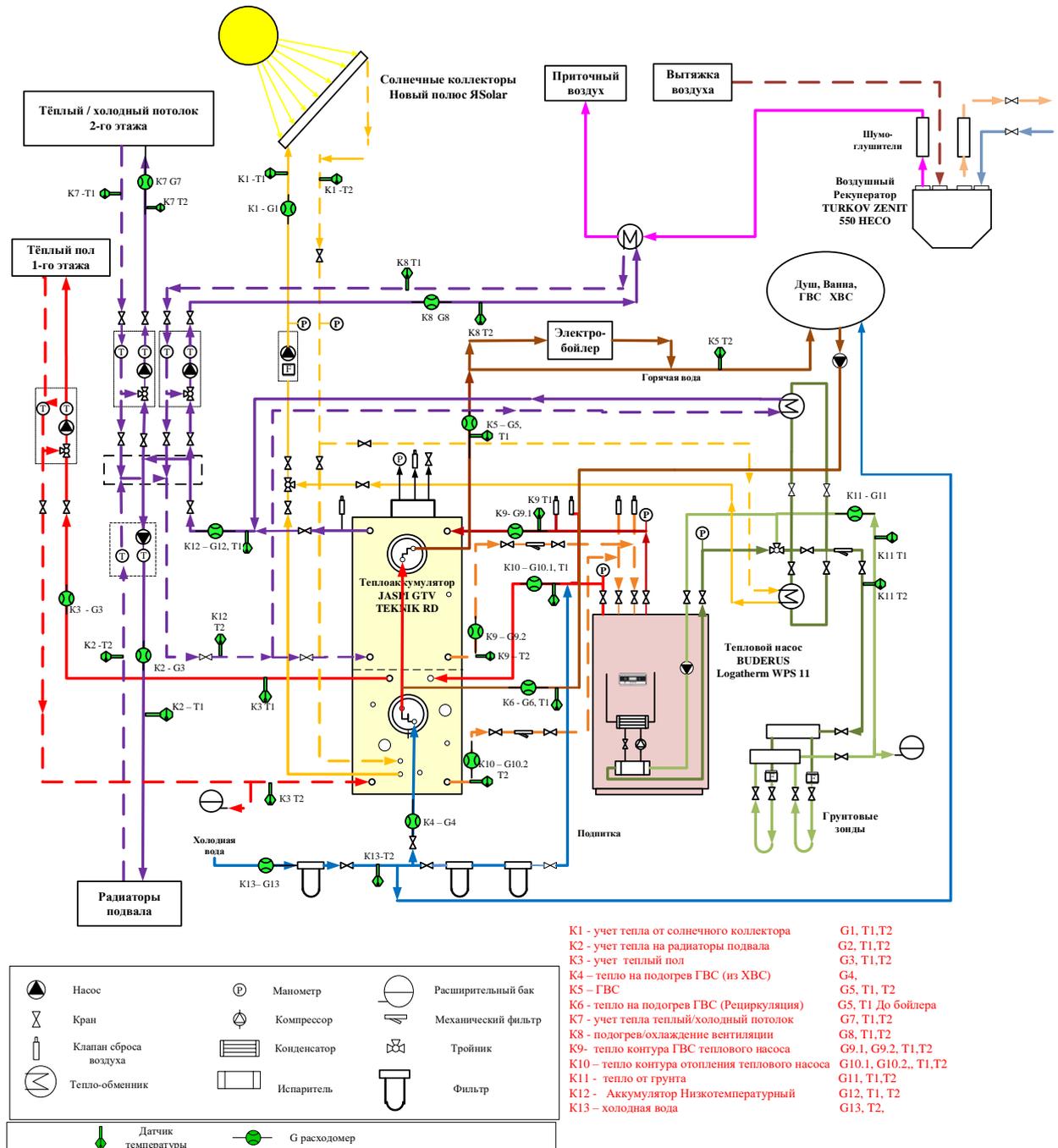


Рисунок 10. Схема расположения приборов учета в системе теплоснабжения дома

Благодаря изначальному планированию и расчету всех систем монтаж и установка всех систем была произведена с минимально возможными затратами. Расположение датчиков обеспечивает максимальное получение информации о работе систем дома. В итоге система теплоснабжения имеет:

- 24 Термометра сопротивления РТ-100 КТС-Б;
- 12 Расходомеров ВСКМ-15 Декаст;
- 3 Расходомера ZENNER-20,  
подключенных к 4-м тепловычислителям КАРАТ-307.

Помимо этого, производится мониторинг:

- 3-х трехфазных электросчетчиков СЕ 301 и 5 однофазных электросчетчиков СЕ 102, фирмы ЭНЕРГОМЕРА;
- 10 беспроводных датчиков температуры;
- 4 термометра РТ-100, отслеживающих температуру солнечных батарей.

Данные полученные от этих датчиков позволяют о работе всех систем дома. По ним можно сделать выводы о количестве получаемой домом энергии от солнца, грунтового теплового насоса и других контуров отопления.

В рамках преддипломной практики в данную систему были добавлены параметры температур солнечных панелей. На крыше дома установлены 4 солнечные панели, две из которых охлаждаются за счет подключения в контур солнечных коллекторов. Охлаждение панелей необходимо в связи с тем, что высокие температуры пагубно влияют на вырабатываемую мощность. Отвод тепла от солнечных батарей позволит получить больше тепла для системы отопления.

Так как охлаждение солнечных батарей не имеет собственного контура, то в установке дополнительного тепловычислителя нет необходимости. Для определения отводимого от батарей тепла используются два термометра, находящиеся на входе и выходе из радиаторов панелей, и подключенные к одному контролеру PD3060-РТ100, вместе с температурами самих панелей. В связи с установкой в один с коллекторами контур дополнительный расходомер не требуется.

## 2.2 Поиск и устранение неисправностей в системе сбора показаний

После монтажа любая система требует настройки. Установленные системы мониторинга не стали исключением. В связи с тем, что подобных проектов по углубленному мониторингу параметров энергоэффективного дома не было, в системе присутствовали ошибки, большинство которых удалось выявить с помощью анализа результатов мониторинга на появления различных аномалий, связанных с получением, передачей и обработкой сигналов, поступающих с датчиков и устройств.

Для исправления ошибок требовалось найти в схеме работы системы мониторинга места, где возникали конкретные неточности и устранить их программно или физически. В поиске некорректных данных помогает то, что в умном доме присутствует сразу несколько систем мониторинга и благодаря избыточности есть возможность проверять те или иные показания из разных источников.

Большинство ошибок, в получаемых после первоначальной настройки данных, было связано с некорректным поступлением показаний температур от термометров сопротивления в тепло вычислители. Некоторые ошибки в значениях температур были очевидны. К очевидным ошибкам можно отнести превышение температуры и расхода в несколько раз. Например, 9.04.2020 программой ПолиТЭР были получены следующие данные (Рисунок 11).

Адрес:	Теплоснабжение, Карат 307 - 1, Учет тепла от солнечного коллектора
Дата, Время	Температура 1T2
09.04.2020	0
09.04.2020 10:00	149.9
09.04.2020 11:00	158
09.04.2020 12:00	150.6
09.04.2020 13:00	130.5
09.04.2020 14:00	120.9
09.04.2020 15:00	95.9
09.04.2020 16:00	104
09.04.2020 17:00	87.1
09.04.2020 18:00	105.9

Рисунок 11. Фрагмент полученных ошибочных данных

Значения в 150 °С, естественно, ошибочны. Требовалось найти причину вызывавшую данную ошибку. Была произведена полная диагностика системы, в результате чего проблема обнаружилась в самой термопаре, в следствии чего она была заменена на новую. Возможной причиной возникновения данной ошибки являлись перебои в электропитании, из-за которых днем в период солнечной активности по контуру солнечных коллекторов не двигался теплоноситель, из-за этого температура в них достигала >160 °С, что на много выше рабочих параметров термометра сопротивления. Для того, чтобы подобной ошибки не возникало в будущем, требуется обеспечивать систему аварийным источником питания для движения теплоносителя.

Подобная проблема с превышением параметров в несколько раз была и при получении данных с расходомера, показания с данного устройства регистрировались в системе ПолиТЭР увеличенными ровно в 10 раз. Эту проблему удалось решить. Чтобы найти неисправность такого рода, надо рассматривать всю цепочку работы системы мониторинга с самого конца. Начиная с самой системы мониторинга, далее тепловычислитель, завершает все само устройство. Далее путем простого контроля параметра на каждом этапе конкретного было обнаружено, что ошибка находится в некорректной конфигурации тепловычислителя. Проблема состояла в том, что этот датчик расхода был импульсным, и при конфигурации во время установки была допущена ошибка в указании правильного веса одного импульса.

Куда сложнее происходит нахождение ошибок небольших отклонений различных параметров. К таким значениям можно отнести отклонения показаний температур на несколько градусов. Такие параметры очень трудно выявить из их неочевидности. Чаще всего причиной возникновения были ослабленные разъемы на термометрах или в тепловычислителях.

Проблема, с которой долгое время не удавалось справиться, были неправильные показания температур на выходе из контура теплого пола. Это не позволяло следить за тепловыделением на одном из основных компонентов

энергоэффективного дома. После полной и неоднократной проверки системы, в ходе которой была заменена термопара и проверены сигнальные провода, ошибка была обнаружена в самом тепловычислителе. В одном из приборов обнаружился заводской брак из-за заводского смещения гребенки подключения контактов (Рисунок 12). Прибор был заменен по гарантии, а на его место на время отсутствия установлен другой тепловычислитель.

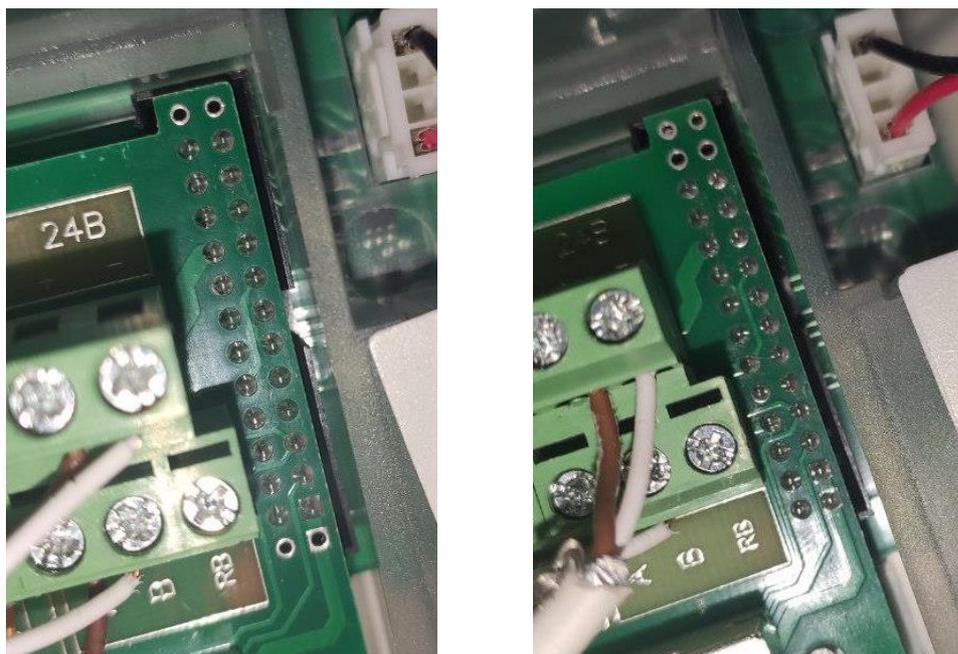


Рисунок 12. Сравнение рабочего (слева) и неисправного (справа) тепловычислителя КАРАТ-307

Сердцем системы мониторинга ПолиТЭР является сервер. В данный момент он базируется на персональном компьютере, расположенном в подвале дома. Изначально в качестве устройства работы сервера использовался ноутбук DELL INSPIRON. Проработав 2 года в этом компьютере стали возникать ошибки, связанные с работой жесткого диска. Они возникали по той причине, что жёсткий диск такого устройства не рассчитан на долгую продолжительную работу. В результате было принято решение о замене компьютера на новый. Был использован стационарный компьютер, отличительной особенностью является установка специального серверного диска рассчитанного на длительную работу.

## 2.3 Мониторинг солнечной энергии

Система получения солнечной энергии реализована следующим образом солнца (Рисунок 13).

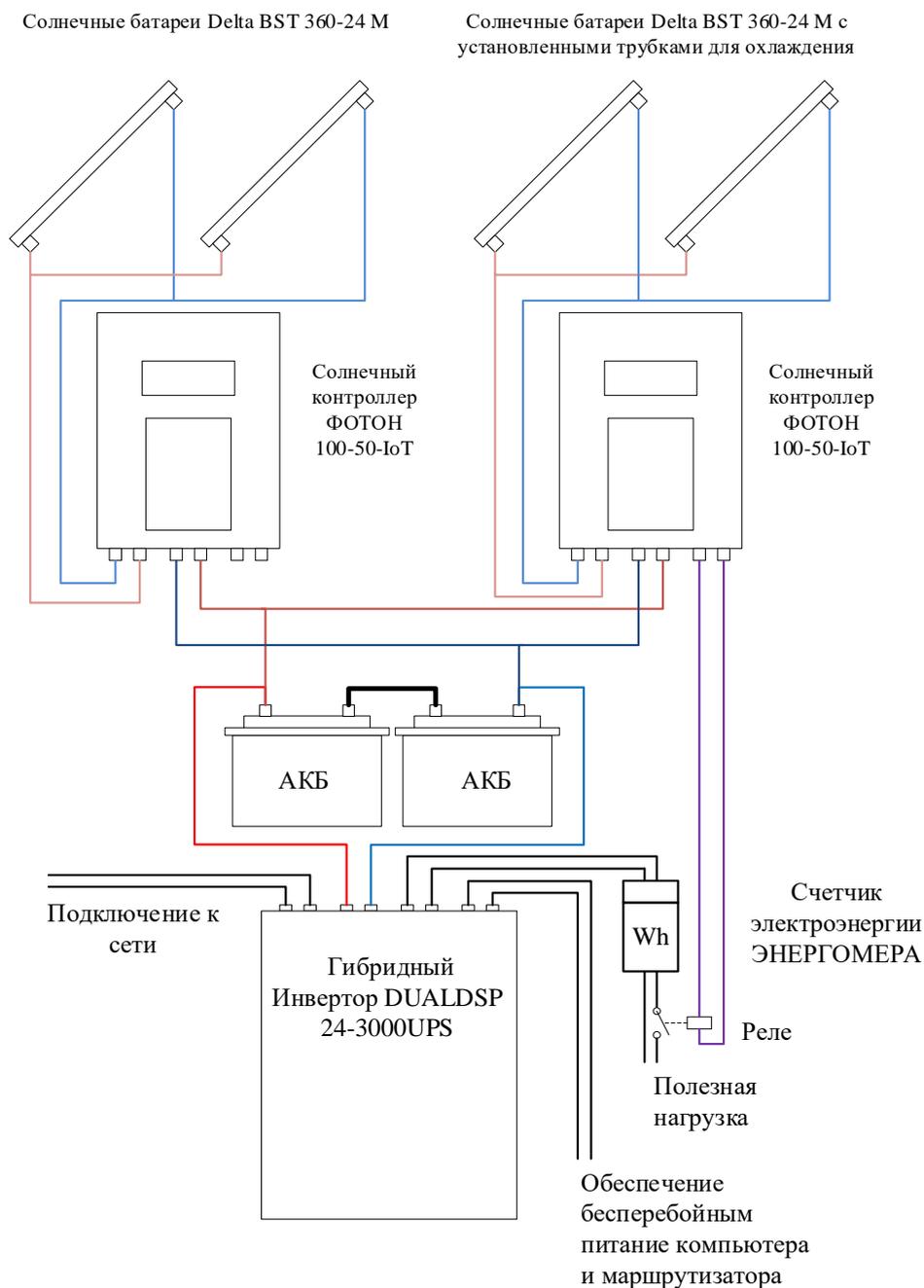


Рисунок 13. Схема подключения солнечных батарей

Наибольшее количество энергии от возобновляемых источников дом получает от солнца. Это происходит за счет инсоляции, приходу тепла на солнечные коллекторы и выработки электроэнергии на солнечных панелях. Если учитывать

тепло получаемое на солнечном коллекторе, можно с помощью тепловычислителя используя расход, температуру на входе и выходе из них, то при учете электроэнергии с солнечных панелей требуется более сложная система.

В данной схеме использованы два Солнечных MPPT контроллера Фотон-150-50 IoT. Использование двух контроллеров обусловлено тем, что половина панелей имеет охлаждение, и соответственно имеет другие параметры выработки электроэнергии. Обозначение IoT в названии прибора (Internet of Things) обозначает концепцию интернета вещей. Эта концепция вычислительной сети физических предметов («вещей»), оснащённых встроенными технологиями для взаимодействия друг с другом или с внешней средой, рассматривающая организацию таких сетей, как явление, способное перестроить экономические и общественные процессы, исключаящее из части действий и операций необходимость участия человека. В этом частном случае, это обозначает, что контроллеры имеют доступ в интернет и способны передавать данные через сеть. Благодаря этому и происходит сбор параметров. Контроллер подключен к сети WI-FI и имеет свой графический интерфейс (Рисунок14).

Графики работы контроллера  
Фотон-100-50-IoT

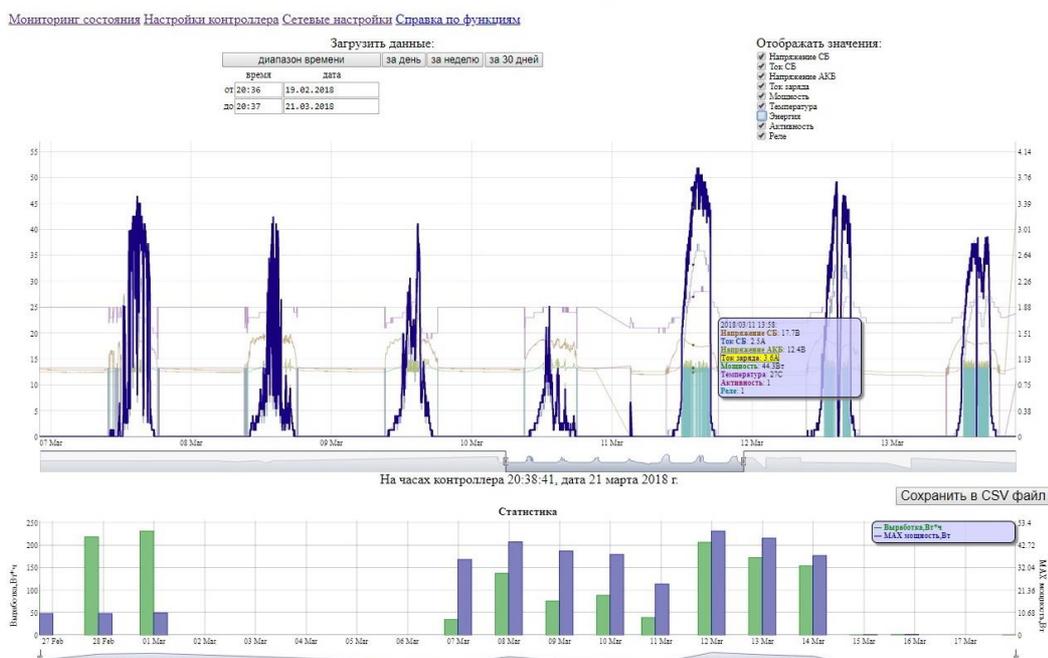


Рисунок14. Веб интерфейс солнечного контроллера Фотон-150-50 IoT

Там присутствует возможность выгрузки файлов с параметрами, а также визуальный контроль через специальный интерфейс. Имеется также возможность редактирования некоторых параметров. Данные контролеры в полной мере покрывают потребность в получаемых данных предоставляя такие параметры как:

- Напряжение солнечных батарей;
- Ток солнечных батарей;
- Напряжение аккумуляторных батарей
- Ток заряда аккумулятора;
- Мощность, вырабатываемая панелями;
- Энергия, поступившая от солнца;
- Состояние активности выработки электроэнергии;
- Работу реле.

По этим параметрам возможно в полной оценить работу солнечных панелей. А также исследовать эффективность охлаждения панелей путем сравнения данных с двух контролеров.

Помимо контролеров учет выработанной панелями энергией производится с помощью счетчика ЭНЕРГОМЕРА установленного на замер мощности полезной нагрузки. На данный момент за счет солнечных панелей происходит нагрев аккумулятора тепла.

## 2.4 Результаты нахождения и устранения неполадок

В результате проведенных работ система сбора информации стала работать более стабильно. Благодаря чему, может производиться длительный автоматический сбор данных без присутствия человека.

	1T1, °C	1T2, °C	G1, т/ч		Q1, кВт
Учет тепла от солнечного коллектора	20.8		0.000		0.000
	2T1, °C	2T2, °C	G2, т/ч		Q2, кВт
Учет тепла теплый/холодный потолок	22.9	22.5	0.575		0.223
	3T1, °C	3T2, °C	G3, т/ч		Q3, кВт
Учет тепла теплый пол	22.3	19.3	22.2	0.114	0.021 -0.375
	T1, °C	T2, °C	G1, т/ч		Q1, кВт
Учет тепла на радиаторы подвала		20.6	0.000		0.000
	T3, °C	T4, °C	G2, т/ч		Q2, кВт
Учет тепла на ГВС			0.000		0.000
	T5, °C	T6, °C	G3, т/ч		Q3, кВт
Расход холодной воды	5.8	18.4	0.000		0.000
	T1, °C	T2, °C	G1, т/ч	G2, т/ч	Q1, кВт
Учет тепла от высокотемп. контура теплового насоса	19.8	22.6	0.000	0.305	0.000
	T3, °C	T4, °C	G3, т/ч	G4, т/ч	Q2, кВт
Учет тепла от низкотемп. контура теплового насоса	22.6	22.5	0.581	0.289	0.065
	T5, °C	T6, °C	G5, т/ч		Q3, кВт
Учет тепла от грунта	19.8	19.8	0.000		0.000

Рисунок15. Таблица программы ПолиТЭР с мгновенными показаниями

Благодаря этим данным появилась возможность получать реальные значения температур, расходов и количества энергии в разных компонентах системы энергоэффективного дома (Рисунок15).

Появилась возможность производить анализ систем солнечных коллекторов, солнечных панелей, грунтового теплового насоса, а также системы теплого потолка и системы теплый/холодный потолок, которые отвечают за поддержания требуемых значений внутри дома.

Особенности работы систем, представленные в данной главе, помогут избегать ошибок и неточностей при дальнейшем мониторинге.

## **ГЛАВА 3. РАБОТА С ДАННЫМИ, ПОЛУЧЕННЫМИ ИЗ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА**

### **3.1 Обработка и анализ данных с использованием программных средств**

В результате работы систем мониторинга и управления энергоэффективного дома в течении нескольких лет, было получено огромное количество разнообразных данных. Эта информация в академической среде называется «Большие данные» (англ. big data), она несет в себе ценные знания, которые невозможно получить любым другим способом, кроме как живым экспериментом, для которого требуется построить полноценный жилой дом. Сбор, сохранение и анализ полученных данных позволит дать положительный толчок для энергоэффективного строительства в России. Никогда ранее в истории человечества не было таких средств и методик для обработки такого большого количества данных чем сейчас. Данные от различных систем мониторинга смогут эффективно использоваться только совместно, ведь чем более полную картину о всех системах дома мы будем иметь, тем легче будет анализировать данные на предмет зависимостей одних показаний относительно других. Однако, несмотря на схожие параметры, каждая система имеет собственный принцип сбора данных, поэтому необходимо было привести все данные к одному формату. Для работы с данными был выбран формат .XLSX в программе Microsoft Excel, за простоту обработки большого количества данных записанных в одну единицу времени. При сборе данных из разных источников, помимо размерности, требуется также соблюдения единого формата времени, даже в рамках одной системы встречается проблема не одновременного снятия показаний, что при большом объеме получаемых значений серьезно осложняет групповую обработку данных.

### **3.2 Проблемы и особенности обработки данных различных форматов на примере параметров из системы Тепломонитор**

Из-за разных прицепов работы все системы в доме по-разному собирают и архивируют информацию. Например, в системе ПолиТЭР данные обновляются один раз в 5 минут, с возможностью выгрузки усредненных параметров за каждые 10 минут. Данные со всех компонентов метеостанции обновляются одновременно, также с интервалом 10 минут. Из-за того, что система Тепломонитор имеет иной принцип работы, обновляются по-разному, так как в этой системе, помимо температурных датчиков и расходомеров, присутствует также управляющее оборудование, которое корректирует систему отопления.

В результате некорректной работы термометра, измеряющего температуры воды на выходе из солнечных вакуумных коллекторов, для определения количества теплоты, полученной от солнца, требовалось использовать это значение из другой системы мониторинга. Благодаря избыточности системы сбора данных этот параметр дублировался системой Тепломонитор. В апреле 2020 у компании Гидролого был запрошен весь массив данных полученных от контролера. Эти данные собирались на сервере компании с 10 мая 2018г, что является самым большим единым архивом данных. Получение возможности сортировки обработки и систематизации этих данных позволило разработать принципы и методики обработки больших данных систем мониторинга.

Полученный файл содержит 5,7 млн значений, снятых с различной периодичностью в зависимости от конкретного прибора, в связи с этим для работы с этими данными требуется их усреднение и сведение к одному временному промежутку. При анализе файла было получена цифра в 7190 значений в сутки. Перебрав множество вариантов и стратегий работы с подобными файлами, был создан следующий алгоритм работы с файлами (Рисунок 16).

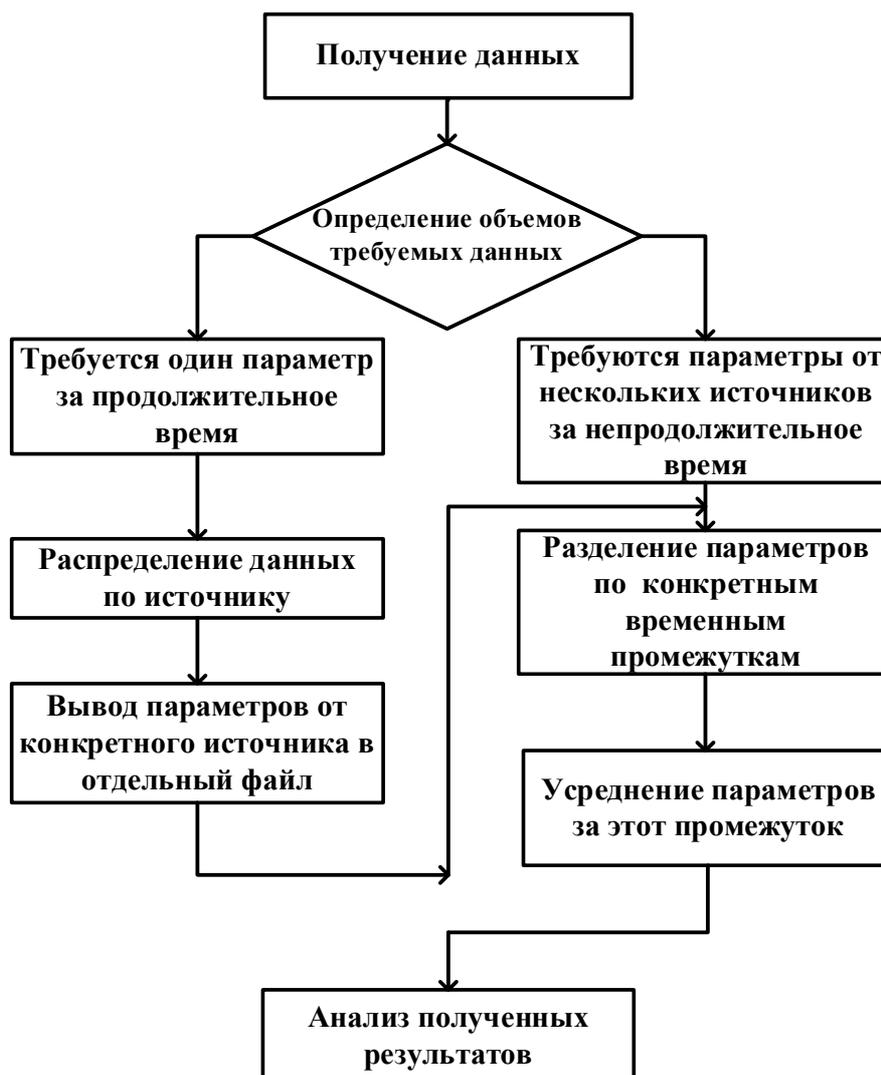


Рисунок 16. Алгоритм обработки данных из системы Тепломонитор

Этот алгоритм предполагает разный подход действий в зависимости от объёмов требуемых данных. В случае если объём данных за не продолжительный период, то для нормальной последующей обработке, необходимо осуществить усреднение данных к одному периоду времени.

Если не требуется совместное исследование данных с одного устройства за продолжительный срок, диапазон будет слишком велик, поэтому требуется предварительно убрать из исследуемого файла ненужные устройства для этого осуществляется сортировка всех данных по устройствам, а потом сгенерировать отдельный файл по требуемому устройству. Дальнейшая обработка будет подобна работе с файлом за непродолжительный срок.

### 3.3 Сопоставления результатов от разных устройств в системе Тепломонитор

При сборе данных со всех систем и последующей попытке одновременного анализа из разных источников была найдена основная проблема их совместного использования — это проблема сопоставления значений относительно времени в разных системах. Решение именно этой проблемы позволило в дальнейшем проводить анализы для данных с большим количеством источников.

Среднее по Назван	Т	Расчет	Комнат	Уличный	Темп.	Т	Т	Т	Расчетная	Датчик	Датчик	Датчик	Датчик	Т
Назва	аккумулятор	улято	поток	1-ый	Улица	Контур	коллектора	коллектора	аккумулятор	Т потока	Комнат	Комнат	обратки	Т
15.мар	0													
:01									10					
:03			20.9								21.8			
:04														
:05								17.2						20
:07	21.8												22.1	
:08				-3.7			-3.7	-3.4						
:09									19.8	19.8				
:10					20.9						20.9			
:13													19.9	
:19		25.7												
:24														
:27								10						
:32								17.2						20
:33			20.9									21.8		
:34														
:36									19.8	19.8				
:37	21.8												22.1	
:38				-4			-4	-4.3						
:40					20.2						20.2			
:43													19.9	
:48		27.6												
:52														
:54		28						10						
:56		32.3						16.3						
:57								9.1						
:59		27												20

Рисунок 17. Данные полученные системой Тепломонитор по некоторым приборам в течении часа

Как видно из рисунка (Рисунок 17) каждое устройство в одной системе отправляло данные с разным временным промежутком, из-за чего было невозможно для получения суммарного результата обработать эти данные по отдельности. Для их обработки требуется внесение всех данных в одну таблицу и последующее усреднение по временному параметру, чаще всего это часовые значения. В дальнейшем к этому значению будут приводиться все значения из различных систем.

Для изучения в случае возникновения внештатной ситуации, оставлена возможность обращения к разрозненным архивам для установления причин ошибок и аварий.

### 3.4 Обработка данных от солнечных батарей

Работающие по технологии интернета вещей, солнечные контроллеры Фотон-150-50 IoT позволяют параметрами своей работы. Путем подключения через веб-интерфейс имеется возможность загрузки архива показаний: напряжения солнечных батарей, тока солнечных батарей; напряжения аккумуляторных батарей тока заряда аккумуляторов и мощности, вырабатываемой панелями. Эти параметры выгружаются вручную в виде архива в формате .CSV. При загрузке данных за продолжительный период на одном из контроллеров произошла ошибка, связанная со сбросом даты до заводских параметров. В связи с этим параметры потеряли привязку к корректной дате и времени.

Для устранения данной проблемы было принято решение использовать данные о солнечной активности за исследуемый период. Данные из системы мониторинга и параметры с солнечного контроля были собраны в одну сводную таблицу. Предварительно было произведено приведение к одному временному формату и шагу. По характерным токам было произведено сопоставление двух графиков. На примере одного дня (Рисунок 18) можно оценить, на сколько совпадает изменение графиков мощности и значений солнечной активности с погодной станции во времени.



Рисунок 18. Изменение во времени мощности панелей и показаний погодной станции

Для определения, на сколько графики совпадают, был произведен корреляционный анализ (Рисунок 19).

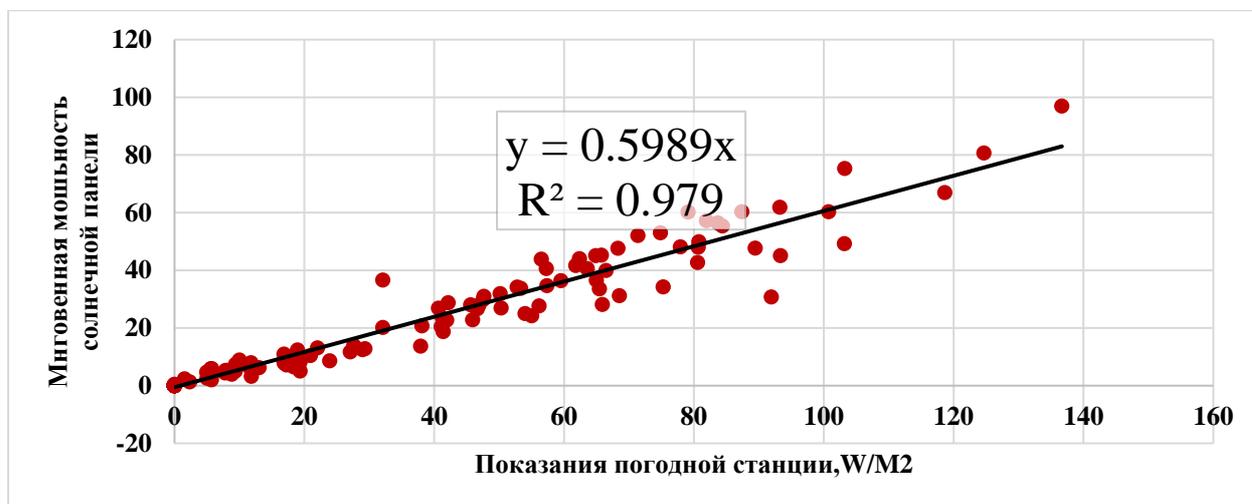


Рисунок 19. Зависимость мощности панелей от регистрируемых значений

В результате анализа был найден коэффициент детерминации он составил:

$$R^2 = 0.979$$

Что говорит о высокой степени сходимости полученных данных. Благодаря нахождению соответствия, были восстановлены даты в полученных данных за этот срок. Появилась возможность их изучения и сопоставления с другими системами.

### 3.5 Особенности приведения к единому временному формату

Как уже писалось раньше, каждая система формирует данные по-своему. Так, например, система ПолиТЭР, опрашивая датчики каждую минуту, формирует, в зависимости от настроек, архивы по средним значениям за 10 минут и средним за час. Станция погодного мониторинга записывает мгновенные значения параметров каждые 10 минут. Солнечный коллектор формирует, загружаемые через веб-интерфейс, данные на основании мгновенных показаний тока, напряжения и других параметров.

Для совместной обработки требуется приведение данных к одному формату даты для этого есть два пути:

- Усреднить значения к размерности промежутка;
- Использовать только конкретные мгновенные значения.

У обоих этих вариантов есть конкретные варианты использования. Тот или иной вариант выбирается относительно систем, с данными из которых производится исследование. Так, например, если одна из систем производит усреднение архивируемых данных, то в данные, прилучаемые из других систем, стоит также усреднить к временному промежутку другой системы. Если производится работа с двумя системами, которые передают мгновенные значения, то необходимо использовать исключительно их, не проводя усреднения, так как это может привести к накоплению ошибок и неточностей.

Важность правильного выбора метода приведения к одному времени можно продемонстрировать на примере совместной обработки данных из системы мониторинга солнечных панелей и данных, полученных с метеостанции. Для этого был произведен сбор из обеих систем и произведен корреляционный анализ данных. Данные от солнечного контролера были обработаны двумя разными способами. В первом случае (Рисунок 20) было произведено усреднение значений за 10 минут в одно, во втором случае (Рисунок 21) были отобраны мгновенные значения максимально соответствовавшие времени регистрации параметра метеостанцией.

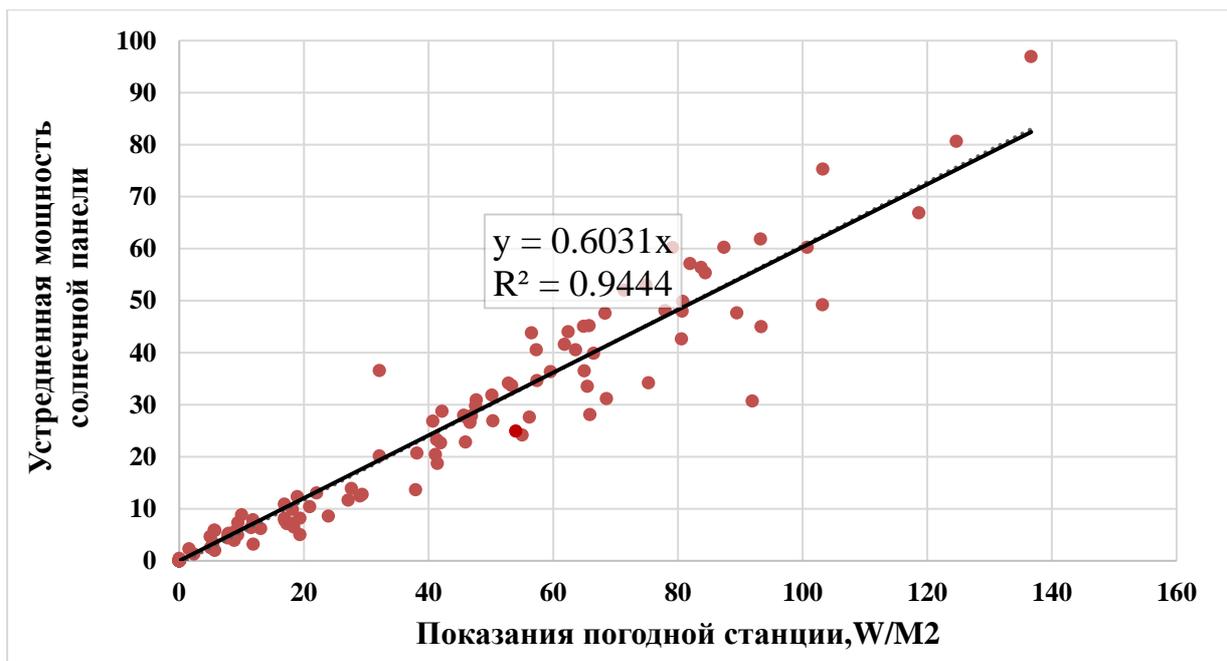


Рисунок 20. Корреляция при использовании усредненной мощности

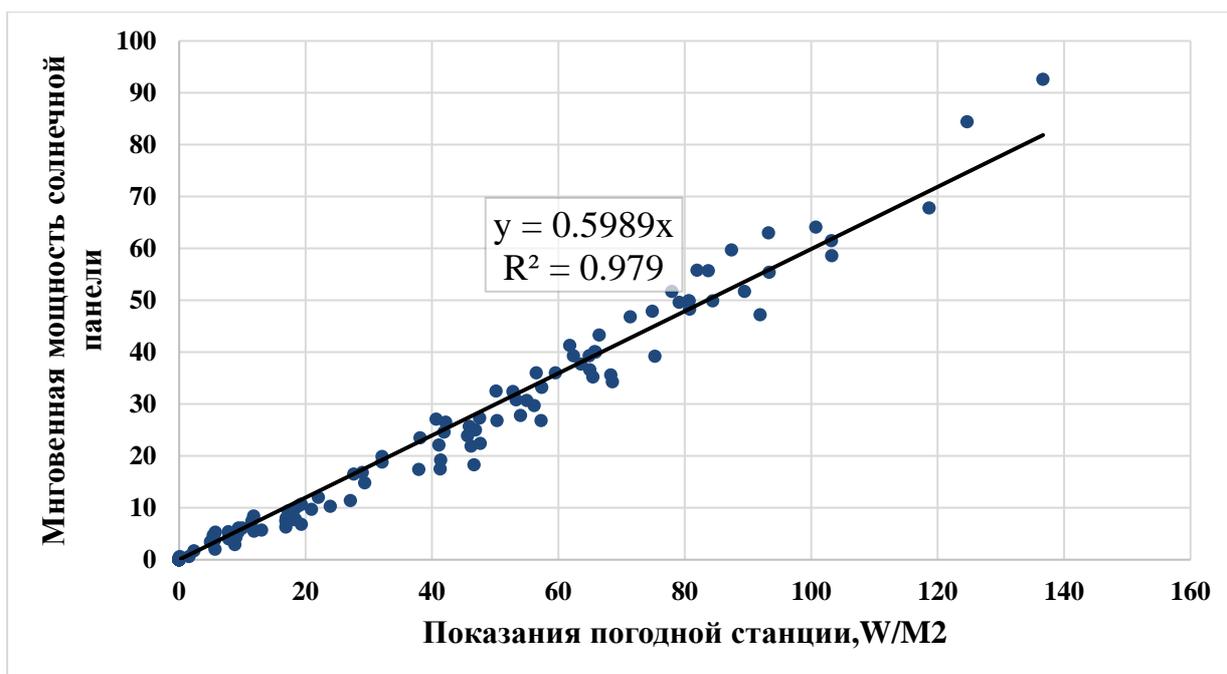


Рисунок 21. Корреляция при использовании мгновенной мощности

По полученным данным можно сделать вывод, что в данном случае более точным является использование мгновенных значений. Следовательно, при дальнейшей обработке будет необходимо соблюдать правильность сопряжения данных из разных систем.

### 3.6 Нахождения времени аккумуляции дома

После отладки и настройки системы сбора и архивирования значений, полученных системами мониторинга, приступаем к непосредственному использованию этих параметров для поиска и определения зависимостей, которые могли бы дать уникальную информацию или уточнить значения, полученные методами моделирования.

Благодаря оптимизации совместной работы с данными из нескольких систем, стало возможно проводить исследования, связанные с обработкой данных. Так, например, были проведены уникальные исследования аккумуляции здания. [6]

В рамках этого исследования был произведен отбор показаний за неделю из нескольких систем мониторинга. Для этой работы применялись данные полученные из всех трех систем мониторинга.

В результате обработки данных за каждый час было тяжело сделать выводы по аккумуляции домом тепла, поэтому было принято решение о том, чтобы сгруппировать графики и провести анализ данных при учёте за каждые 6 часов работы системы дома. Для этого расчёта были собраны такие данные, как сумма тепла тёплого пола и тёплого потолка при помощи системы, температуру наружного воздуха, температуру внутри дома, количество солнечной энергии, собираемой метеостанцией, а также учёт тепла от солнечного коллектора, разность температур солнечного коллектора и аккумулятора, через который было рассчитано количество энергии, полученное солнечными батареями.

Для нахождения аккумуляции домом был посчитан коэффициент корреляции, сведенный в таблице 2, при сдвиге графика на 12 и 18 часов. Исходя из посчитанного коэффициента корреляции, сведенного в таблице, самый большой показатель корреляции получился при сдвиге графика на 12 часов для подтверждения времени аккумуляции тепла домом.

Таблица 2. Коэффициент корреляции и детерминации при сдвиге графика на 12 и 18 часов

	Без смещения графика	Сдвиг графика на 12 часов	Сдвиг графика на 18 часов
Корреляция	0,325	<b>0,420</b>	0,107
Детерминация	0,105	<b>0,176</b>	0,011

При графическом анализе также заметно совпадение пиков на графике (Рисунок 22), что говорит о существовании зависимости отопления от разности температур при смещении на 12 часов, что подтверждает задержку из-за аккумуляции равную этому времени.

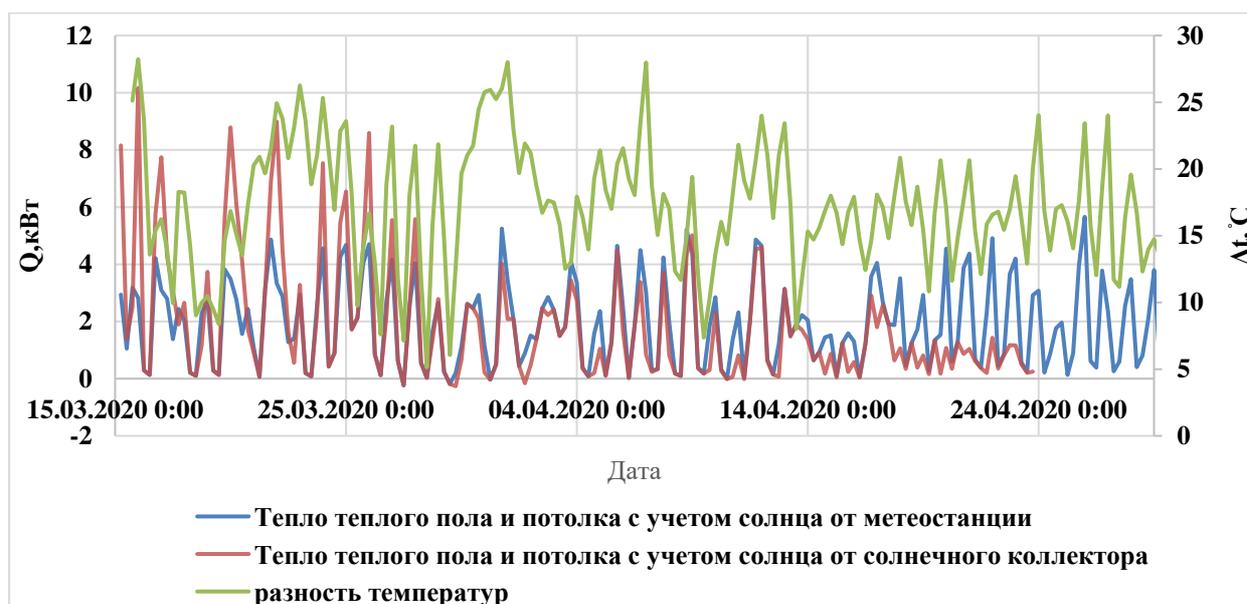


Рисунок 22. Изменения мощности системы отопления и температуры наружного воздуха со смещением на 12 часов

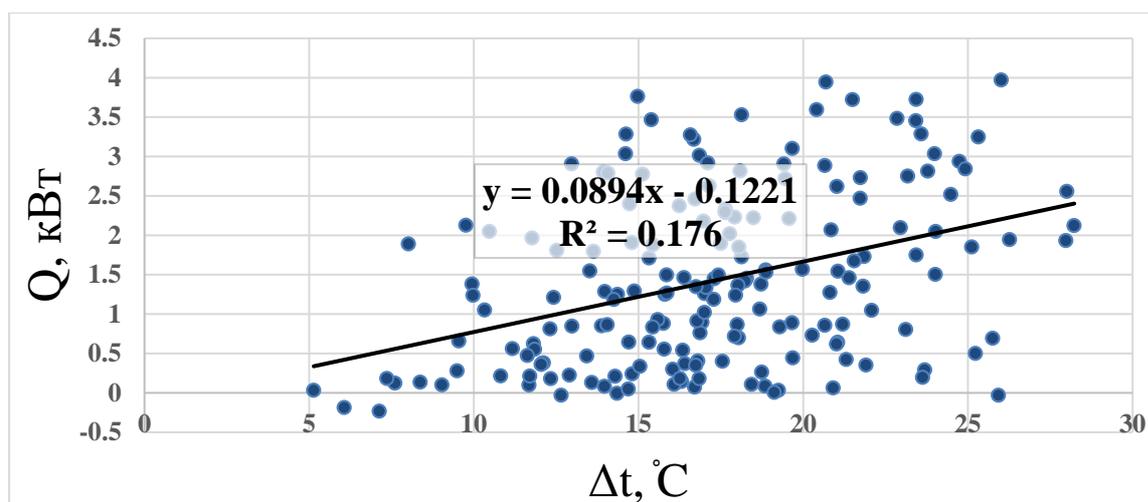


Рисунок 23. Взаимосвязь прихода тепла в дом от разности внутренней и наружной температуры со смещением на 12 часов через метеостанцию

Полученная линия тренда (Рисунок 23) является линейно увеличивающейся функцией, что свидетельствует о росте разности температур с увеличением потребленного домом тепла, как это было бы при отсутствии тепловой изоляции. Её наличие и дает найденное значение времени в 12 часов на аккумуляцию.

Полученное значение времени, за которое дом самостоятельно поддерживает стабильную температуру, является уникальным параметром. Единственный способ получения — это проведение реального эксперимента, на реальном объекте. Важность этой находки состоит в том, что данная величина поможет создавать прогнозы по потреблению тепла в краткосрочной перспективе. Учет данной величины в системах управления позволит эффективнее регулировать изменение режимов отопления зданий относительно внутренней температуры.

### 3.7 Уменьшение энергетических затрат в отопительный период

Вместе с расчетом аккумуляции было также произведено изучение работы систем дома во время отопительного периода за все время мониторинга. Для этого производилось снятие показаний с приборов учета, и проведена совместная обработка этих данных совместно с информацией из систем мониторинга. В результате сбора информации с счетчиков электрической энергии ЭНЕРГОМЕРА была составлена сводная таблица:

Таблица 3. Потребления по месяцам за отопительный период 2020 г

Средняя мощность	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Тепловой насос	468	740	697	766	736	579	298
Насос солнечного кол.	5	4	3	6	9	16	12
Насосная группа	52	35	67	53	53	53	52
Вентилятор	25	19	16	31	22	20	39
Нагреватель	78	44	42	82	34	87	142
Освещение и розетки	137	185	166	225	183	240	341
<b>ВСЕГО ПОТРЕБЛЕНИЕ</b>	<b>765</b>	<b>1028</b>	<b>989</b>	<b>1163</b>	<b>1037</b>	<b>995</b>	<b>884</b>
В т.ч. Инженерное оборудование.	628	843	824	938	854	755	543

Одновременно с этим были собраны данные (Таблица 4) из метеостанции для учета параметров окружающей среды и учета микроклимата в доме.

Таблица 4. Температуры и влажность по месяцам за отопительный период 2019-2020 г.

	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Наружная температура,°С	7.66	0.63	0.42	-0.24	-0.95	2.86	4.03
Внутренняя температура,°С	21.37	21.14	20.58	21.00	20.01	20.65	21.46
Средняя влажность,%	52.90	42.26	36.58	37.09	34.01	35.24	35.11

Параметры температуры необходимо учитывать для оценки комфортности проживания. Так, чем стабильнее держится температура в помещении, тем лучше. Само значение задается через систему управления.

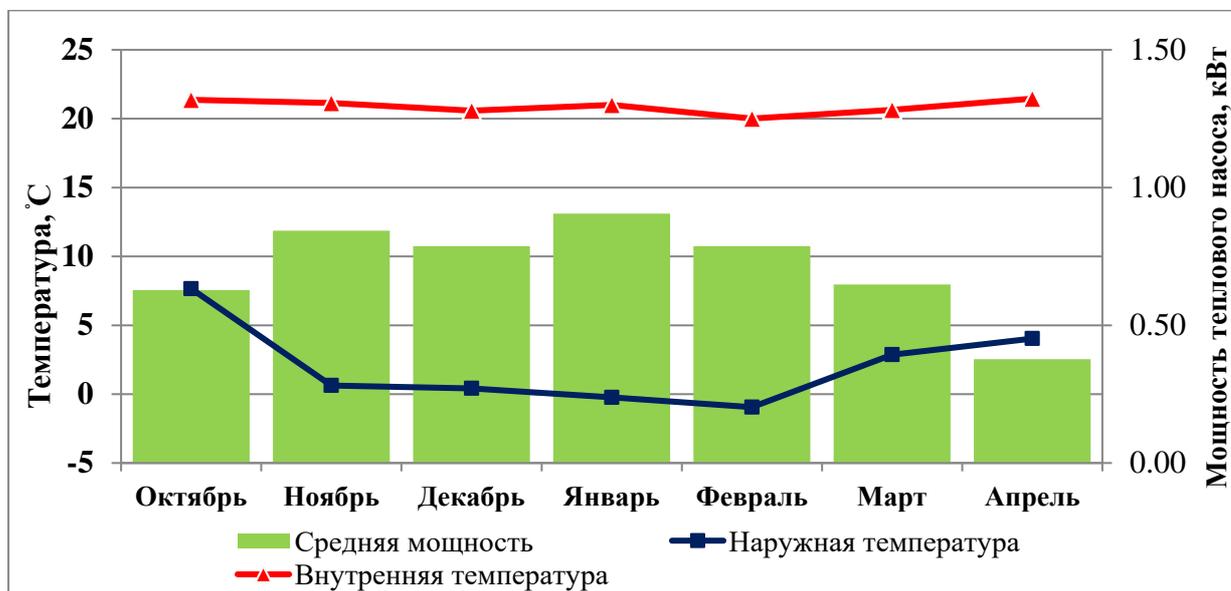


Рисунок 24. График изменения средней мощности теплового насоса, наружной температуры и температур внутри помещения

По результатам мониторинга (Рисунок 24), средняя температура помещения составила:

$$T_{\text{ВН}}^{\text{CP}} = 20.88 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

со средним отклонением в 0.41 °C. Это означает, что, не смотря на изменение наружной температуры, система отопления поддерживается на максимально стабильном уровне.

Для демонстрации того, как эти значения менялись в течении эксплуатации объекта, обратимся к архивам за предыдущие года.

По этим данным (Рисунок 25) средняя температура все ближе приближается к комфортным значениям, что свидетельствует о положительном эффекте работы автоматических систем управления отоплением.

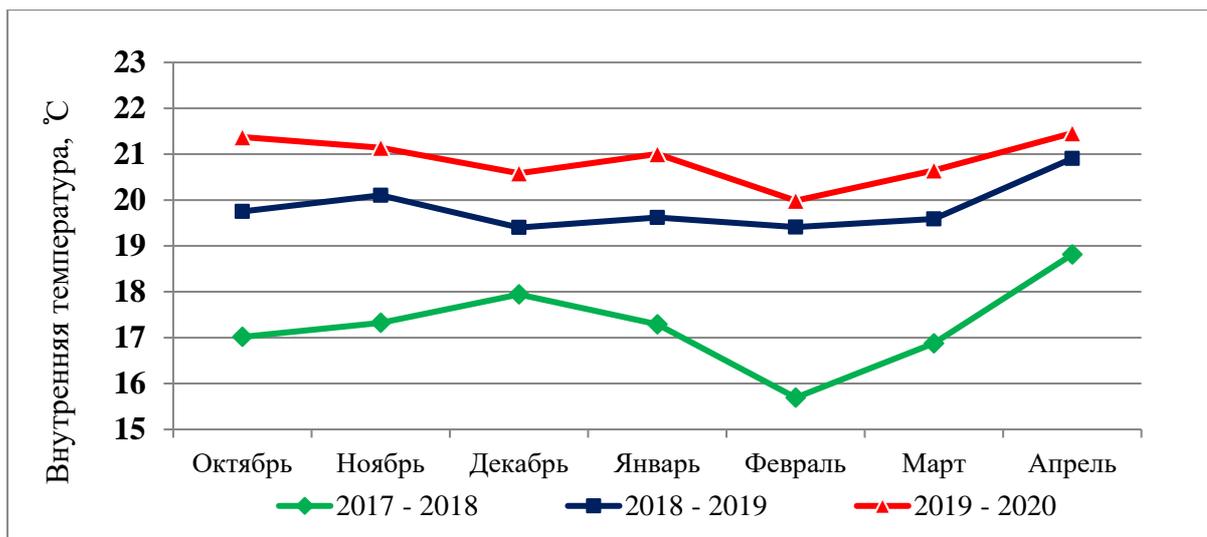


Рисунок 25. График изменения внутренней температуры в периоды отопления

Анализируя данные за предыдущие отопительные периоды, была обнаружена еще одна область, в которой наблюдалась тенденция к сокращению затрат.

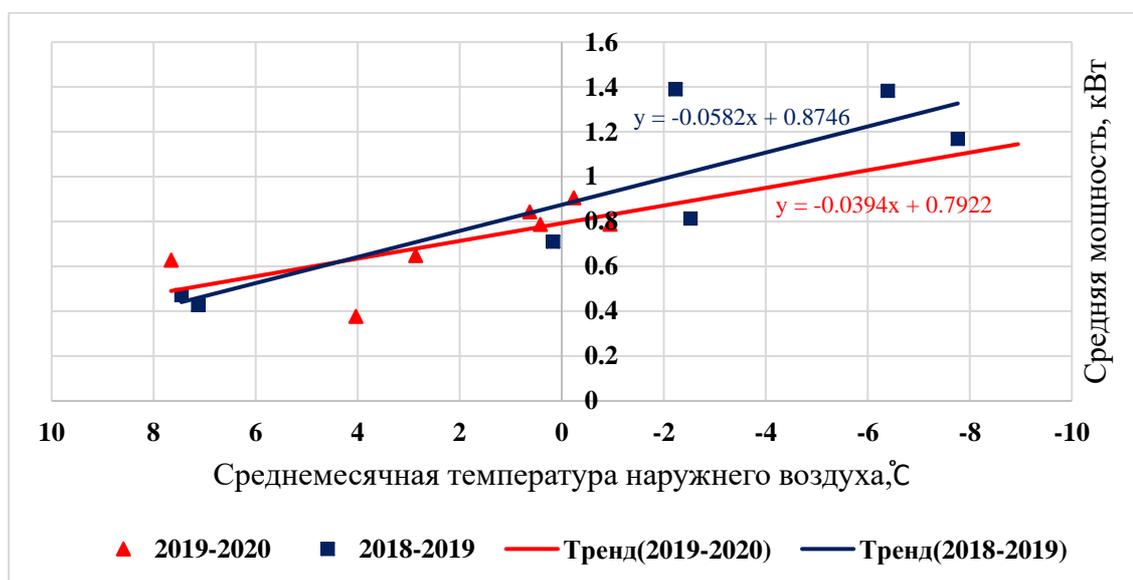


Рисунок 26. График зависимости средней мощности теплового насоса от температуры

Обработав данные и построив линию тренда (Рисунок 26) между средней мощностью и среднемесячной температурой, было обнаружено, что в предыдущем году нагрузка на тепловой насос возрастала сильнее при понижении температуры

наружного воздуха. По графику линия находится на 10,4 % ниже. В связи с этим, можно сделать вывод о снижении роли теплового насоса в качестве источника отопления. Одним из возможных объяснений этому является увеличение использования тепла солнечной энергии, что свидетельствует о положительной роли солнечных коллекторов.

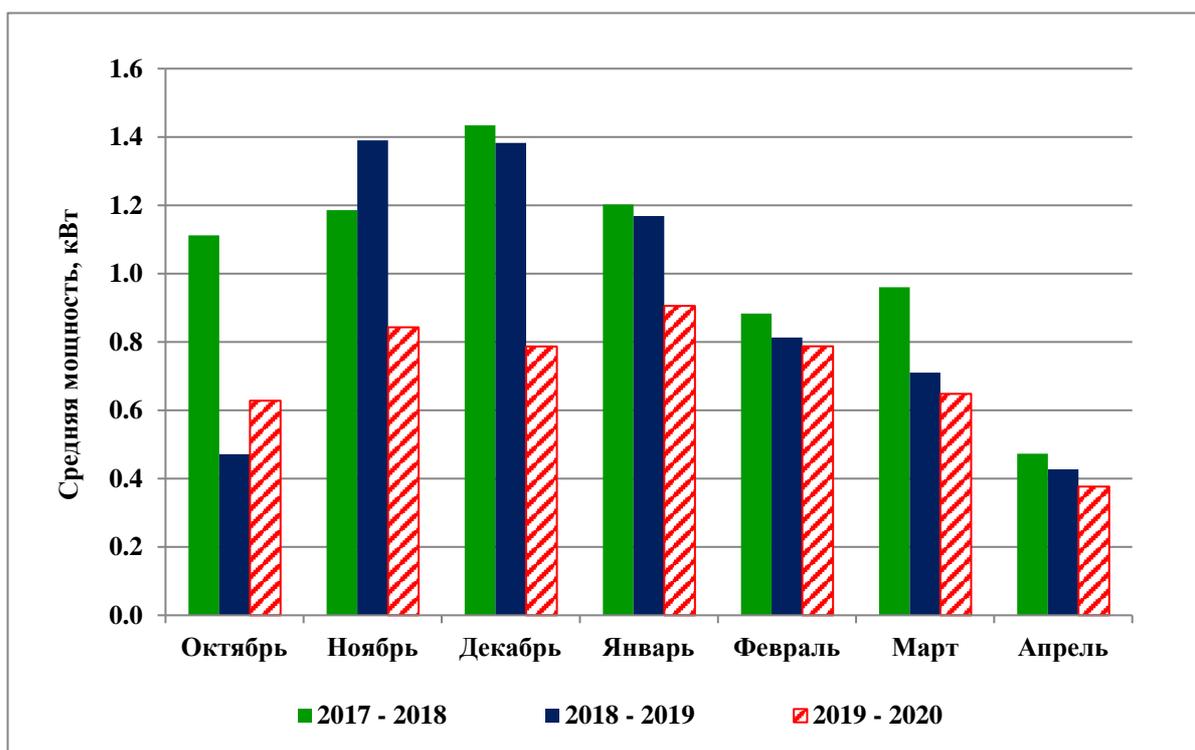


Рисунок 27. Потребляемая мощность инженерной системы энергоэффективного дома с тепловым насосом

По фактическим результатам (Рисунок 27) было обнаружено, что по сравнению с позапрошлым отопительным периодом на 30% сократилось потребление энергии и на 14% по сравнению с прошлым годом. Следовательно, можно сделать вывод о существующей тенденции к снижению энергопотребления системами дома. Вероятным объяснением этого является то, что за эти 3 года проведения разного рода оптимизации работы системы, а также устранения неполадок дали положительный результат.

### 3.8 Сравнение реальных показаний с расчетами в различных программах BIM моделирования

Данные получаемые систем из систем мониторинга позволяют получать большое количество данных о работе дома. Надежность систем мониторинга позволяет считать эти параметры достоверными.

Во время проектирования, исследуемого энергоэффективного дома, были выполнены расчеты в различных программах BIM моделирования [5,8,9]. В том числе было произведено сравнение этих систем (Таблица 5).

Таблица 5. Сравнение результатов расчета энергопотребления в разных BEM-пакетах

Сравниваемая величина	BEM-пакеты			
	PHPP	EcoDesigner STAR	TRNSYS	MagiCAD Room
Тепловые потери теплопередачей (наружные стены, полы, кровля, окна), кВт·ч	11077	11256	9387	7868 (без инфильтрации); 9901 (с инфильтрацией)
	Разница в расчетах (в сравнении с PHPP), %			
	0	1,6	16,6	31/12
Теплопоступления солнечной радиацией, кВт·ч	3384	4658	2913	Не рассчитываются
	Разница в расчетах (в сравнении с PHPP), %			
	0	37	14	Не рассчитываются
Внутренние тепловыделения, кВт·ч	3395	1679	2321	Не рассчитываются
	Разница в расчетах (в сравнении с PHPP), %			
	0	50	32	Не рассчитываются
Потери теплоты на инфильтрацию, кВт·ч	—	495	2543	789
Нагрузка на систему отопления (без учета приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла), кВт·ч	5558	5907	6696	9901
	Разница в расчетах (в сравнении с PHPP), %			
	0	6,3	20,5	78 (нагрузка принята по тепловым потерям)
Удельная нагрузка на систему отопления (без учета приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией тепла), кВт·ч/ (м <sup>2</sup> ·год)	30,04	31,9	36,2	42,5 (без учета инфильтрации); 53,5 (с учетом инфильтрации)
	Разница в расчетах (в сравнении с PHPP), %			
	0	6	20	41/78
Годовая выработка полезной тепловой энергии от солнечной радиации, кВт·ч/год	2028	2224	—	—

Благодаря этому имеется возможность сравнить данные, полученные в этих программах, с реальными значениями. Для этого будут и пользоваться данные полученные за отопительный период 2019-2020 гг.

При расчете с использованием EcoDesigner STAR были получены значения расчетной нагрузки на систему отопления:

Наименование потока энергии	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Теплопередача	1378	1663	996	684	337	705	623	625	625	854	1272	1405
Инфильтрация	45	69	30	28	24	58	48	47	30	24	44	47
Теплопоступления от людей	94	86	95	93	94	93	95	94	95	94	91	97
Добавленная скрытая энергия	31	37	18	19	28	44	38	37	16	13	25	27
Солнечный теплоприток	85	305	288	597	728	681	635	605	410	157	116	52
Нагрузка на систему отопления	1176	1304	653	0	0	0	0	0	0	445	1043	1246

Для расчета подобных значений были использованы данные из системы ПолиТЭР. Система отопления в доме представлена в виде теплого пола и потолка. Используя данные, поступающие с тепловычислителей Карат, был сформирован массив значений тепловой мощности за отопительный период по ступающий от теплого пола и потолка (Рисунок 28).

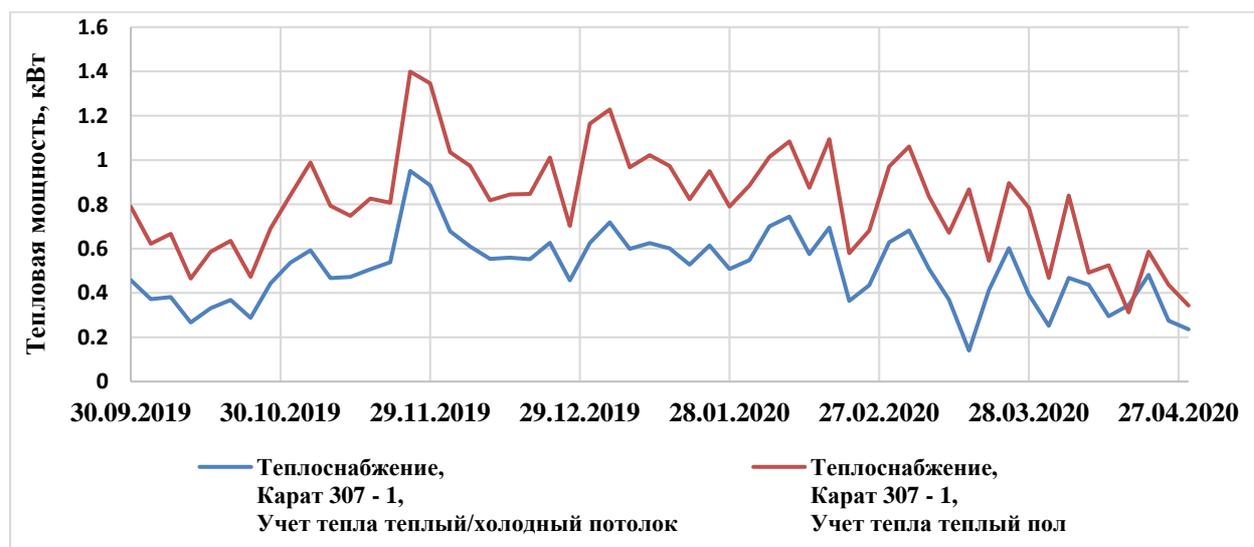


Рисунок 28. Тепловая мощность теплого пола и потолка

По этим значения тепловой мощности была вычислена тепловая нагрузка на всю систему отопления:

$$Q_0^{\text{мес}} = \sum Q_{\text{пол+пот}}^{\text{ср.сут}} \cdot n$$

где,  $Q_0^{\text{ср.сут}}$  - суммарное значение среднесуточной мощности теплого пола и потолка,  $n$  - 24 часа,  $Q_0^{\text{мес}}$  - нагрузка на систему отопления в месяц.

В результате обработки данных, из системы мониторинга были получены следующие результаты:

Таблица 6. Нагрузки на систему отопления по месяцам

Нагрузка	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Данные из ПКТ ПолиТЭР	752	1005	1200	1223	986	995	652
Расчет в EcoDesigner STAR	445	1043	1246	1176	1304	653	0
Разница в расчетах, %	40.9	3.8	3.8	3.8	32.2	34.4	100.0

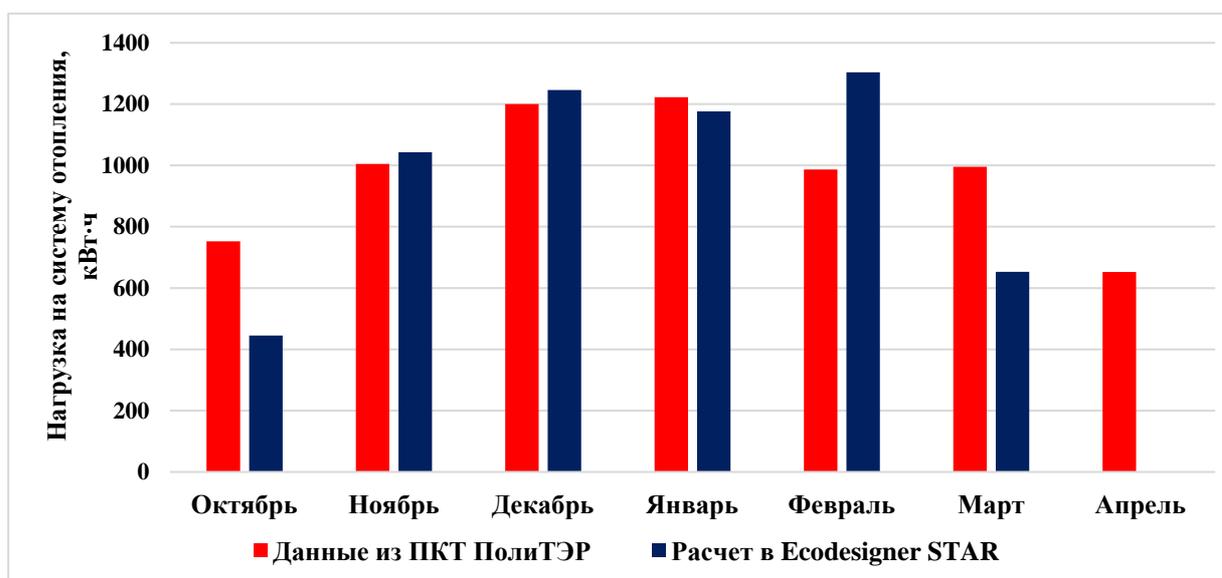


Рисунок 29. График сравнения реальных данных и расчётных

Основываясь на полученном результате, можно сделать вывод, что данные полученные за отопительный период отличаются от рассчитанных (Рисунок 29). Это объясняется тем, что при расчете использовались средние температуры наружного воздуха и интенсивности солнечного излучения. Эти значения оказывают основное воздействие на работу систем отопления.

Вместе с ежемесячными нагрузками за период отопления была рассчитана годовая нагрузка на систему отопления, кВт·ч/год: ..... 6815

Так же была рассчитана удельная годовая нагрузка на систему отопления кВт·ч/(м<sup>2</sup>·год): ..... 33.25

Это значение свидетельствует о высокой энергетической эффективности здания. Расчет этой величины присутствует в большем количестве программ. Это позволит провести их сравнение с реальными значениями.

Таблица 7. Сравнение результатов расчета энергопотребления в разных ВЕМ-пакетах и реальных значений.

Сравниваемая величина	Система мониторинга	ВЕМ-пакеты			
	ПТК ПолиТЭР	RHPP	EcoDesigner STAR	TRNSYS	MagiCAD Room
Нагрузка на систему отопления	6815	6915	5907	6696	9901
	Разница в значениях (в сравнении с ПТК ПолиТЭР), %				
	0	1.4	13.3	1.7	45.3

Полученная разница (Таблица 7) в среднем составляет 5,46%, что находится в пределах погрешности. Эту величину нужно будет учитывать при дальнейших исследованиях и расчетах с использованием ВІМ технологий. Так как в нашей стране использования таких решений только начинает свое развитие и внедрение, полученные и подобные им результаты станут основой для распространения таких практик.

### 3.9 Результаты обработки данных

В результате работы с данными из систем мониторинга и управления энергоэффективного дома были разработаны методики сбора и обработки этих параметров.

Анализ периодов отопления проводимый по информации за 3 года показал тенденцию к снижению потребления энергии тепловым насосом. По сравнению с позапрошлым отопительным периодом на 30% сократилось потребление энергии ТН и на 14% по сравнению с прошлым годом.

При проведении совместной обработки данных из нескольких систем была получена важная и уникальная информация о параметрах дома. Было высчитано время которое дом способен аккумулировать теплоту за счет хорошей изоляции, оно оказалось равно 12 часам.

По данным мониторинга вычислено значение удельной годовой нагрузки на систему отопления:  $33.25 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ , что является очень низким значением для нашего региона. Получены данные, свидетельствующие о снижении энергопотребления на выработку тепла и повышение комфортности проживания.

Проведено сравнение полученных результатов мониторинга с расчетами домов в программах ВЕМ- моделирования. В результате расхождения с результатами моделирования составили в среднем 5,46%, а расхождение с РНРР 1.4%. Из-за большого объема сбора информации, а также дублирования некоторых значений в различных системах, подтверждена достоверность получаемых данных.

## **ГЛАВА 4. ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА**

Достигнутые результаты энергоэффективности являются уникальными для нашей страны и позволяют на своем примере производить важные исследования уже сейчас. Однако, на данный момент этот проект использует не весь возможный потенциал энергетической эффективности. Поэтому в дальнейшем будут применяться различные мероприятия, направленные на повышение энергетической эффективности.

### **4.1 Система прогнозирования**

Благодаря проведенным исследованиям по изучению аккумуляции тепла домом, стали возможны внедрение в систему прогнозирования расхода тепла на основании прогноза погоды на 24 – 48 часов. Подобная технология уже применялась за рубежом. Так, например, в Дании были произведены исследования [10], в рамках которых режим потребления энергии на отопление здания определялся на основе прогноза наружной температуры, скорости и направления ветра и солнечного излучения. Это позволило правильно выбирать время выработки тепла с максимальной эффективностью. Основным принципом работы там являлось то, что каждые несколько часов прогноз уточнялся, позволяя получать более точные значения по теплоснабжению.

В рамках исследуемого дома планируется сделать такую же систему для того, чтобы более эффективно использовать энергию солнечных батарей и солнечных коллекторов. В настоящее время нередки случаи, когда в солнечный день, за которым следует холодная ночь, ТеплоМонитор сначала переходит в режим охлаждения, а затем повышенного нагрева, вместо того, чтобы оставаться в режиме аккумуляции энергии (Рисунок 30).

2020-05-25–2020-05-26

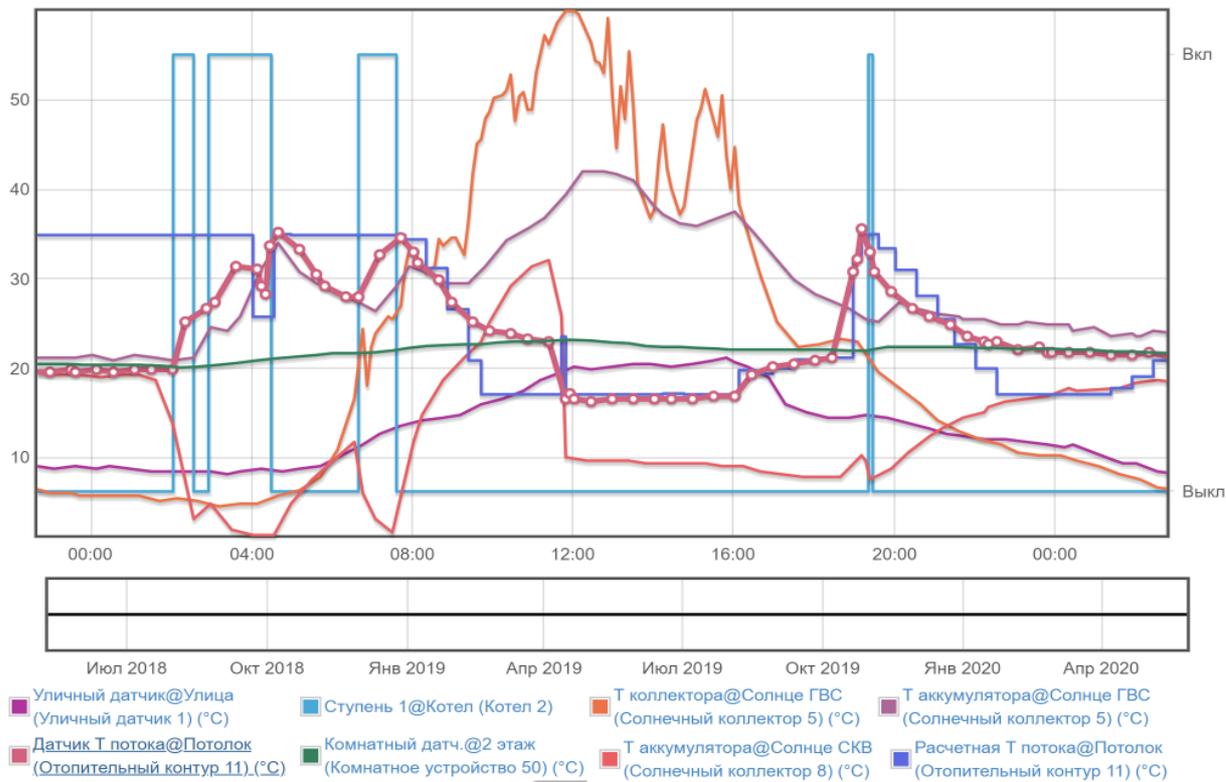


Рисунок 30 Фрагмент данных за 25 мая и программы Тепломонитор

При использовании прогнозирования лишней работы ТН можно было избежать. Так, например, в утренние часы (6.00-8.00) система могла знать о приближающемся солнечном дне и не включать ТН на нагрев, а использовать энергию солнца. При приближении к вечеру и снижению солнечной активности система могла бы использовать тепло солнца и накопить тепло от солнца для использования в ночное время, в место использования ТН. Подобные случаи сейчас решаются мануальным управлением.

Для работы системы прогнозирования тепловых нагрузок требуется прогнозирования различных погодных данных. Вариантом их получения является публичные данные от интернет-сервисов Яндекс и Gismeteo. Интеграция этих данных в систему мониторинга и управления наравне с данными от собственной погодной станции поможет в оптимизации работы всех систем дома.

## 4.2 Солнечные батареи

Так как исследуемый энергоэффективный дом строился и проектировался под минимальные потребление энергии, то здание расположено относительно сторон света так, чтобы можно было максимально использовать солнечную энергию. Именно поэтому южная часть крыши такая намного больше северной, что позволяет разместить на ней солнечные коллектора и батареи (Рисунок 31).

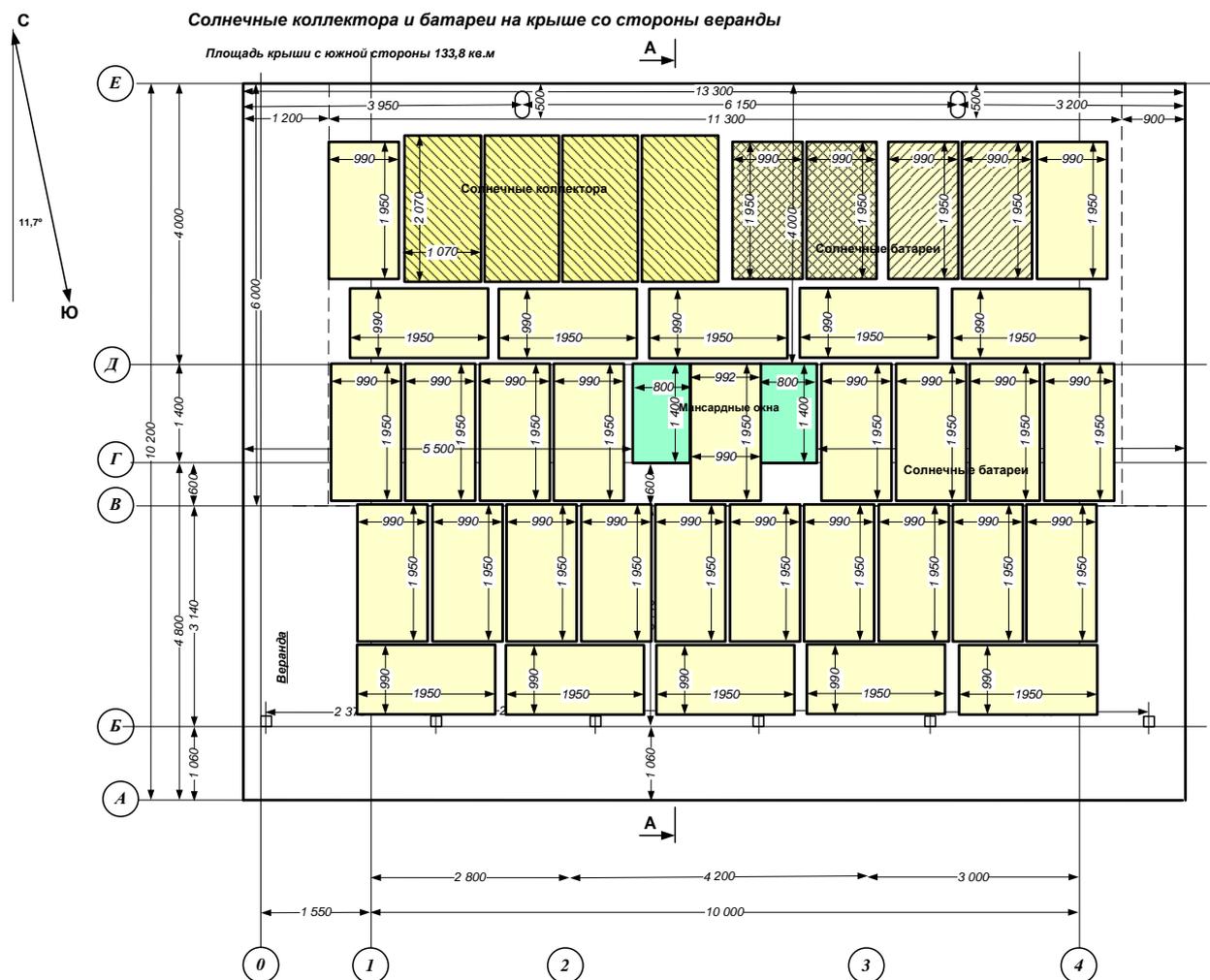


Рисунок 31. Чертёж крыши с планируемым расположением солнечных панелей

Все системы дома работают на электричестве, поэтому одним из основных мероприятий по сокращению потребления домом является установка солнечных батарей с целью покрытия нагрузок дома.

27 декабря 2019 года был принят Федеральный Закон о внесении изменений в федеральный закон «об электроэнергетике» в части развития микрогенерации.

В соответствии с ФЗ №35 "Об электроэнергетике" любой гражданин Российской Федерации или юридическое лицо, установивший солнечную электростанцию мощностью не превышающую 15 кВт, сможет отдавать излишки произведенной и не потреблённой электроэнергии в сеть, при этом сбытовая организация обязана будет купить данную электроэнергию.

Под объектом микрогенерации предлагается [11] понимать принадлежащий на праве собственности или другом законном основании потребителю электроэнергии объект по производству электроэнергии, функционирующий, в том числе на основании использования возобновляемых источников энергии, установленная генерирующая мощность которого не превышает величину максимальной мощности энергопринимающих устройств такого потребителя и составляет не более 15 кВт включительно.

В связи с вступлением этого закона в силу и возможности генерации электроэнергии и только для своих нужд был произведен расчет сетевой [Приложение А] и гибридной [Приложение Б] солнечной электростанции. Данные расчеты проводились в программе PV\*SOL. По итогам расчета были получены следующие данные:

Таблица 8. Основные результаты расчета

Параметр	Гибридная электростанция	Сетевая электростанция
Потребление нагрузкой всего, кВт·ч	10 800,0	
Потребление из сети, кВт·ч	3 346,0	5 744,5
Потребление от солнца, кВт·ч	7 454,0	5 055,5
Экспорт электроэнергии, кВт·ч	12 551,2	16 175,9
% замещения потребляемой из сети ЭЭ	68,2%	46,4%
Доля потребления выработанной энергии	37,3%	23,8%
Годовая производительность, кВт·ч/кВт	1 157,7	1 228,7
Суммарная стоимость оборудования, руб.	900 024,5	626 320,0
Замещение сетевого потребления, %	68,2%	46,4%
Срок окупаемости, лет	14,3	14,6

Гибридная электростанция оказалась выгоднее, чем сетевая. Это обусловлено высоким процентом замещения сетевого потребления. А также тем, что в ночное время будет использоваться энергия, запасенная в аккумуляторах.

При использовании сетевой электростанции, генерация электроэнергии от солнечных батарей в дневное время будет направлена на собственное потребление домом, в случае избытка вся сгенерированная солнечная энергия будет направлена на продажу в централизованную сеть, при этом энергосбытовая компания будет обязана купить излишки электроэнергии.

Чтобы начать продажу электроэнергии нам необходимо приобрести и установить дополнительные солнечные батареи, обратиться в энергосетевую компанию для оформления технических условий и установить двухсторонний смарт-счётчик, который будет считать отпущенную электроэнергию в сеть, а далее обратиться в энергосбытовую компанию для заключения договора на покупку электроэнергии.

### 4.3 Тепловой насос

Для исследования вопроса, какой тепловой насос более эффективен – грунтовый или воздушный, было решено приобрести в дополнение к грунтовому ещё один воздушный тепловой насос. Перед нами стоит выбор между компаниями Viessmann (Германия) и Chofu (Япония).

Требуется в период ночного тарифа выработать тепловым насосом типа «Воздух-Вода» тепловую мощность не менее 50 кВт\*ч. Расчетная отопительная нагрузка энергоэффективного дома 3,5 кВт при температуре наружного воздуха - 25 °С. В доме уже установлен тепловой насос BUDERUS Logatherm WPS 11, тепловая мощность которого составляет 10 кВт, у него установлено два грунтовых зонда по 60 м. глубиной, и он может работать только 50% ночного времени, чтобы не заморозить грунт. При расчете минимальной допустимой мощности воздушного теплового насоса при температуре уличного воздуха -7°С, мы получили необходимую тепловую мощность насоса, которая необходима нашей системе: 50 кВт\*ч / 8 ч. = 6,25 кВт\*ч.

Таким образом нашей системе нужен тепловой насос мощностью до 6 кВт, который мог бы работать в ночное время в некоторых режимах:

- Воздушный тепловой насос в диапазоне уличных температур  $0 \pm 8^{\circ}\text{C}$ ;
- Вместе с грунтовым тепловым насосом в диапазоне уличных температур -20 - 0°С;
- Только грунтовый тепловой насос при уличной температуре ниже -20°С.

Так же предусмотрена возможность охлаждения системы летом, с номинальной мощностью 3 кВт. Тепловой насос будет работать в ночное время и охлаждать воду в буферной ёмкости, которая будет использоваться для охлаждения потолка и системы вентиляции в течение дня.

На данный момент рассматриваются две фирмы воздушных тепловых насосов Viessmann (Германия) и Chofu (Япония). Компания Chofu (Япония) предлагает

тепловой насос марки Chofu AEYC7134SVFU с характеристиками 7.1/10.0 кВт при температуре источника 35/8°C и температуре подачи 18/35°C.

Компания Viessmann предлагает тепловой насос марки Vitocal 100-S 101.B06, тепловая мощность которого в режиме нагрева составляет 6 кВт, а в режиме охлаждения 4,1 кВт, с возможностью регулирования мощности для рассматриваемого дома в режиме охлаждения от 2.6 до 6.4 кВт, то есть имеется возможность выставить необходимые из расчёта 3 кВт и экономить на электроэнергии и снизить нагрузку системы. Так же в данной модели 101.B06 используется новый хладагент R32, который отличается низким парниковым потенциалом, таким образом способствует экологичности нового поколения тепловых насосов. Плюсом теплового насоса Vitocal 100-S 101.B06 является то, что у него есть встроенный подогреватель поддона наружного блока, который предотвращает замерзание конденсата в зимний период, поэтому систему можно эксплуатировать при отрицательных температурах до -20 °C. Еще одной особенностью теплового насоса является возможность его комплектации дополнительным модулем Active Cooling, благодаря которому агрегат может выполнять функцию системы охлаждения в теплое время года при температуре наружного воздуха до +45°C. Это делает Vitocal 100-S еще более выгодным для пользователя, поскольку экономит затраты на приобретение кондиционера. Так как энергоэффективный дом находится в Московской области, и наибольшая средняя температура воздуха равна 25°C, и воздушный тепловой насос будет работать, только в ночное время суток 8 часов, то выбирать среди различных моделей стоит по минимальному потреблению энергии, поэтому системе подходит данный воздушный тепловой марки Vitocal 100-S 101.B06 от Немецкой компании Viessmann, который по сравнению с Японским Chofu имеет преимущество по потреблению энергии в режиме охлаждения с регулированием мощности в 3 кВт, который необходим нам по нашему расчёту, а так же используется хладагент нового поколения R32, который намного экологичнее R410A, используемого тепловыми насосами компании Chofu.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе реализован системный подход к строительству и эксплуатации энергоэффективного дома с разработанной системой управления и мониторинга, которая позволяет исследовать и внедрять новейшие технологии, достигая и фиксируя энергосберегающий эффект от их реализации в течение жизненного цикла здания.

В результате работы с системами мониторинга и управления энергоэффективного дома были разработаны алгоритмы и схемы по оптимизации работы этих систем. Представлены ключевые методы исправления различных ошибок при работе систем мониторинга и измерительного оборудования. Предложена и реализована концепция обработки данных из нескольких систем.

Были получены, сохранены и обработаны данные из всех систем в течении длительного времени, что само по себе является уникальным проектом. При анализе этих данных было найдено время равное 12 часам, которое дом способен аккумулировать благодаря тепловой изоляции. По результатам многолетнего мониторинга было обнаружено, что по сравнению с позапрошлым отопительным периодом на 30% сократилось потребление энергии ТН и на 14% по сравнению с прошлым годом, что свидетельствует о положительной тенденции. Была рассчитана годовая нагрузка на систему отопления, 6815кВт·ч/год. При сравнении этого параметра с результатами моделирования в системах ВЕМ расхождения составили в среднем 5,46%, а расхождение с РНПП 1.4%.

Сформулирован дальнейший план развития объекта, стала очевидна необходимость в разработке системы прогнозирования наружной температуры для задания режима оптимального теплоснабжения в энергоэффективном доме. Предложены планы по сокращению потребления электроэнергии путем установки солнечных панелей. Для более обширной исследовательской деятельности рассмотрен вариант установки воздушного теплового насоса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М.: ООО «KONTIPRINT», 2015. 144 с.
2. Развитие теоретических и практических основ концепции пассивного дома, А.О. Пилипенко, журнал «Архитектура и строительство» 1/2014.
3. Hill B. Passive house development in Russia // III World Summit SmartEnergy Russia. 26-27 March 2019, Moscow. 95 p.
4. Кругликов Д.А. Современный комплексный подход к проектированию, строительству и эксплуатации энергоэффективных домов на основе BIM-, BEM- и CFD- технологий. Магистерская диссертация, МЭИ, 2019. 124 с
5. Калякин И.Д. Разработка системы энергоснабжения жилого дома с околонулевым энергопотреблением. Выпускная работа бакалавра, МЭИ, 2016. 43 с.
6. Sultanguzin I., Toepfer H., Kalyakin I., Govorin A., Zhigulina E., Kurzanov S., Yavorovsky Yu. Mathematical modeling and control system of nearly zero energy building // Informatyka, Automatyka, Pomiaru w Gospodarce i Ochronie Środowiska. 2018. No.2. P. 21 – 24.
7. Абдуллин В.В., Шнайдер Д.А., Курзанов С.Ю., Яворовский Ю.В. Использование технологии «интернета вещей» в отоплении зданий: упреждающее управление, распределенный мониторинг, интеллектуальная балансировка // С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2018. №8. С. 54 – 58.
8. Ю.В. Яворовский, И.А. Султангузин, Д.А. Кругликов, И.Д. Калякин, Т.В. Яцюк Сравнение результатов энергетического моделирования жилого дома с помощью разных программных средств // Вестник МЭИ. 2020. № 3. С. 31-39.

9. Яцюк Т.В., Султангузин И.А., Кругликов Д.А. Цифровизация энергоэффективных зданий // XVIII Международный конгресс «Энергоэффективность. XXI век. Архитектура. Инженерия. Цифровизация. Экология». Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР», 10 марта 2020 г.
10. Bacher P., Madsen H., Aalborg Nielsen H., Perers B. Short-term heat load forecasting for single family houses. // Energy and Buildings. Vol. 65, October 2013, P. 101-112.
11. Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации» (проект № 581324-7)

## Приложение А



## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Сетевая электростанция

Предварительный расчет

**Установленная мощность СМ 17,3 кВт**

**Установленная мощность преобразовательной части 15 кВт**

Москва  
7 мая 2020 г.

ver.1.1.5

## Отчет

<b>Заказчик</b>	
Имя	
Фамилия	
Компания	

<b>Состав системы</b>		
№	Наименование	Количество
1	Grid 15K	1
2	BST 360-24 M	48
3	DLS-W	1
4	Export Power Management	1

№	Месяц	В день, кВт·ч	В месяц, кВт·ч	В том числе от солнца	
1	Январь	29,0	900,0	266	29,5%
2	Февраль	32,1	900,0	334	37,1%
3	Март	29,0	900,0	410	45,5%
4	Апрель	30,0	900,0	487	54,1%
5	Май	29,0	900,0	558	62,0%
6	Июнь	30,0	900,0	599	66,5%
7	Июль	29,0	900,0	575	63,9%
8	Август	29,0	900,0	520	57,8%
9	Сентябрь	30,0	900,0	445	49,4%
10	Октябрь	29,0	900,0	355	39,4%
11	Ноябрь	30,0	900,0	264	29,3%
12	Декабрь	29,0	900,0	243	27,0%
	<b>Всего</b>		<b>10 800,0</b>	<b>5 055</b>	<b>46,8%</b>

Усредненное распределение источников питания



Установленная мощность  
Солнечные модули 17,3 кВт  
Инвертор 15 кВт  
Экспозиция СМ  
Азимут 180°  
Угол наклона 31°

Генерация  
Система генерирует 21 231 кВт·ч в год  
Потребление выработанной энергии 5 055 кВт·ч (24%)  
Замещение сетевой электроэнергии  
Замещение потребления за 25 лет 46,4%  
Экономия на оплате за 25 лет 46,3%

### Экономические показатели

Стоимость СЭС: 626 320 руб.

Простой срок окупаемости 14,6 лет (года). NPV: 806 642 руб

Средняя стоимость ЭЭ на объекте за 25 лет эксплуатации: 8,47 руб/кВт·ч

Средняя стоимость ЭЭ от сети за 25 лет: 11,5 руб/кВт·ч

Стоимость ЭЭ, вырабатываемая солнечной электростанцией: 5 руб/кВт·ч

## Цель документа

Документ отражает технические и экономические параметры фотоэлектрической системы. В документе будут отражены наименования используемого оборудования, будут предоставлены данные проекта, характеристики используемых комплектующих (фотоэлектрических модулей, инверторов), критерии выбора системных решений и критерии проектирования основных компонентов. Кроме того, будут предоставлены предварительные расчеты, необходимые для определения размеров системы.

Место установки	
Город	Москва
Адрес	
Широта	55,75 с.ш.
Долгота	37,62 в.д.
Минимальная температура	-35°C
Максимальная температура	31°C
Сумм. радиация на гор. Плоскость, кВт·ч/м <sup>2</sup>	2,74
Альбедо	0,35

### 1.2 Описание фотоэлектрической системы

Фотоэлектрическая система с номинальной мощностью 17,3 кВт будет подключена к трёхфазной электрической распределительной сети переменного тока 400В.

Состав:

Группа преобразователей состоит из 1 инвертора.

48 модулей подключено в 4 параллели(ей):

- 1 инвертор (2 МРРТ), к которому подключено: МРРТ1: 2 параллели по 12 модуля(ей); МРРТ2: 2 параллели по 12 модуля(ей);

#### 1.2.1 Фотоэлектрический генератор

Будет состоять из:

- Фотоэлектрические модули
- Набор электрических кабелей PV1-F
- Набор коннекторов
- Набор крепежных элементов

В случае рассматриваемой установки фотоэлектрический генератор имеет идентичную экспозицию (угол наклона и угол азимута), а именно:

Азимут 180°  
Угол наклона 31°

Во избежание электрических потерь из-за несоответствия, фотоэлектрические поля будут подключаться к независимым входам (независимые МРРТ).

#### Характеристики солнечных модулей:

Электрические параметры цепи	
Количество солнечных модулей	48
Производитель	Delta
Модель	BST 360-24 M
Технология	Монокристалл
Номинальная мощность, Вт	360
Толеранс	0~+3%
Напряжение холостого хода ( $U_{xx}$ ), В	47,9
Напряжение в точке максимальной мощности ( $U_{mpp}$ ), В	38,9
Ток короткого замыкания (кз), А	9,75
Ток в точке максимальной мощности ( $I_{mpp}$ ), А	9,25
Площадь, м <sup>2</sup>	1,93
КПД	18,7%

#### 1.2.2 Группа преобразователей DC/AC

Группа преобразования фотоэлектрической системы будет состоять из 1 инвертор с полной выходной мощностью 15 кВт, подключение в трёхфазную систему.

**Основные технические характеристики инвертора приведены ниже.**

Технические параметры инвертора	
Количество инверторов	1
Производитель	SmartWatt
Модель	Grid 15K
Номинальная мощность, Вт	15 000
Максимальная мощность, Вт	16 500
КПД, %	98,7
Макс. напряжение на солнечных модулях, В	1 000
Мин. напряжение МРРТ, В	160
Макс. напряжение МРРТ, В	850
Макс. входной ток DC, А	34,3
Кол-во МРРТ, шт.	2
Выходное напряжение AC, В	400
Сеть	3 фазы
Частота, Гц	50

#### Группа накопителей энергии

Не используется

Параметры аккумуляторов	
Производитель	
Серия	
Модель	
Номинальное напряжение, В	
Номинальная емкость, Ач	
Кол-во АКБ, шт	
Параметры накопительной системы	
Напряжение, В	0
Номинальная емкость, Ач	0
Глубина разряда, %	

## 2. Предварительные расчеты

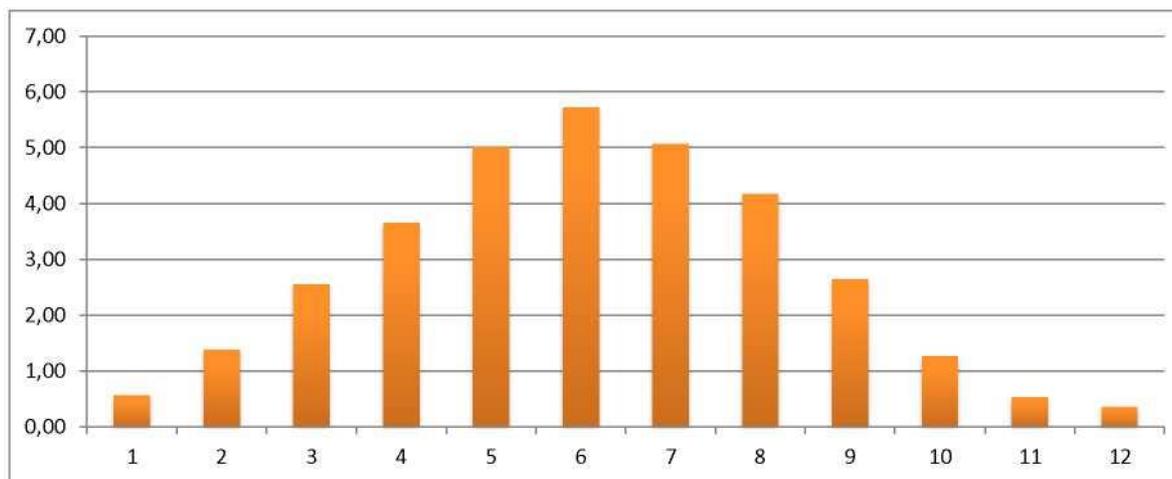
### 2.1 Производительность

В таблице ниже приведены основные данные места установки электростанции.

Место установки	
Город	Москва
Широта	55,75 с.ш.
Долгота	37,62 в.д.
Минимальная температура	-35°C
Максимальная температура	31°C

В данном местоположении имеем следующие данные по суточному приходу солнечной радиации на горизонтальную поверхность, данные взяты с NASA-SSE.

Месяц	Суммарная суточная радиация, [кВт·ч/м <sup>2</sup> /день]
Январь	0,56
Февраль	1,38
Март	2,55
Апрель	3,65
Май	5,01
Июнь	5,72
Июль	5,07
Август	4,17
Сентябрь	2,64
Октябрь	1,26
Ноябрь	0,52
Декабрь	0,36
<b>Год</b>	<b>2,74</b>

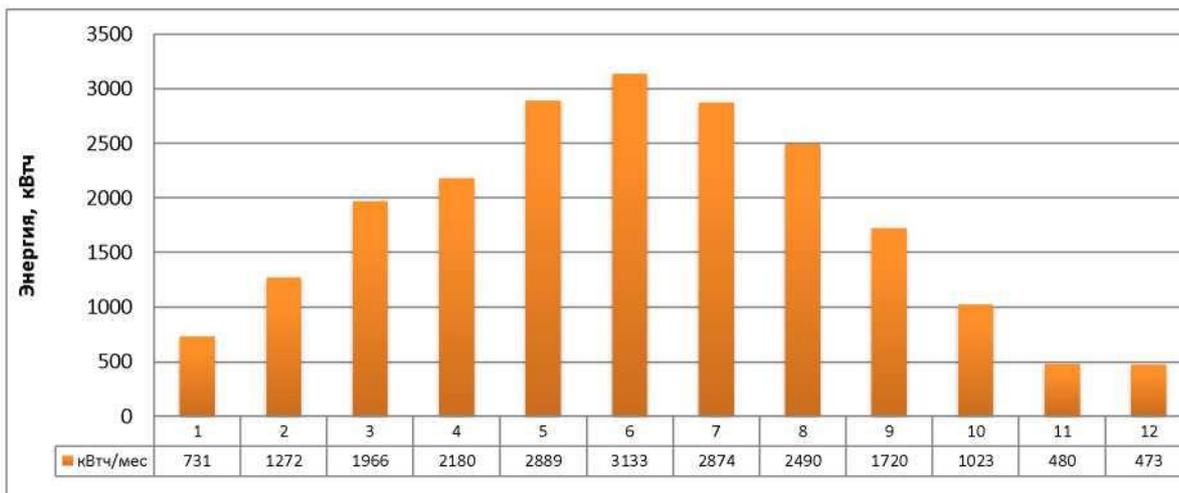


Учитывая параметры фотоэлектрического генератора и угла наклона можно рассчитать итоговую генерацию ЭЭ. (Без учета снежного покрова)



Выбранный угол наклона: **31°**  
Оптимальность угла: **97,9%**

Годовая производительность СЭС:



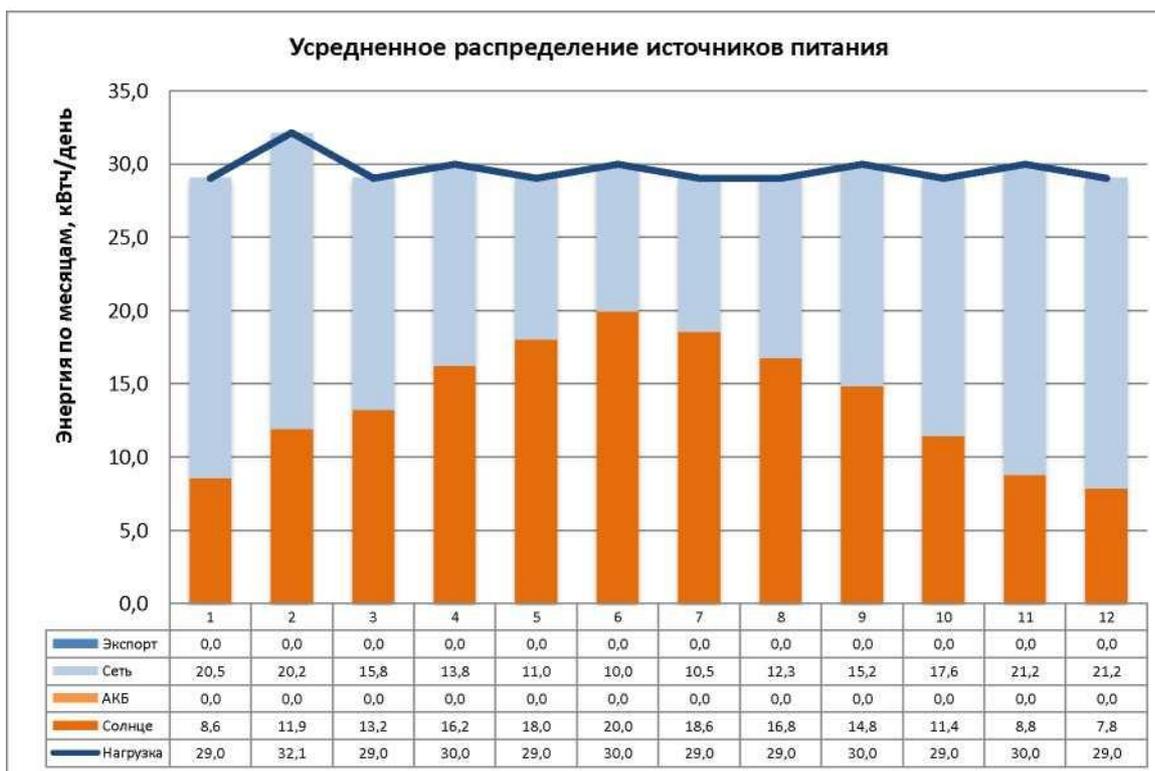
Данные по году, кВтч:

Потребление нагрузкой всего	10 800,0
Потребление из сети	5 744,5
Потребление от солнца	5 055,5
Экспорт электроэнергии	16 175,9
% замещения потребляемой из сети ЭЭ	46,4%
Доля потребления выработанной энергии	23,8%
Годовая производительность, кВтч/кВт	1 228,7

Сокращение выбросов CO2  
 За первый год 10 615,7 кг  
 За 25 лет 245 703,9 кг

2.2 Энергобаланс

Энергобаланс системы на первый год эксплуатации приведен на графике ниже:



### 3. Экономические показатели

Ориентировочная стоимость системы приведена ниже:

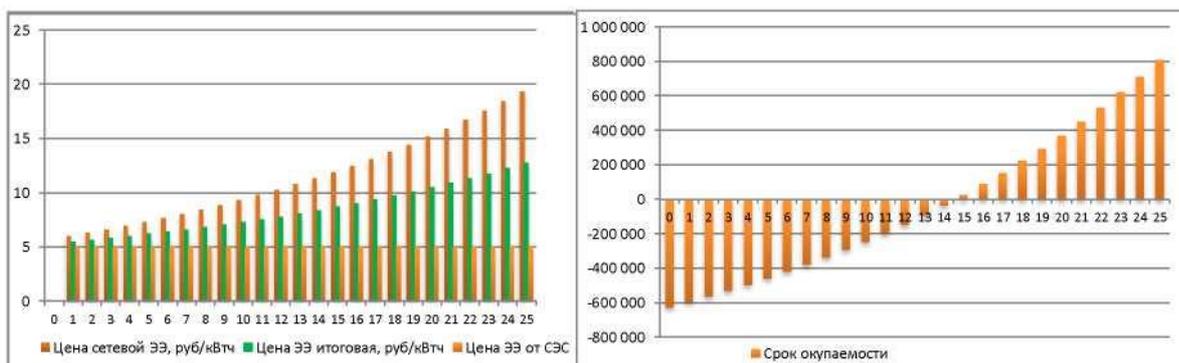
Стоимость системы	
Суммарная стоимость оборудования, руб	626 320,0
Специальная стоимость, руб/кВт	41 754,7
Расчетная цена работ, руб/Вт	0
Расчетная стоимость работ, руб	0
Расчетная цена крепежа, руб/Вт	0
Расчетная стоимость крепежа, руб	0
Итого, руб	626 320,0

Данные, необходимые для анализа потребления энергии, определены ниже:

Потребление	
Среднее потребление в год, кВт·ч	10 800
Потребление выработанной энергии, %	23,8%
Замещение сетевого потребления, %	46,4%
Ежегодное увеличение потребления, %/год	0

Экономические данные	
Стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч	6
Ежегодное удорожание электроэнергии, %/год	5
Стоимость экспортируемой ЭЭ, руб/кВт·ч	1
Увеличение экспортного тарифа, %/год	0

Количество лет, необходимое для возврата первоначальных инвестиций через положительный годовой денежный поток: 14,6 лет(года). Положительный эффект от вложений (NPV) составляет: 806 642 руб. Средняя стоимость ЭЭ, выработанной СЭС за 25 лет эксплуатации, составит 8,47 руб/кВт·ч.



Год	Генерация, кВт·ч	Потребление ЭЭ, кВт·ч	Потребление выработанной ЭЭ, кВт·ч	ЭЭ из сети, кВт·ч	Тариф на сетевую ЭЭ, руб/кВт·ч	Оплата сетевой ЭЭ, руб	Излишек генерации, кВт·ч	Тариф на экспорт ЭЭ, руб/кВт·ч	Доход от продажи ЭЭ, руб	Экономия на чек, руб	Денежный поток, руб	Накопленный денежный поток, руб
0						64 800,0						626 320
1	21 231,3	10 800,0	5 055,5	5 744,5	6,0	34 467,2	16 175,9	1,00	0,0	30 332,8	30 332,8	-595 987,2
2	20 806,7	10 800,0	5 044,4	5 755,6	6,3	36 260,6	15 762,4	1,00	0,0	31 779,4	31 779,4	-564 207,8
3	20 904,7	10 800,0	5 046,9	5 753,1	6,6	38 056,6	15 357,8	1,00	0,0	33 385,4	33 385,4	-530 822,5
4	20 780,4	10 800,0	5 043,7	5 756,3	6,9	39 982,1	14 953,8	1,00	0,0	35 032,0	35 032,0	-495 790,4
5	20 656,2	10 800,0	5 040,4	5 759,6	7,3	42 004,9	14 551,8	1,00	0,0	36 759,9	36 759,9	-459 030,5
6	20 531,9	10 800,0	5 037,2	5 762,8	7,7	44 130,0	14 151,8	1,00	0,0	38 573,0	38 573,0	-420 457,5
7	20 407,7	10 800,0	5 033,9	5 766,1	8,0	46 362,7	13 753,7	1,00	0,0	40 475,5	40 475,5	-379 981,9
8	20 283,4	10 800,0	5 030,7	5 769,3	8,4	48 708,2	13 357,7	1,00	0,0	42 471,9	42 471,9	-337 510,0
9	20 159,1	10 800,0	5 027,4	5 772,6	8,9	51 172,5	12 963,7	1,00	0,0	44 566,6	44 566,6	-292 943,4
10	20 034,9	10 800,0	5 024,2	5 775,8	9,3	53 761,3	12 571,7	1,00	0,0	46 764,7	46 764,7	-246 178,7
11	19 910,6	10 800,0	5 020,9	5 779,1	9,8	56 481,2	12 181,7	1,00	0,0	49 071,2	49 071,2	-197 107,5
12	19 786,3	10 800,0	5 017,7	5 782,3	10,3	59 338,6	11 793,7	1,00	0,0	51 491,4	51 491,4	-145 616,1
13	19 662,1	10 800,0	5 014,2	5 785,8	10,8	62 343,1	11 407,9	1,00	0,0	54 028,4	54 028,4	-91 287,7
14	19 537,8	10 800,0	5 010,5	5 789,5	11,3	65 502,4	11 024,4	1,00	0,0	56 687,7	56 687,7	-34 900,0
15	19 413,6	10 800,0	5 006,7	5 793,3	11,9	68 821,7	10 642,8	1,00	0,0	59 477,9	59 477,9	24 577,9
16	19 289,3	10 800,0	5 003,0	5 797,0	12,5	72 309,2	10 263,3	1,00	0,0	62 405,3	62 405,3	86 983,2
17	19 165,0	10 800,0	4 999,3	5 800,7	13,1	75 973,5	9 885,7	1,00	0,0	65 476,8	65 476,8	152 460,0
18	19 040,8	10 800,0	4 995,6	5 804,4	13,8	79 823,3	9 510,1	1,00	0,0	68 699,4	68 699,4	221 159,4
19	18 916,5	10 800,0	4 991,8	5 808,2	14,4	83 868,3	9 136,4	1,00	0,0	72 080,6	72 080,6	293 240,1
20	18 792,2	10 800,0	4 988,1	5 811,9	15,2	88 118,1	8 764,1	1,00	0,0	75 628,2	75 628,2	368 868,3
21	18 668,0	10 800,0	4 984,4	5 815,6	15,9	92 583,3	8 393,6	1,00	0,0	79 350,4	79 350,4	448 218,7
22	18 543,7	10 800,0	4 980,7	5 819,3	16,7	97 274,7	8 025,1	1,00	0,0	83 255,6	83 255,6	531 474,3
23	18 419,5	10 800,0	4 976,9	5 823,1	17,6	102 203,8	7 659,6	1,00	0,0	87 353,1	87 353,1	618 827,4
24	18 295,2	10 800,0	4 973,2	5 826,8	18,4	107 382,6	7 297,1	1,00	0,0	91 652,1	91 652,1	710 479,4
25	18 170,9	10 800,0	4 969,5	5 830,5	19,4	112 823,8	6 937,4	1,00	0,0	96 162,6	96 162,6	806 642,1

#### 4. Спецификация

№	Товары (работы, услуги)	Кол-во		Цена	НДС	Сумма НДС	Сумма
1	Сетевой инвертор SmartWatt Grid 15K 3P 2 МРРТ	1	шт	121 300,00	20%	20 216,67	121 300,00
2	Фотоэлектрический солнечный модуль (ФСМ) Delta BST 360-24 М	48	шт	9 990,00	20%	79 920,00	479 520,00
3	DLS-W	1	шт	2 850,00	20%	475,00	2 850,00
4	Export Power Management	1	шт	22 650,00	20%	3 775,00	22 650,00
						-	-
						-	-
	Дополнительно:					-	-
						-	-
						-	-
						-	-

Всего наименований 4, на сумму 626 320 руб 00 коп.

Итого: 626 320,00

Шестьсот двадцать шесть тысяч триста двадцать рублей 00 копеек

В т.ч. НДС (20%): 104 386,67

Итого с НДС: 626 320,00

## Приложение Б



## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Гибридная электростанция

Предварительный расчет

**Установленная мощность СМ 17,3 кВт**

**Установленная мощность преобразовательной части 15 кВт**

Москва  
7 мая 2020 г.

ver.1.1.5

## Отчет

Заказчик	
Имя	
Фамилия	
Компания	

Состав системы		
№	Наименование	Количество
1	Hybrid 5K	3
2	BST 360-24 M	48
3	3G Card	1
4	GEL 12-200	8

Потребление электроэнергии на объекте					
№	Месяц	В день, кВт·ч	В месяц, кВт·ч	В том числе от солнца	
1	Январь	29,0	900,0	479	53,2%
2	Февраль	32,1	900,0	527	58,6%
3	Март	29,0	900,0	623	69,3%
4	Апрель	30,0	900,0	694	77,1%
5	Май	29,0	900,0	772	85,8%
6	Июнь	30,0	900,0	803	89,3%
7	Июль	29,0	900,0	788	87,5%
8	Август	29,0	900,0	732	81,3%
9	Сентябрь	30,0	900,0	649	72,2%
10	Октябрь	29,0	900,0	567	63,0%
11	Ноябрь	30,0	900,0	414	46,0%
12	Декабрь	29,0	900,0	405	45,0%
	<b>Всего</b>		<b>10 800,0</b>	<b>7 454</b>	<b>69,0%</b>

Усредненное распределение источников питания



Установленная мощность  
Солнечные модули 17,3 кВт  
Инверторы 15 кВт

Экспозиция СМ  
Азимут 180°  
Угол наклона 31 °

Экономические показатели  
Стоимость СЭС: 900 024 руб.

Простой срок окупаемости 14,3 лет (года). NPV: 1 203 795 руб  
Средняя стоимость ЭЭ на объекте за 25 лет эксплуатации: 7 руб/кВт·ч  
Средняя стоимость ЭЭ от сети за 25 лет: 11,5 руб/кВт·ч  
Стоимость ЭЭ, вырабатываемая солнечной электростанцией: 4,9 руб/кВт·ч

Генерация  
Система генерирует 20 005 кВт·ч в год  
Потребление выработанной энергии 7 454 кВт·ч (37%)

Замещение сетевой электроэнергии  
Замещение потребления за 25 лет 68,2%  
Экономия на оплате за 25 лет 68%

## Цель документа

Документ отражает технические и экономические параметры фотоэлектрической системы. В документе будут отражены наименования используемого оборудования, будут предоставлены данные проекта, характеристики используемых комплектующих (фотоэлектрических модулей, инверторов), критерии выбора системных решений и критерии проектирования основных компонентов. Кроме того, будут предоставлены предварительные расчеты, необходимые для определения размеров системы.

### 1. Технический отчет

#### 1.1 Данные проекта

Место установки	
Город	Москва
Адрес	
Широта	55,75 с.ш.
Долгота	37,62 в.д.
Минимальная температура	-35°C
Максимальная температура	31°C
Сумм.радиация на гор. плоскость, кВт·ч/м2	2,74
Альбедо	0,35

#### 1.2 Описание фотоэлектрической системы

Фотоэлектрическая система с номинальной мощностью 17,3 кВт будет подключена к трёхфазной электрической распределительной сети переменного тока 400В.

##### Состав:

Группа преобразователей состоит из 3 инверторов.

48 модулей подключено в 24 параллели(ей):

3 инвертора (по 2 МРРТ), к каждому подключено: МРРТ1: 4 параллели по 2 модуля(ей); МРРТ2: 4 параллели по 2 модуля(ей);

##### 1.2.1 Фотоэлектрический генератор

Будет состоять из:

- Фотоэлектрические модули
- Набор электрических кабелей PV1-F
- Набор коннекторов
- Набор крепежных элементов

В случае рассматриваемой установки фотоэлектрический генератор имеет идентичную экспозицию (угол наклона и угол азимута), а именно:

Азимут 180°  
Угол наклона 31°

Во избежание электрических потерь из-за несоответствия, фотоэлектрические поля будут подключаться к независимым входам (независимые МРРТ).

### Характеристики солнечных модулей:

Электрические параметры цепи	
Количество солнечных модулей	48
Производитель	Delta
Модель	BST 360-24 M
Технология	Монокристалл
Номинальная мощность, Вт	360
Толеранс	0~+3%
Напряжение холостого хода (U <sub>хх</sub> ), В	47,9
Напряжение в точке максимальной мощности (U <sub>mp</sub> ), В	38,9
Ток короткого замыкания (I <sub>кз</sub> ), А	9,75
Ток в точке максимальной мощности (I <sub>mp</sub> ), А	9,25
Площадь, м <sup>2</sup>	1,93
КПД	18,7%

#### 1.2.2 Группа преобразователей DC/AC

Группа преобразования фотоэлектрической системы будет состоять из 3 инвертора с полной выходной мощностью 15 кВт, подключение в трёхфазную систему.

**Основные технические характеристики инвертора приведены ниже.**

Технические параметры инвертора	
Количество инверторов	3
Производитель	SmartWatt
Модель	Hybrid 5K
Номинальная мощность, Вт	5 000
Максимальная мощность, Вт	5 000
КПД, %	93
Макс. напряжение на солнечных модулях, В	145
Мин. напряжение МРРТ, В	60
Макс. напряжение МРРТ, В	115
Макс. входной ток DC, А	
Кол-во МРРТ, шт	2
Выходное напряжение AC, В	230
Сеть	3 фазы
Частота, Гц	50

#### 1.2.3 Группа накопителей энергии

Группа накопителей энергии будет состоять из 8 аккумуляторов с полной энергоёмкостью 17 396 Вт·ч. Учитывая расчетную глубину разряда в 40%, извлекаемая емкость составит 6 958 Вт·ч

Параметры аккумуляторов	
Производитель	Delta
Серия	GEL
Модель	GEL 12-200
Номинальное напряжение, В	12
Номинальная емкость, Ач	200
Кол-во АКБ, шт	8
Параметры накопительной системы	
Напряжение, В	48
Номинальная емкость, Ач	400
Глубина разряда, %	40

## 2. Предварительные расчеты

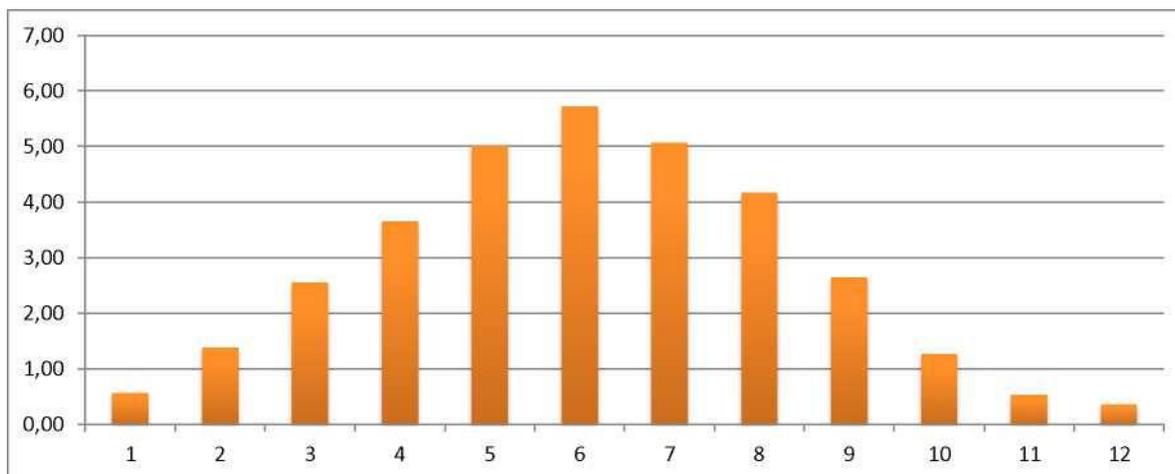
### 2.1 Производительность

В таблице ниже приведены основные данные места установки электростанции.

Место установки	
Город	Москва
Широта	55,75 с.ш.
Долгота	37,62 в.д.
Минимальная температура	-35°C
Максимальная температура	31°C

В данном местоположении имеем следующие данные по суточному приходу солнечной радиации на горизонтальную поверхность, данные взяты с NASA-SSE.

Месяц	Суммарная суточная радиация, [кВт·ч/м <sup>2</sup> /день]
Январь	0,56
Февраль	1,38
Март	2,55
Апрель	3,65
Май	5,01
Июнь	5,72
Июль	5,07
Август	4,17
Сентябрь	2,64
Октябрь	1,26
Ноябрь	0,52
Декабрь	0,36
<b>Год</b>	<b>2,74</b>

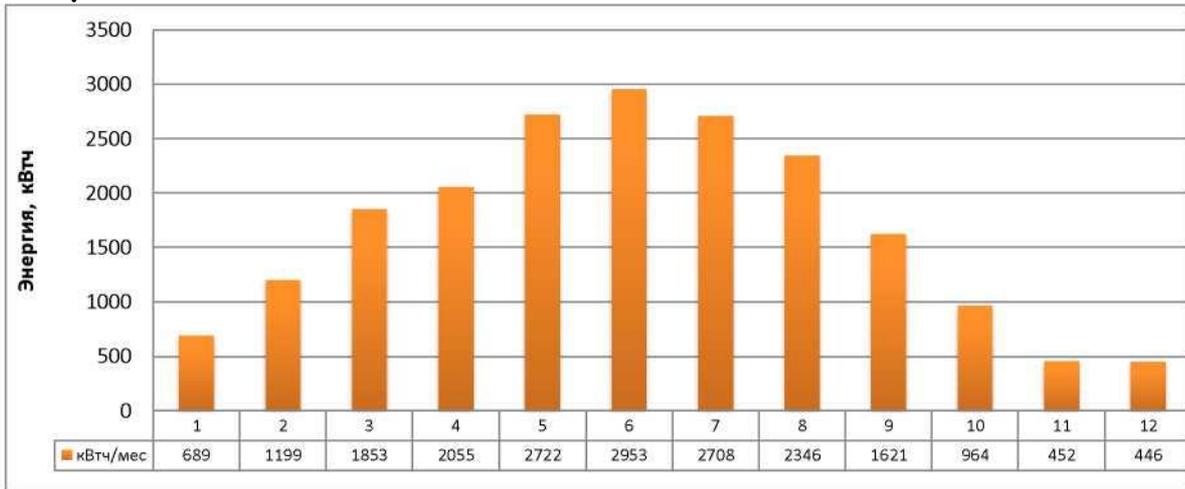


Учитывая параметры фотоэлектрического генератора и угла наклона можно рассчитать итоговую генерацию ЭЭ. (Без учета снежного покрова)



Выбранный угол наклона: **31°**  
Оптимальность угла: **97,9%**

## Годовая производительность СЭС



### Данные по году, кВт·ч:

Потребление нагрузкой всего	<b>10 800,0</b>
Потребление из сети	3 346,0
Потребление от солнца	7 454,0
Экспорт электроэнергии	12 551,2
% замещения потребляемой из сети ЭЭ	68,2%
Доля потребления выработанной энергии	37,3%
Годовая производительность, кВт·ч/кВт	1 157,7

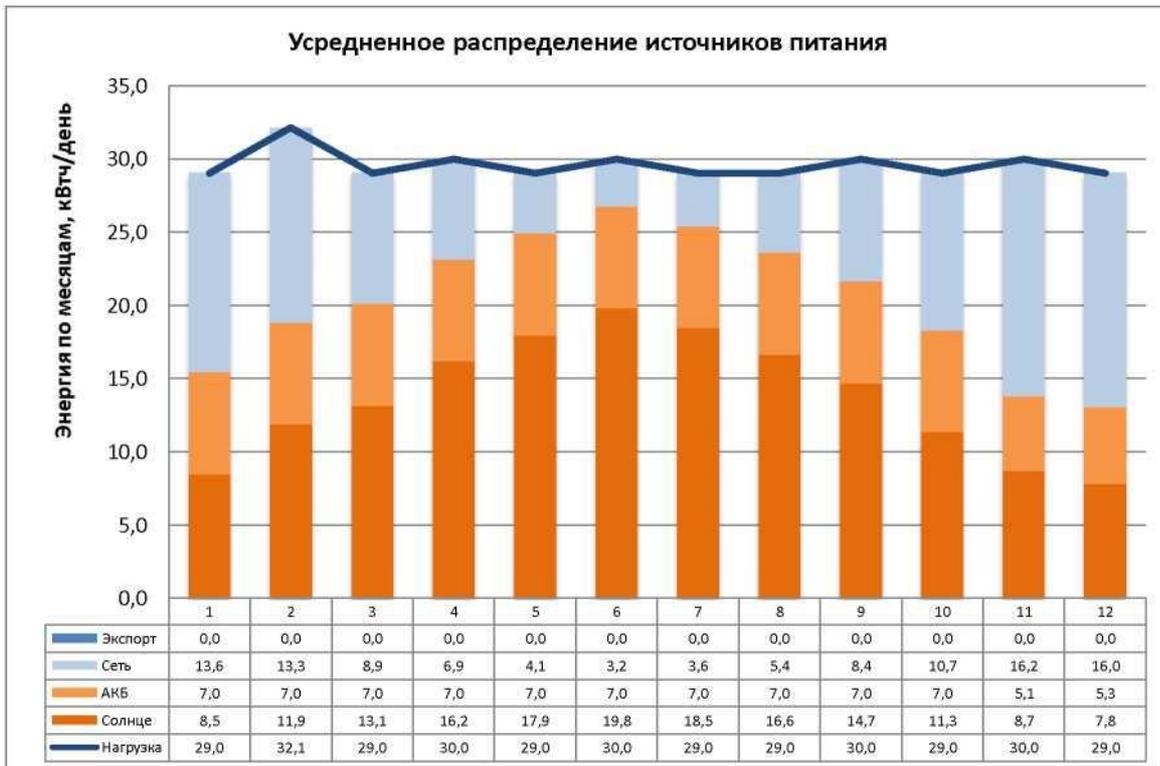
### Сокращение выбросов CO2

За первый год 10 002,6 кг

За 25 лет 231 514,3 кг

## 2.2 Энергобаланс

Энергобаланс системы на первый год эксплуатации приведен на графике ниже:



### 3. Экономические показатели

Ориентировочная стоимость системы приведена ниже:

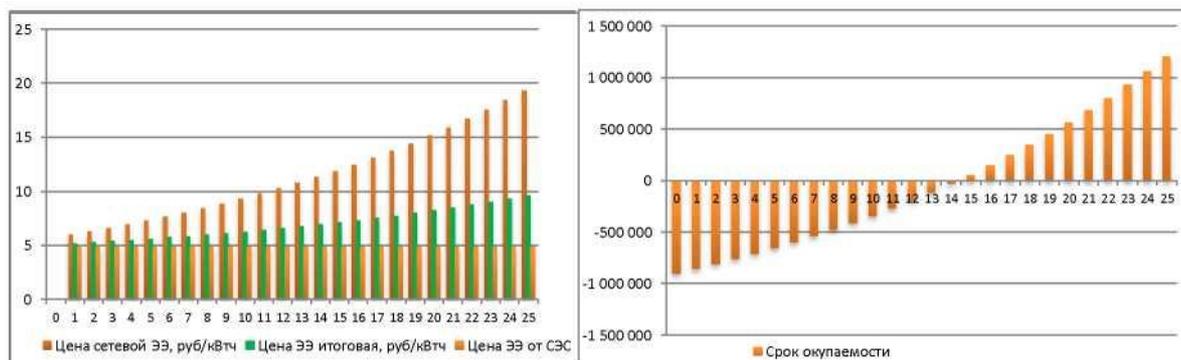
Стоимость системы	
Суммарная стоимость оборудования, руб	900 024,5
Специальная стоимость, руб/кВт	60 001,6
Расчетная цена работ, руб/Вт	0
Расчетная стоимость работ, руб	0
Расчетная цена крепежа, руб/Вт	0
Расчетная стоимость крепежа, руб	0
Итого, руб	900 024,5

Данные, необходимые для анализа потребления энергии, определены ниже:

Потребление	
Среднее потребление в год, кВт·ч	10 800
Потребление выработанной энергии, %	37,3%
Замещение сетевого потребления, %	68,2%
Ежегодное увеличение потребления, %/год	0

Экономические данные	
Стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч	6
Ежегодное удорожание электроэнергии, %/год	5
Стоимость экспортируемой ЭЭ, руб/кВт·ч	1
Увеличение экспортного тарифа, %/год	0

Количество лет, необходимое для возврата первоначальных инвестиций через положительный годовой денежный поток: 14,3 лет(года). Положительный эффект от вложений (NPV) составляет: 1 203 795 руб. Средняя стоимость ЭЭ, выработанной СЭС за 25 лет эксплуатации, составит 7 руб/кВт·ч.



Год	Генерация, кВт·ч	Потребление ЭЭ, кВт·ч	Потребление выработанной ЭЭ, кВт·ч	ЭЭ из сети, кВт·ч	Тариф на сетевую ЭЭ, руб/кВт·ч	Плата сетевой ЭЭ, руб	Излишек генерации, кВт·ч	Тариф на экспорт ЭЭ, руб/кВт·ч	Доход от продажи ЭЭ, руб	Экономия на чеке, руб	Денежный поток, руб	Накопленный денежный поток, руб
0						64 800,0						-900 024
1	20 005,2	10 800,0	7 454,0	3 346,0	6,0	20 076,0	12 551,2	1,00	44 724,0	44 724,0		-855 300,4
2	19 605,1	10 800,0	7 429,9	3 370,1	6,3	21 231,4	12 175,2	1,00	46 808,6	46 808,6		-808 491,8
3	19 697,4	10 800,0	7 435,5	3 364,5	6,6	22 255,9	12 261,9	1,00	49 186,1	49 186,1		-759 305,6
4	19 580,4	10 800,0	7 428,4	3 371,6	6,9	23 418,0	12 151,9	1,00	51 596,1	51 596,1		-707 709,6
5	19 463,3	10 800,0	7 421,3	3 378,7	7,3	24 640,7	12 041,9	1,00	54 124,1	54 124,1		-653 585,5
6	19 346,2	10 800,0	7 414,2	3 385,8	7,7	25 927,2	11 932,0	1,00	56 775,9	56 775,9		-596 809,6
7	19 229,1	10 800,0	7 407,1	3 392,9	8,0	27 280,7	11 822,0	1,00	59 557,5	59 557,5		-537 252,1
8	19 112,0	10 800,0	7 400,0	3 400,0	8,4	28 704,7	11 712,0	1,00	62 475,4	62 475,4		-474 776,6
9	18 994,9	10 800,0	7 392,9	3 407,1	8,9	30 202,9	11 602,0	1,00	65 536,2	65 536,2		-409 240,4
10	18 877,8	10 800,0	7 385,8	3 414,2	9,3	31 779,2	11 492,0	1,00	68 746,9	68 746,9		-340 493,5
11	18 760,8	10 800,0	7 378,7	3 421,3	9,8	33 437,6	11 382,0	1,00	72 114,8	72 114,8		-268 378,7
12	18 643,7	10 800,0	7 371,6	3 428,4	10,3	35 182,3	11 272,1	1,00	75 647,6	75 647,6		-192 731,0
13	18 526,6	10 800,0	7 364,5	3 435,5	10,8	37 018,0	11 162,1	1,00	79 353,5	79 353,5		-113 377,6
14	18 409,5	10 800,0	7 357,4	3 442,6	11,3	38 949,3	11 052,1	1,00	83 240,8	83 240,8		-30 136,8
15	18 292,4	10 800,0	7 350,3	3 449,7	11,9	40 981,2	10 942,1	1,00	87 318,4	87 318,4		57 181,6
16	18 175,3	10 800,0	7 343,2	3 456,8	12,5	43 118,9	10 832,1	1,00	91 595,7	91 595,7		148 777,3
17	18 058,2	10 800,0	7 336,1	3 463,9	13,1	45 367,9	10 722,2	1,00	96 082,4	96 082,4		244 859,7
18	17 941,1	10 800,0	7 329,0	3 471,0	13,8	47 734,0	10 612,2	1,00	100 788,8	100 788,8		345 648,5
19	17 824,0	10 800,0	7 321,9	3 478,1	14,4	50 223,2	10 502,2	1,00	105 725,7	105 725,7		451 374,2
20	17 707,0	10 800,0	7 314,8	3 485,2	15,2	52 841,1	10 392,2	1,00	110 904,2	110 904,2		562 278,4
21	17 589,9	10 800,0	7 307,7	3 492,3	15,9	55 593,3	10 282,2	1,00	116 336,3	116 336,3		678 614,8
22	17 472,8	10 800,0	7 300,6	3 499,4	16,7	58 496,0	10 172,2	1,00	122 034,4	122 034,4		800 649,2
23	17 355,7	10 800,0	7 293,4	3 506,6	17,6	61 546,0	10 062,3	1,00	128 010,9	128 010,9		928 660,0
24	17 238,6	10 800,0	7 286,3	3 513,7	18,4	64 755,2	9 952,4	1,00	134 279,5	134 279,5		1 062 939,6
25	17 121,5	10 800,0	7 279,1	3 520,9	19,4	68 131,4	9 842,4	1,00	140 855,1	140 855,1		1 203 794,7

#### 4. Спецификация

№	Товары (работы, услуги)	Кол-во		Цена	НДС	Сумма НДС	Сумма
1	Гибридный инвертор SmartWatt Hybrid 5K 48V 80A MPPT	3	шт	58 100,00	20%	29 050,00	174 300,00
2	Фотоэлектрический солнечный модуль (ФСМ) Delta BST 360-24 M	48	шт	9 990,00	20%	79 920,00	479 520,00
3	3G Card	1	шт	9 300,00	20%	1 550,00	9 300,00
4	GEL 12-200	8	шт	29 613,06	20%	39 484,08	236 904,46
						-	-
						-	-
	Дополнительно:					-	-
						-	-
						-	-
						-	-

Всего наименований 4, на сумму 900 024 руб 46 коп.

Итого: 900 024,46

Девятьсот тысяч двадцать четыре рубля 46 копеек

В т.ч. НДС (20%): 150 004,08

Итого с НДС: 900 024,46