

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Судно с электроприводом от солнечной батареи</b>

УДК 62-83:621.311.243:629.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Бумагин Олег Викторович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Георгий Иванович	д.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	д.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке, для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ПК(У)-1	Способен выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности, с использованием средств автоматизации
ПК(У)-2	Способен применять методы создания и анализа математических моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности.
ПК(У)-3	Способен разрабатывать, реализовывать и осуществлять контроль выполнения технических и организационных мероприятий, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности.
ПК(У)-4	Способен формулировать технические задания, анализировать различные варианты и искать компромиссные решения.
ПК(У)-5	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_  
 (Подпись)     \_\_\_\_\_     Гарганеев А. Г.  
 (Дата)     (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5AM99	Бумагину Олегу Викторовичу

Тема работы:

Судно с электроприводом от солнечной батареи	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.11.2020 № 335-12/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021 г.
--	---------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В качестве объекта исследования выбрать маломерное судно с полным водоизмещением до 3 тонн;</li> <li>- Тяга выбранного электромотора должна составлять не менее 110 lbs;</li> <li>- Суммарной ёмкости выбранных аккумуляторов должно хватать не менее чем на 4 часа автономной работы двигателя без дополнительной подзарядки;</li> <li>- Вырабатываемой электроэнергии за сутки от СЭС должно хватать на полную зарядку аккумуляторов;</li> <li>- Данные солнечной инсоляции выбрать для Ленинградской области, г. Санкт-Петербург, Нева;</li> <li>- Выполнить математическое моделирование работы двигателя судна в режимах работы от аккумуляторных батарей и от СЭС;</li> <li>- Разработать имитационную модель заряда аккумуляторных батарей от СЭС, определить вольт-амперные и мощностные характеристики СЭС, а также определить время зарядки</li> </ul>
---	---

	<p>аккумуляторных батарей в процентах от светового дня;</p> <p>- Разработать имитационную модель работы двигателя судна в режимах работы от аккумуляторных батарей и от СЭС в программном комплексе Matlab Simulink;</p> <p>- На основе анализа расчётов и полученных динамических характеристик сделать выводы о границах скорости судна и запасе хода при различных режимах работы двигателя;</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Общие сведения о солнечных панелях, инверторах, контроллерах, аккумуляторах;</p> <p>Анализ энергетического потенциала возобновляемых источников энергии;</p> <p>Оценка солнечного потенциала;</p> <p>Расчёт нагрузок;</p> <p>Определение необходимой мощности солнечной эл. станции и составление баланса мощности;</p> <p>Выбор оборудования;</p> <p>Математическое моделирование;</p> <p>Имитационное моделирование в Matlab Simulink;</p> <p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</p> <p>Социальная ответственность;</p> <p>Заключение.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Структурная схема;</p> <p>2. Имитационная модель;</p> <p>3. Результаты исследований.</p>

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Креницына Зоя Васильевна
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна
«Раздел на английском языке»	Михайлова Ольга Владимировна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Введение; обзор литературы; составление математической модели солнечной электростанции, заряда и разряда аккумуляторных батарей; заключение.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.09.2020
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Георгий Иванович	Д.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Бумагин Олег Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ  
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM99	Бумагину Олегу Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Электроэнергетики и электротехники</b>
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	13.04.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих ресурсов	В исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. Бюджет проекта – не более 1 648 324 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	НР 34-70-32-83, РД 34.10.301, РД 34.10.102-91, ГОСТ Р 51387-99, МУ 34-00-094-85, ГОСТ Р 53905-2010
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления в социальные фонды – 30,2 % от ФОТ.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Описание потенциального потребителя, SWOT анализ
2. Планирование этапов и выполнения работ по НИР (определение состава работы, определение действующих лиц, установление длительности и трудоемкости работы)	Планирование научно-исследовательских работ, определение действующих лиц, длительности и трудоемкости работ.
3. Расчет бюджета для научно-технического исследования	Определение материальных затрат НТИ, затрат на специальное оборудование, расчет основной заработной платы и накладных расходов
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Оценка целесообразности и эффективности научного исследования. Анализ и оценка научно-технического уровня исследования. Оценка рисков.

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сегментирование рынка</li> <li>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>3. SWOT-анализ</li> <li>4. Иерархическая структура работ проекта</li> <li>5. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> </ol>
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	20.03.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	К. Т. Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5AM99	Бумагин Олег Викторович		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5AM99	Бумагину Олегу Викторовичу

<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЭЭ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 «Электроэнергетика и Электротехника»

Тема ВКР:

Судно с электроприводом от солнечной батареи

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – Система питания электродвигателя от возобновляемого источника энергии, предназначенная для снабжения электричеством электродвигатель маломерного судна, посредством преобразования энергии солнца в электричество. Основным компонентом фотоэлектростанции являются фотоэлектрические модули.</p> <p>Рабочая зона – катер российского судостроительного завода «Вымпел» Vympel 7000. Оборудование на борту: солнечные панели, батареи аккумуляторов, инверторы, электромотор, светильник общего назначения, вентиляция кабины.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>ТК РФ от 30.12.2001 ФЗ - №197. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». ГОСТ 12.0.002-2014 ССБТ «Термины и определения». СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». ГОСТ 24389-89. Системы кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления судов. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности». ГОСТ 12.1.012 - 2004 «Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования». СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96 «2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8 Физические факторы окружающей природной среды». ГОСТ 12.1.038-82. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 26522–85. Короткие замыкания в электроустановках. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. ГОСТ ИЕС 61340–5–1–2019. Защита электронных устройств от электростатических явлений. СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение, обращение с отходами. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.009-2017 «Система стандартов безопасности</p>
--	--

	<p>труда. Электробезопасность. Термины и определения». ГОСТ 12.0.004-2015 «Организация обучения безопасности труда».</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы: шум, вибрация, недостаточная освещенность, электромагнитные поля, отклонение показателей микроклимата, зрительное напряжение, нервно-психические перегрузки.</p> <p>Опасные факторы: термические опасности, опасность поражения электрическим током, короткое замыкание, статическое электричество, пожаровзрывоопасности.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Утилизация значительных объёмов отслуживших солнечных модулей, приводит к увеличению риска для здоровья людей в данной местности. А также это пагубно для флоры и фауны. Утечка химических реагентов из утилизируемых модулей дает вероятность заражению местной почвы и поверхностных вод.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Наиболее характерное ЧС для фотоэлектрической станции - пожар.</p> <p>Превентивными мерами по предупреждению пожара являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания оборудования с проведением регулярных инструктажей по ПБ на местах.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.02.2021
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Бумагин Олег Викторович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки – 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника  
 Уровень образования - Магистр  
 Отделение электроэнергетики и электротехники  
 Период выполнения – весенний семестр 2020 /2021 учебного года

Форма представления работы:

<b>Магистерская диссертация</b>
---------------------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.03.2021	Календарное планирование работ по теме	3
12.03.2021	Описание объекта исследования	3
20.03.2021	Подбор и изучение материалов по теме	3
22.03.2021	Составление и утверждение технического задания	3
28.03.2021	Обзор разновидностей ВИЭ	3
11.04.2021	Расчёт электрических нагрузок	3
15.04.2021	Выбор оборудования	3
25.04.2021	Имитационное моделирование	6
02.05.2021	Оценка полученных результатов	3
10.05.2021	Технико-экономические расчёты	3
12.05.2021	Вопросы экологической безопасности	3
15.05.2021	Составление пояснительной записки	4
22.05.2021	Итого	40

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Георгий Иванович	Д.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гарганеев Александр Георгиевич	Д.Т.Н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 152 страниц, 65 рисунков, 37 таблиц, 37 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, солнечная инсоляция, электростанция, солнечный модуль, контроллер, аккумуляторная батарея.

Объектом исследования является: Маломерное судно.

Цель работы: Проект солнечной электростанции с накопителями электрической энергии, способной обеспечивать бесперебойное электроснабжение электродвигателя за счет преобразования энергии солнца.

В процессе исследования проводились: расчет и выработки электрической энергии солнечными модулями, расчет и выбор емкости накопителей, разработка схемы солнечной электростанции, выбор оборудования солнечной электростанции, исследование динамических характеристик электропривода работающего от солнечной электростанции.

В результате исследования построены графики выработки и потребления электрической энергии, выбраны тип и емкость аккумуляторных батарей, разработана схема солнечной электростанции и выбрано основное оборудование в соответствии со схемой.

Область применения: бесперебойное обеспечение потребителя электрической энергией на судах. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для разработки проектов возобновляемой энергетики в данном районе.

Экономическая эффективность/значимость работы: замещение доли дизель-генераторов в выработке электрической энергии, обеспечение экологически чистой электроэнергией.

Работа выполнена с использованием пакета прикладных программ: Microsoft Office 2010, Mathcad 15, MathType 6.0, MatLab R2020a.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ВИЭ – возобновляемый источник энергии;

ФЭУ – фотоэлектрическая установка;

АКБ – аккумуляторная батарея;

СЭ – солнечные элементы;

СП – солнечные панели;

ГЭС – гидроэлектростанция

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕФЕРАТ .....	10
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	11
ВВЕДЕНИЕ .....	14
1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ.....	17
1.1. Анализ и оценка современного состояния использования возобновляемых источников энергии на судах .....	17
1.2. Перспективы применения ВИЭ в российском кораблестроении .....	19
1.3. Структурные схемы автономного электроснабжения маломерных судов.....	23
1.4. Анализ природных условий для создания систем электроснабжения на маломерных судах 25	
1.4.1 Общие географические и климатические сведения для эксплуатации в Ленинградской области.....	28
1.5. Типы и характеристики солнечных и аккумуляторных батарей .....	30
1.5.1 Типы солнечных модулей.....	30
Органические солнечные панели .....	36
1.5.2 Характеристики солнечных модулей .....	38
1.5.3 Характеристики аккумуляторных батарей .....	41
1.5.4 Типы инверторов, технические характеристики .....	42
1.5.5 Типы контроллеров заряда, технические характеристики .....	46
Основные функции контроллера заряда: .....	46
Виды контроллеров заряда аккумуляторов от солнечных батарей .....	46
Вывод по 1 главе .....	48
2. ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ .....	49
2.1. Оценка солнечного энергетического потенциала при переменных координатах ....	49
2.2. Характеристики объекта электроснабжения.....	54
2.3. Расчет электрических нагрузок .....	57
2.4. Выбор оборудования солнечной электростанции.....	58
2.4.1 Выбор солнечных модулей.....	58
2.4.2 Выбор аккумуляторных батарей и контроллера.....	61
Вывод по 2 главе .....	64
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ MATLAB/SIMULINK.....	65
3.1. Вольт-амперные характеристики солнечной станции 4800 Вт .....	65
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	71
4.1. Цели проекта .....	71
4.2. Потенциальные потребители результатов исследования .....	71
4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	72
4.4. SWOT – анализ .....	74
4.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	75
4.6. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	77
4.7. Инициация проекта .....	78
4.8. Планирование управления научно-техническим проектом.....	79
4.8.1 Иерархическая структура работа проекта .....	80

4.8.2 Контрольные события проекта.....	81
4.8.3 План проекта.....	81
4.9. Бюджет научного исследования .....	84
4.9.1 Определение стоимости материальных затрат .....	84
4.9.2 Амортизация .....	85
4.9.3 Полная заработная плата исполнителей .....	85
4.9.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	87
4.9.5 Накладные расходы .....	87
4.9.6 Формирование сметы проекта.....	88
4.10. Оценка сравнительной эффективности исследования.....	88
Выводы по 4 главе .....	92
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	93
5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	93
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	93
5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны.....	95
5.2. Производственная безопасность.....	96
5.2.1 Анализ опасных, вредных факторов и мероприятия по снижению уровней воздействия.....	97
5.3. Экологическая безопасность при проектировании системы электроснабжения судна с электроприводом от солнечных батарей .....	104
5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	105
5.4.1 Перечень ЧС.....	105
5.4.2 Выбор наиболее типичной ЧС .....	106
5.4.3 Разработка мер по предупреждению ЧС .....	106
5.4.4 Разработка действий по ликвидации данной ЧС.....	107
Выводы по 5 главе .....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	109
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	125

## ВВЕДЕНИЕ

С давних времён люди совершали длительные путешествия как по суше, так и по воде без использования каких-либо видов топлива, а о таком виде энергии, как электричество и не помышляли. Использование в качестве средств передвижения лошадей и парусных судов никак не назовешь ни практичным, ни комфортным. Транспорт на бензиновых и дизельных генераторах энергии также постепенно изживает себя. Новые способы передвижения – на энергии возобновляемых источников приобретают все больше приверженцев.

Быстро растущая популярность солнечных батарей не обошла стороной и водные виды транспорта. Солнечные панели устанавливаются на борту катеров и яхт и как дополнительный источник энергии, и как основной – на безмоторных судах. Электричество, генерируемое солнечными панелями, используется для запуска мореходного и коммуникационного оборудования, бортового освещения и т. д. Применение солнечных батарей на яхтах, особенно оправдано в случаях длительных путешествий в регионы земного шара, отличающиеся высоким уровнем инсоляции. Для таких судов солнечные модули изготавливают, как правило, на заказ [1].

Электромоторные суда на солнечных батареях для водных прогулок и рыбалки завоевывают все большую популярность. История появления первых водных транспортных средств, движимых энергией солнца, насчитывает уже многие десятилетия. Именно на воде было испытано первое транспортное средство с электроприводом. В 1833 году немецким инженером Якоби, работавшем в Петербурге, была спущена на воду лодка с двумя электромоторами, работающими от 27 гальванических батарей. Эксперимент оказался удачным: лодке удалось подняться вверх по Неве на несколько километров, что в те времена было невиданным достижением человеческой мысли. Правда, низкая энергоёмкость батарей послужила препятствием к

дальнейшим экспериментам, и их пришлось прекратить. Тем не менее, начало было положено.

Начало 20 века ознаменовалось появлением маломерных судов с двигателями внутреннего сгорания. Более высокая энергоемкость углеводородного топлива в сравнении с гальваническими батареями заставили на время забыть о других источниках энергии. Лодки, катера, катамараны с мощными бензиновыми моторами еще долгие годы оставались самым востребованным видом водного транспорта. Электромоторные же суда, ввиду несовершенства аккумуляторных батарей того времени – сложности их зарядки и ограниченного ресурса, до недавнего времени, наряду с электромобилями, практически не встречались [2].

Лодки и катера с жидкотопливными двигателями сегодня распространены повсеместно. Отравляя воду и воздух продуктами сгорания топлива, вызывая эрозию берегов водоемов сильными волнами, уничтожая природные экосистемы, моторные лодки уже не вызывают прежнего энтузиазма и заставляют обращать свой взор на альтернативные экологичные источники энергии. Солнечные суда на экологически чистой возобновляемой энергии могут стать наилучшим решением проблемы отдыха на природе, рыбалки и туризма, не отравляемыми ни ядовитыми выхлопами, ни шумом моторов.

Создание водных транспортных средств на солнечной энергии связано с меньшим количеством проблем, чем создание электромобиля:

- большая площадь палубы катера или лодки обеспечивает достаточную площадь для размещения требуемого количества солнечных батарей;
- отсутствие проблемы затенения деревьями, домами и др. позволяет вырабатывать большее количество энергии;
- разгон и торможение, преодоление подъемов и спусков, требующее повышенных мощностей, - прерогатива лишь наземного транспорта [3].

Все водные транспортные средства с солнечным приводом имеют аккумулятор, емкость которого подбирается в зависимости от назначения судна.

Современные электромоторы обладают существенными преимуществами в сравнении с двигателями внутреннего сгорания. Они не нуждаются в смазке и смене масла, не требуют топлива, что позволяет не загромождать пространство емкостями для горючего.

Цель данной работы заключается в решении проблемы автономного электроснабжения маломерного судна. Решать эту проблему мы будем путём создания системы электроснабжения электромотора маломерного судна от солнечных модулей, для возможности передвижения на нем по водоемам города Санкт-Петербург. Задачами для достижения которой становятся:

- исследование солнечного потенциала на территории Ленинградской области;
- определение схемы электроснабжения;
- расчет электрических нагрузок;
- выбор оборудования и определения баланса мощностей;
- построение схемы электроснабжения от возобновляемого источника;
- оценка полученных результатов.

В роли объекта электроснабжения выступает электромотор Aquamot A20e, установленный на катер российского судостроительного завода «Вымпел» Vumpe1 7000.

# **1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ**

## **1.1. Анализ и оценка современного состояния использования возобновляемых источников энергии на судах**

С 1988 года в ФРГ и США ежегодные соревнования солнечных яхт уже стали традицией. В 1994 году, в состоявшихся в Баварии на озере Химзее соревнованиях, участвовало 17 судов на солнечных батареях – от каноэ до комфортабельных судов с моторами мощностью 12 кВт. Катамаран «Инзер», созданный российскими инженерами, за 3 часа прошел 15-километровую дистанцию [1].

Развитие технологий постепенно приводило к тому, что солнечные батареи становились все эффективнее и дешевле, а аккумуляторы легче и мощнее. Уровень инженерной и технической мысли применительно к экологичным видам транспорта, как сухопутным, так и водным, был в полной мере продемонстрирован на международном экотуре «Финляндия-2000». Безусловным фаворитом специалистов и зрителей стала финская солнечная яхта «Сольвейг», палуба которой была облицована ярко-синими фотоэлектрическими модулями. Электромотор мощностью 1,5 кВт, навигационные приборы, бытовое электрооборудование – все запитывалось исключительно от солнечных батарей. В качестве дополнительного движителя предусмотрено использование паруса, закрепляющегося на специально приспособленной для него складывающейся мачте [4].

Из Монако отправилось в кругосветное путешествие крупнейшее в мире судно на солнечных батареях. Катамаран длиной 31 метр и шириной 15 метров весит 60 тонн. Это самое большое в мире судно, работающее исключительно на энергии солнца, что вполне соответствует его названию Planet Solar (Солнечная планета). Название Türanor взято из знаменитого "Властелина колец" Толкиена и означает «энергия или сила солнца». Общая площадь, покрывающих его 38 000 фотоэлектрических модулей составляет

537 м<sup>2</sup>, причем часть этих панелей по краям судна и на корме являются складными. КПД солнечных батарей составляет 18,6 %, что позволяет солнечному макси-тримарану генерировать до 93 кВт электроэнергии, приводящей в движение 2 мотора мощностью 26,6 л. с., а также обеспечивать питание бортового оборудования и зарядку аккумуляторных батарей для движения в пасмурную погоду и ночью [3].

Его создатели – энтузиасты-яхтсмены из разных стран в соавторстве со швейцарскими учеными воплотили в жизнь свою мечту. Несмотря на то, что знаменитое экологичное судно создано по частной инициативе, правительством Швейцарии также была оказана финансовая поддержка проекту. Стоимость проекта оценивается в несколько миллионов евро.

Тримаран Planet Solar способен развить скорость до 15 узлов. Важным преимуществом судна является его бесшумность при движении. В случае непогоды, энергии, запасенной в аккумуляторах хватит на 3 дня плавания.

Судно вышло из Монако, прошло Средиземное море, пролив Гибралтар, пересекло Атлантический океан и успешно продолжает плавание по Тихому океану. В начале апреля 2011 года тримаран Turanor Planet Solar, осуществляющий свое первое и полностью экологичное кругосветное плавание с помощью лишь солнечной энергии, прибыл на остров Французской Полинезии - Бора-Бора [3].

Кругосветное плавание на Planet Solar стало не только рекордом для морских судов на солнечной энергии, но и доказало всему миру высокий потенциал и надежность возобновляемых источников энергии.

Предыдущее достижение автономного плавания на судне, движущемся за счет солнечной энергии, принадлежало кораблю Sun 21 и составило 29 дней. Швейцарская яхта Sun 21 пересекла Атлантический океан, пройдя 8 000 миль и не израсходовав при этом ни грамма углеводородного топлива.



Рисунок 1.1.1 - Крупнейшее в мире судно на солнечных батареях Planet Solar

Оригинальный концепт круизной яхты был предложен дизайнерами компании Novague Studio. Новая яхта имеет две солнечные панели, размещенные по боковым сторонам судна, которые разворачиваются, когда энергия в бортовых батареях исчерпана.



Рисунок 1.1.2 – Круизная яхта

Каждый такой новый проект, пусть даже носящий демонстрационный, пропагандистский характер приближает то время, когда уже на полном серьезе можно будет говорить о транспортных судах на солнечных крыльях [4].

## 1.2. Перспективы применения ВИЭ в российском кораблестроении

Пока солнечная энергия прижилась только на пассажирских судах. Одной из причин тому является важность имиджа компании-перевозчика для клиента, в данном случае, туриста. Круизные компании дорожат своей репутацией, и каждая из них борется за звание владельца самого экологичного флота в мире. Для перевозчиков же грузов важнейшим аргументом для внедрения той или иной технологии является, конечно, энергоэффективность.

Проектов грузовых судов на солнечной энергии совсем немного. Так, японская Eco Marine Power создала концепт грузового судна (им может быть танкер, балкер или ролкер) с выдвижными парусами, оборудованными фотоэлементами. Таким образом, в настоящий момент основные перспективы применения ВИЭ состоят в области маломерных судов.

В Петербурге планируется масштабное обновление парка речных судов. Перспективы существуют как для внутреннего рынка Петербурга, так и для внешнего. По заявлению коллег из ОСК, более 2 тысяч судов подлежат замене, поскольку в течение ближайших 20 лет они превысят средний срок жизни флота внутренних водных путей, а это 50-70 лет [5].

28 июня 2020 в пассажирском порту на Октябрьской набережной, 31, спустили на воду электрический пассажирский катамаран «Эковольт». Судно для речных туристических прогулок и бизнес-встреч разработали специалисты ООО «НПК Морсвязьавтоматика» из Санкт-Петербурга. На строительство ушло 1,5 года.

Предполагается, что любоваться видами Петербурга с воды смогут сразу 84 пассажира и два члена экипажа, а само судно способно пройти до 8 часов по маршруту без дополнительной зарядки со скоростью до 7 узлов, при этом максимальная скорость может быть увеличена до 15 узлов. Судно называют инновационным, так как при его создании специалисты использовали уникальные технологии. Например, это резка элементов

корпуса по особому методу крепления «шип-паз», использование негорючего утепления корпуса, в том числе в батарейном отсеке, а также порошковая окраска элементов отделки под дерево. 80% судна сделано с использованием российских технологий, а также силами одного предприятия, – рассказал генеральный директор ООО «НПК Морсвязьавтоматика» Андриан Правдин.

Сегодня в Петербурге насчитывается три производственных площадки компании. Одна из них, в городе Отрадное Ленинградской области, сейчас на стадии строительства, но уже к сентябрю там начнут закладывать первые суда. «Верфь будет иметь некую инновационную составляющую, поскольку планируется организовать потоковое производство судов и строить до 25 судов в год. Кроме того, был заложен фундамент и сделано предварительное проектирование трехмерного принтера с габаритами 130 метров в длину и 14 – в ширину. Это позволит отработать технологию и печатать корпуса судов целиком, чтобы еще больше увеличить производительность верфи».

Одна из задач, которую ставит сегодня губернатор Петербурга Александр Беглов, – увеличение экологического транспорта в Петербурге, который способствует улучшению качества жизни.

«Три типа судов, которые планируется производить на электрической тяге, позволяют полностью удовлетворить спрос всех перевозчиков, которые сегодня у нас в городе управляют водным транспортом, как на дальние расстояния, так и те, кто организует прогулки по рекам и каналам. Конечно, времяпрепровождение на судне с электрической тягой принципиально отличается от дизельных аналогов: нет запахов, тряски, в городе чистое небо.

Помимо производства паромов и катамаранов, способных совершать даже кругосветные путешествия у технологии есть и перспектива применения в обычных лодках. Так например Фирма BoatsToGo, находящаяся в North Miami, Florida, продает надувные лодки с солнечными панелями. У этих лодок электромотор питается от батарей, но в то же самое

время батареи подзаряжаются от Солнца. Солнечные панели почти удваивают возможный пробег лодки в солнечный день. Когда основная батарея разрядится, на запасной можно двигаться еще в течение 2 часов, в то время как основная заряжается. Если и запасная батарея разрядится, можно снова переключиться на основную, что позволяет идти еще 35-40 минут. Единственные недостатки этих лодок — малая скорость и возня с подзарядкой. Однако солнечные панели могут существенно снизить необходимость подсоединения длинного кабеля или переноски тяжелых батарей для зарядки. Электромоторы могут работать и непосредственно от солнечных панелей, но при этом скорость очень маленькая, 3-7 миль в час в течение 6 часов при безоблачном небе, и каждое набежавшее облачко останавливает мотор. Если лодка не движется, солнечные панели полностью зарядят батареи за несколько часов. Помимо США такие лодки производятся в Австрии и Дании.

Вообще нужно отметить, что перспективы применения таких технологий сильно зависят от поддержки государства, а именно от законодательной базы. Так например в случае с электромобилями правительство США создало уникальные условия не только для производителей, но и для владельцев машин. Таможенные и налоговые льготы, скидки и огромные дотации федерального бюджета введены десятками. Государства вкладывают в зеленые технологии больше, чем бизнес. Примеру почти без задержки последовала Европа. У нас пока все наоборот. Бизнесмен и инженер Андриан Правдин нашел бизнесмена Александра Лебедева. Проект получил финансирование в умеренной смете. Корабль Эковольт построили без участия государства. Нельзя сказать, конечно, что власть проигнорировала проект: в церемонии спуска на воду участвовали председатель Комитета по транспорту Кирилл Поляков и директор департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России Борис Кабаков. Представители власти

выразили готовность поддержать подобные инициативы. «Власти страны готовы и дальше совместно работать над созданием подобного флота на электрической тяге. Сейчас ведется программа по обновлению пассажирского флота, и не только Петербурга, но и субъектов России, где такие перевозки востребованы», – сказал директор Департамента судостроительной промышленности и морской техники Министерства промышленности и торговли России Борис Кабаков.

Говоря об окупаемости надо сказать, что полноценная навигация, когда возвращаются вложенные деньги, у нас от силы пять месяцев. Однако за двадцать лет количество туристов в Петербурге увеличилось почти в пять раз. Только иностранцев в 2015 году сюда приехало 6,5 миллиона, а в 2019 году уже 10,2. Доходы выросли так, что составили уже 13% бюджета. Экологический транспорт должен поддерживаться в таких условиях обязательно [6].

### **1.3. Структурные схемы автономного электроснабжения маломерных судов**

Автономные солнечные энергосистемы позволяют полностью отказаться от генераторов, повысить комфорт и безопасность на борту судна и выйти на качественно новый уровень отдыха на воде. Один из основных компонентов системы солнечный модуль. Благодаря своей конструкции он может быть установлен на крышу или использоваться как навес, сохраняя геометрию и эстетичный вид лодки.

Генерация электроэнергии происходит даже при рассеянном солнечном свете в пасмурную погоду. Контроллер заряда преобразует сгенерированную энергию и заряжает аккумуляторы. На панель приборов судна выводится интерактивный LCD – дисплей, наглядно отображающий информацию о состоянии заряда аккумуляторов.

При включенном или выключенном электромоторе аккумуляторные

батареи заряжаются от солнечных модулей. Этот процесс полностью автоматизирован и не требует контроля со стороны человека.

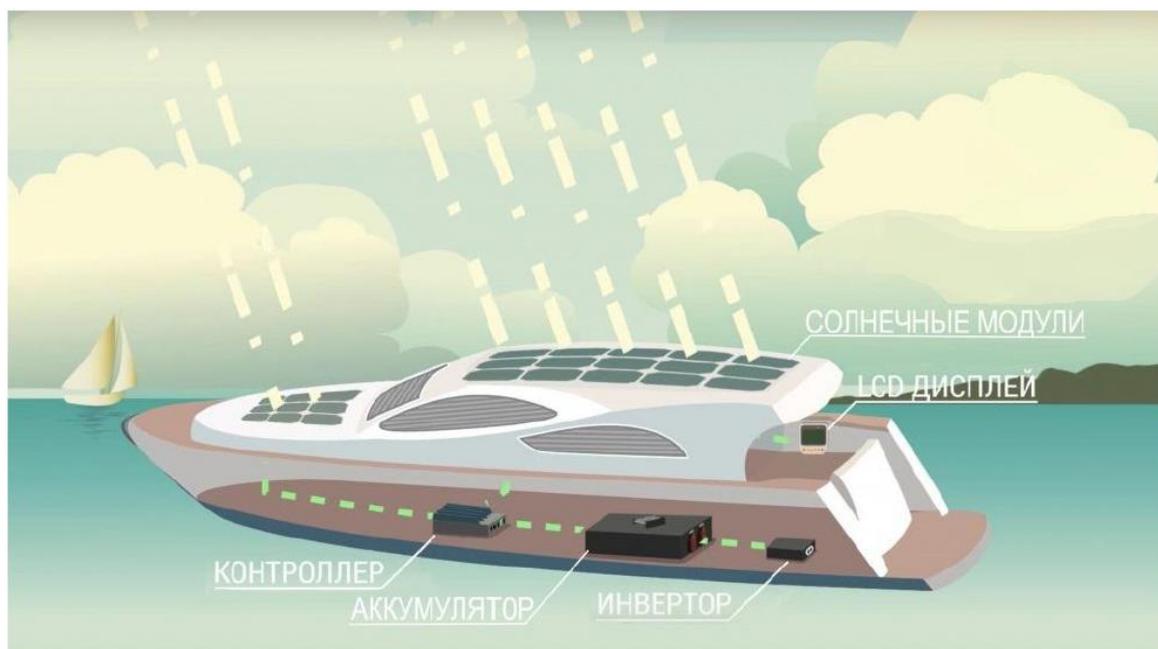


Рисунок 1.3.1 – Структурная схема автономного электроснабжения маломерного судна

Инвертор преобразует накопленную энергию в аккумуляторных батареях в электрический ток напряжением 220 вольт, что позволяет подключать любые электроприборы.

Солнечная энергосистема на борту позволяет приобретать автономную энергию в любых местах и пользоваться любыми электроприборами на 220 В [7].

Для эффективного использования установок возобновляемой энергетики в составе автономных систем электроснабжения потребителей необходимо выполнение следующих основных технических требований:

- разрабатываемая система должна обеспечивать запас энергии в объемах, достаточных для полного покрытия графика электрических нагрузок в накопителе, во время отсутствия первичного возобновляемого энергоресурса;
- система должна содержать полностью автоматизированные устройства, обеспечивающие рациональные и безопасные режимы заряда и

разряда накопителя энергии.

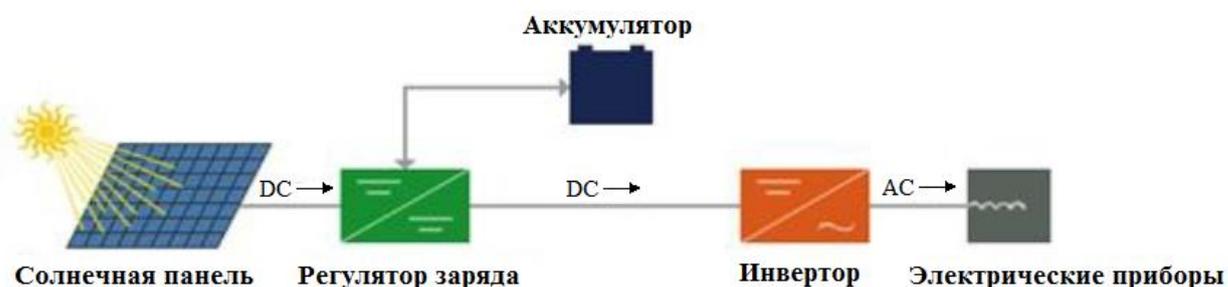


Рисунок 1.3.2 - Структурная схема солнечной электростанции с подключением силовых модулей

Солнечная установка подключается к аккумуляторным батареям через контроллеры заряда-разряда, который выполняет функцию регулирования и индикации процессов заряда и разряда, предотвращая перезаряд и глубокий разряд. Так как выходная энергия фотоэлектрических модулей выдается на постоянном токе, для приведения ее к стандартным параметрам в составе системы необходим инвертор.

Довольно часто функцию контроля заряда-разряда выполняют конвертеры постоянного напряжения, при этом отдельный контроллер заряда-разряда батареи не устанавливается. Обычно используются конвертора постоянного напряжения в постоянное напряжение (DC-DC конвертора) повышающего типа. Учитывая, что характеристика солнечного элемента имеет нелинейную зависимость, система управления конвертором должна обеспечивать максимум отбора мощности [8].

#### 1.4. Анализ природных условий для создания систем электроснабжения на маломерных судах

Для правильного выбора источника возобновляемой энергии необходимо точно определить мощность её потоков в предполагаемом месте их использования. Осуществление данной задачи предполагает наличие большого количества информации. Сбор такой информации возможен при организации длительных и регулярных наблюдениях и анализов полученных

данных о параметрах выбранного источника.

С течением времени потребность энергии не постоянна. Например, максимальная потребность в электрической энергии - в утренние и вечерние часы и минимальная - в ночное время суток. Традиционные источники энергии могут подстраиваться под эти колебания, регулируя расход топлива или воды. При использовании нетрадиционных источников энергии колеблется не только спрос на энергию, но и мощность самих источников не постоянна во времени. Поэтому процесс согласования выработки и потребления электроэнергии в системе с ВИЭ представляется сложной задачей.

Все возобновляемые источники энергии, условно, представляются в трёх основных типах:

- химическая энергия;
- механическая энергия;
- тепловая и лучистая энергия.

В зависимости от типа возобновляемого источника энергии, он обладает определённым набором качеств энергии, присущих только данному типу. Под качеством энергии возобновляемого источника необходимо понимать ту долю энергии, которую возможно превратить в механическую работу.

ВИЭ с механической энергией обладают достаточно высоким качеством и пригодны для производства электроэнергии [7].

В зависимости от источника, механическая энергия способна достигать до 30% при использовании энергии ветра. При использовании энергии воды этот процент намного больше, до 75 % при использовании приливных и волновых электроустановок. Качество тепловых и лучистых ВИЭ не сильно велико (до 35%) и ограничено вторым законом термодинамики.

Для источников энергии на основе фотонных процессов (солнечные

модули), на данный момент технологического прогресса уже удалось получить качество выше 40 % в лабораторных условиях. Панели, которые сейчас массово производятся имеют КПД в среднем 18-19 %. Средний КПД российских модулей, которые производит компания Хевел составляет 23,5%. Это очень высокий показатель, в мире пока не больше пяти компаний способных производить такие модули.

Общемировой опыт в использовании ВИЭ, как показала практика, является отличным решением для электроснабжения отдалённых потребителей не имеющих централизованного электроснабжения.

Однако, ни один ВИЭ не является универсальным, способным к использованию в любой ситуации. Использование того или иного типа источника в первую очередь определяется природными условиями окружающей среды и необходимым количеством требуемой электроэнергии. Немаловажным условием является и стоимость того или иного источника.

Опираясь на представленную информацию можно выбрать наиболее экономичный и эффективный ВИЭ для тех или иных требуемых условий.

Необходимо сделать вывод, что не существует простого и универсального метода планирования энергетики на основе возобновляемых источников энергии. Размер района, на котором разумно планировать энергетику на возобновляемых источниках, может занимать площадь радиусом около 250 км.

При развитии энергетики, стоит помнить, что эффективнее и дешевле, как правило, увеличивать энергоэффективность потребителей нежели увеличивать число источников электроэнергии. Выполнив анализ потребителей и потенциальных ВИЭ, необходимо согласовать их друг с другом. Согласование предполагает выполнение следующих условий:

1. Проектируемая энергоустановка предполагает максимальную эффективность использования возобновляемого источника энергии. Потери при передаче электроэнергии от источника к потребителю должны быть

минимальными, для обеспечения минимизации размеров энергетического оборудования.

2. При проектировании систем управления возобновляемых источников, следует помнить, что использование обратной связи между потребителем и источником не эффективно. Вырабатываемая энергия будет расходоваться не полностью. Неэффективность обратной связи обуславливается постоянным существованием в окружающем пространстве потоков используемой энергии.

3. Согласование потребления и производства энергии, без завышения мощности энергоустановки, возможно при наличии накопителей производимой энергии.

4. При невозможности согласования установки ВИЭ и потребителя от этой задачи отказываются. В таком случае возобновляемый источник энергии подключают к более мощной и универсальной энергосистеме.

5. Наиболее эффективным вариантом использования ВИЭ является схема, где в каждый момент времени к источнику подключается такое количество потребителей, суммарная мощность которых соответствует вырабатываемой мощности источника в данный момент [9].

Для системы электроснабжения маломерного судна буду рассматривать такой вид ВИЭ как солнце.

#### **1.4.1 Общие географические и климатические сведения для эксплуатации в Ленинградской области**

Внутренние речные судоходные пути России составляют 80 тысяч километров. Основным в России является Волго-Камский речной бассейн, на который приходится 40 % грузооборота речного флота. Благодаря Волго-Балтийскому, Беломорско-Балтийскому и Волго-Донскому каналам Волга стала стержнем единой водной системы европейской части России, а Москва

— «портом пяти морей». В Волго-Камском бассейне сконцентрировались и главные пассажирские потоки. Пассажирские суда довольно широко используются при организации туризма или отдыха. Прогулки по рекам остались в 100 российских городах. Наибольшей популярностью пользуются экскурсионно-прогулочные поездки. На них приходится свыше 71% пассажирооборота речного транспорта России. Вторым по объёму пассажиропотока является маршрут Москва-Санкт Петербург. Таким образом вопрос целесообразности применения солнечных батарей для электроснабжения судна будем рассматривать для применимости в городе Санкт Петербург, так как там климатические особенности наиболее суровые, это можно видеть из рисунка 1.4.1. Если по итогу получим положительный результат, то для Волго-Камского бассейна ВИЭ будут тем более применимы.



Рисунок 1.4.1 – Уровень инсоляции кВт\*ч/м<sup>2</sup> в разных регионах России

Климат Петербурга умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией характерной для

Ленинградской области. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла [11].

Из-за небольшого количества солнечного тепла влага испаряется медленно. Суммарный приток солнечной радиации здесь в 1,5 раза меньше, чем на юге Украины, и вдвое меньше, чем в Средней Азии. За год в Санкт-Петербурге бывает в среднем 62 солнечных дня. Поэтому на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением [11]. Продолжительность дня в Санкт-Петербурге меняется от 5 часов 51 минуты в зимнее солнцестояние до 18 часов 50 минут в летнее солнцестояние. В городе наблюдаются так называемые «белые ночи», наступающие 25—26 мая, когда солнце опускается за горизонт не более чем на  $9^\circ$ , и вечерние сумерки практически сливаются с утренними. Заканчиваются белые ночи 16—17 июля. В общей сложности продолжительность белых ночей более 50 дней. Годовая амплитуда сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе от  $25 \text{ МДж/м}^2$  в декабре до  $686 \text{ МДж/м}^2$  в июне. Облачность уменьшает в среднем за год приход суммарной солнечной радиации на 21 %, а прямой солнечной радиации на 60 %. Среднегодовая суммарная радиация  $3156 \text{ МДж/м}^2$ [4]. Число часов солнечного сияния — 1628 в год.

Средняя температура воздуха в Санкт-Петербурге, по данным многолетних наблюдений (с середины XVIII века по современность), составляет  $+4,2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Самый холодный месяц в городе — февраль со средней температурой  $-7,9 \text{ }^\circ\text{C}$ , в январе  $-7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Самый тёплый месяц — июль, его среднесуточная температура  $+17,8 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сравнительно небольшая амплитуда среднесуточных температур февраля и июля ( $25,7 \text{ }^\circ\text{C}$ ) характеризует умеренность петербургского климата.

## **1.5. Типы и характеристики солнечных и аккумуляторных батарей**

### **1.5.1 Типы солнечных модулей**

#### **Солнечные панели из монокристаллических фотоэлектрических элементов**

Такой вид батарей относится к самым дорогостоящим, потому что они изготавливаются из высококачественных материалов при соблюдении сложного технологического процесса. Главным материалом служит слой из специально выращенных кристаллов кремния. Готовые панели представляют собой бруски с кремниевой решеткой темно-синего цвета с закругленными краями. В процессе производства модуль разрезают на более тонкие пластины.

К преимуществам монокристаллических кремниевых батарей относят:

- Высокий КПД со значением 17-25%
- Компактность – меньшая площадь размещения оборудования из расчёта на единицу мощности, в сравнении с поликристаллическими кремниевыми панелями

- Долговечность – достаточная эффективность генерации электроэнергии обеспечивается около 25 лет

Недостатков у таких батарей всего два:

- Высокая стоимость и длительная окупаемость.
- Чувствительность к загрязнению. Пыль рассеивает свет, поэтому у покрытых ею солнечных панелей резко снижается КПД.

Монокристаллические батареи требуют дополнительного оборудования, которое автоматически поворачивает их в течении дня, чтобы плоскость панелей была максимально перпендикулярна солнечным лучам.

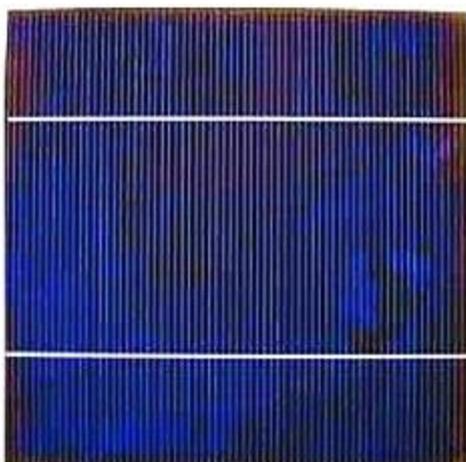


Рисунок 1.5.1 - Внешний вид солнечного элемента из монокристаллического кремния

Обычно монокристаллические элементы имеют форму многоугольников, которыми трудно заполнить всю площадь панели без остатка. В результате удельная мощность солнечной батареи несколько ниже, чем удельная мощность отдельного ее элемента.

### **Солнечные панели из поликристаллических фотоэлектрических элементов**

Поликристаллические кремниевые батареи имеют неравномерный по интенсивности окрас из-за разносторонней ориентированности кристаллов. Чистота кремния используемого при их производстве, несколько ниже, чем у монокристаллических аналогов.

Неоднородность материала приводит к снижению себестоимости производства кремния. Очищенный металл для поликристаллических солнечных панелей без особых ухищрений заливается в формы.

К достоинствам солнечных батарей с разнонаправленными кристаллами относят:

- Высокая эффективность в условиях рассеянного света.
- Возможность стационарного монтажа на крышах зданий.
- Меньшая стоимость по сравнению с монокристаллическими панелями.
- Длительность эксплуатации – падение эффективности через 20 лет

эксплуатации составляет всего 15-20%.

Недостатки у поликристаллических панелей также имеются:

- Пониженный КПД со значением 12-18%.
- Относительная громоздкость – требуется больше пространства для установки из расчёта на единицу мощности в сравнении с монокристаллическими аналогами.

Солнечные панели из поликристаллических фотоэлектрических элементов наиболее распространены ввиду оптимального соотношения цены и КПД среди всех разновидностей панелей. Это обеспечивается широкими потенциальными возможностями для удешевления стоимости их производства. Ежегодно увеличивается и КПД таких панелей стремительно приближаясь к 20%.

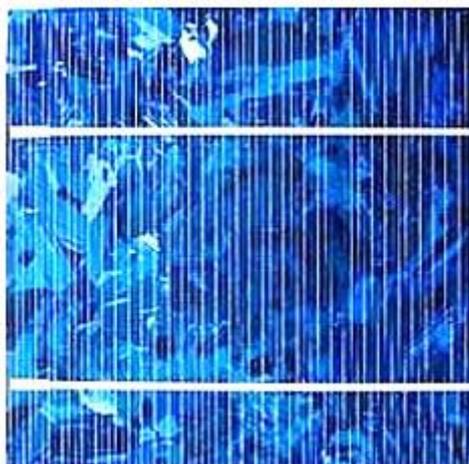


Рисунок 1.5.2 - Внешний вид солнечного элемента из поликристаллического кремния

Далее речь пойдёт о тонкопленочных солнечных батареях. Все данные типы батарей имеют два основных преимущества в сравнении с кремниевыми: хорошая гибкость и низкая масса. С развитием технологий производства и увеличением эффективности преобразования возможно данные преимущества станут ключевыми и приведут к повсеместному распространению таких типов солнечных элементов.

### **Солнечные панели из аморфного кремния**

Механизм производства солнечных панелей из аморфного кремния

принципиально отличается от изготовления кристаллических фотоэлектрических элементов. Здесь используется не чистый неметалл, а его гидрид, горячие пары которого осаждаются на подложку. В результате такой технологии классические кристаллы не образуются, а затраты на производство резко снижаются.

На данный момент существует уже три поколения панелей из аморфного кремния, в каждом из которых заметно повышается КПД. Если первые фотоэлектрические модули имели эффективность 4-5%, то сейчас на рынке массово продаются модели второго поколения с КПД 8-9 %. Аморфные панели последней разработки имеют эффективность до 12% и уже начинают появляться в продаже, но пока ещё достаточно дорогие.

Подытоживая, можно указать такие преимущества аморфных солнечных панелей:

- Универсальность – возможность изготовления гибких и тонких панелей, монтаж батарей на любые архитектурные формы.
- Высокий КПД при рассеянном свете.
- Стабильная работа при высоких температурах.
- Простота и надёжность конструкции. Такие панели практически не ломаются.
- Сохранение работоспособности в сложных условиях – меньшее падение производительности при запыленности поверхности, чем у кристаллических аналогов.

Срок службы таких фотоэлектрических элементов, начиная со второго поколения, составляет 20-25 лет при падении мощности в 15-20 %. К недостаткам панелей из аморфного кремния можно отнести лишь потребность в больших площадях для размещения оборудования требуемой мощности.



Рисунок 1.5.3 - Внешний вид панели из аморфного кремния

### **Солнечные панели из теллурида кадмия**

Кадмий – токсичный металл, но при использовании солнечных панелей он не несёт угрозы для человеческого здоровья. Все испарения, полученные при его активации солнечной радиацией, уходят в атмосферу. Солнечные панели из теллурида кадмия (CdTe) создаются также на основе пленочной технологии. Полупроводниковый слой наносят на подложку в несколько сотен микрометров. Эффективность элементов из теллурида кадмия невелика, КПД достиг около 11%, но цена за 1 Вт на 30% ниже, по сравнению с кремниевыми аналогами.



Рисунок 1.5.4 - Внешний вид панели из теллурида кадмия

### **Солнечные панели из CIGS**

CIGS - это полупроводник, состоящий из меди, индия, галлия и селена. Индий и галлий являются редкими и дорогостоящими металлами,

поэтому массовое производство таких батарей затруднено. Но КПД составляет 15-20% и они по эффективности составляют прямую конкуренцию монокристаллическим панелям. Если производителям удастся снизить себестоимость, то они могли бы иметь хорошие перспективы.

Пленку этого состава получают путем распыления меди, индия и галлия с дальнейшей обработкой парами селена.



Рисунок 1.5.5 - Внешний вид панели из CIGS проводника

### **Перовскитные солнечные панели**

Эффективность солнечной энергетики продолжит повышаться, а одно из перспективных направлений — это перовскиты, полупроводники с особой кристаллической структурой. Данные элементы питания изготавливают из минерала с названием перовскит. Он способен заменить кремниевые батареи, так как более экономически выгоден. На данный момент КПД установок из этого элемента достигает 20,9%, а потенциально он может превысить 27%. В научных кругах известно, что кремниевая пластинка обладает параметрами в 180 микрон. Перовскит же толщиной в 1 микрон способен поглощать столько же световых лучей сколько и кремний толщиной в 180 мкр. Исследования, которые помогут внедрить перовскиты в энергетику, ведутся и в России. Например, ученые МГУ улучшили метод сборки перовскитных солнечных батарей с помощью лазерной резки. Это может еще сильнее снизить их себестоимость.



Рисунок 1.5.6 - Внешний вид панели из перовскитного полупроводника

### **Органические солнечные панели**

Это гибкие элементы, в состав которых включены органические полимеры. Их можно без проблем печатать на принтере и получать выгодный источник энергии. Фотоэлектрические модули на основе органических и полимерных соединений начали разрабатывать только в последнем десятилетии, но исследователи уже добились значительных успехов.

При производстве полимерных панелей используются такие вещества, как углеродные фуллерены, фталоцианин меди, полифенилен и другие. КПД таких фотоэлементов достигает 14-15%, а стоимость производства в разы меньше, чем кристаллических солнечных панелей.

Остро стоит вопрос срока деградации органического рабочего слоя. Пока что подтвердить уровень его КПД через несколько лет эксплуатации не представляется возможным.

К преимуществам органических солнечных панелей являются возможность экологически безопасной утилизации, дешевизна производства и гибкая конструкция. К недостаткам таких фотоэлементов можно отнести относительно низкий КПД и отсутствие достоверной информации о сроках стабильной работы панелей.

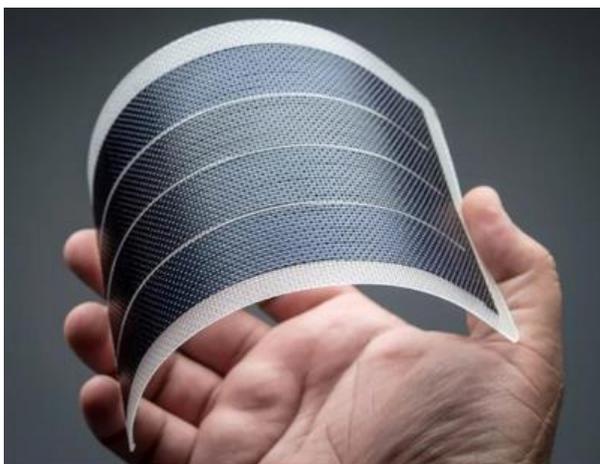


Рисунок 1.5.7 - Внешний вид панели из органических фотоэлементов

При выборе солнечных элементов возникает вопрос, сможет ли тот или иной тип фотоэлектрических преобразователей обеспечить необходимую мощность всей системы. Одинаковую мощность всей установки можно получить при помощи любых типов солнечных батарей, однако более эффективные фотоэлектрические преобразователи займут меньше места, для их размещения понадобится меньшая площадь. Например, если для получения одного киловатта электроэнергии потребуются около 8 кв.м, поверхности солнечной батареи на основе монокристаллического кремния, то панели из аморфного кремния займут уже около 20 кв.м.

Приведенный пример, конечно же, не является абсолютным. На выработку электроэнергии фотоэлектрическими преобразователями влияет не только общая площадь солнечных панелей. Электрические параметры любой солнечной батареи определяются в так называемых стандартных условиях тестирования, а именно при интенсивности солнечного излучения  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , и рабочей температуре панели  $25^\circ \text{ C}$ .

В странах Центральной и Восточной Европы интенсивности солнечного излучения редко достигает номинального значения, поэтому даже в солнечные дни фотоэлектрические панели работают с недогрузкой. Может показаться, что и температура  $25^\circ \text{ C}$  тоже встречается не так уж и часто. Однако речь идет о температуре солнечной панели, а не о температуре воздуха [2].

## 1.5.2 Характеристики солнечных модулей

В качестве основных технических параметров солнечных модулей производитель указывает:

- Габариты (мм\*мм)
- Вес (кг)
- Мощность (Вт)
- Напряжение рабочее (В)
- Напряжение в точке максимальной мощности (В)
- Напряжение холостого хода (В)
- Рабочий ток (А)
- Ток короткого замыкания (А)

Все значения параметров приводятся для стандартных условий измерения: величина освещенности - 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура - 25 °С.

Ниже приведены характеристики стандартных солнечных модулей некоторых производителей. Приведенные данные позволяют сопоставить стоимость модулей различных поставщиков.

Таблица 1.5.1 - Параметры солнечных модулей компании «Nevel» [12].

Модель	Мощность, Вт	КПД	U хх, В	Uм, В	Im, А	Размеры, мм	Вес, кг	Цена, руб.
HVL-105	105	7,34	70	51	2,06	1300x1100x29	24	3885
HVL-120	120	8,39	73	54,5	2,2	1300x1100x29	24	4440
HVL-250	250	14,93	41,6	32,15	7,67	1671x1002x42	19	10190
HVL-270	270	16,12	42,24	33,04	8,21	1671x1002x42	19	10990
HVL-300	300	17,98	43,58	34,95	8,59	1671x1002x42	19	12190
HVL-330	330	19,7	44,18	36,84	8,97	1671x1002x42	19	15190
HVL-395	395	19,75	53,18	44,84	8,76	1996x1002x30	32	18490

Таблица 1.5.2 - Параметры солнечных модулей компании

«Энергосоюз» [13].

Модель	Мощность, Вт	КПД	$U_{xx}$ , В	$U_m$ , В	$I_m$ , А	Размеры, мм	Вес, кг	Цена, руб.
ФСМ-30М	30	14,3	22,6	17,6	1,71	156x31	2,7	2830
ФСМ-100FS	100	17,6	21,7	17,7	5,7	1060x540x3	2	10560
ФСМ-150FS	150	17,6	30,6	25,52	5,97	1460x540x2,5	2,4	12980
ФСМ-200FS	200	17,6	47,3	36,3	5,56	1435x796x42	4	17300
ФСМ-250М	250	15,7	31,1	25,2	8,81	1640x992x45	15	9800
ФСМ-300М	270	16,6	38,3	31,4	8,6	1640x992x45	18,3	10550
ФСМ-400М	400	19	48,18	42,64	9,38	1956x992x40	20,8	15490

Где:

$U_{xx}$  - напряжение холостого хода;

$U_m$  - напряжение при максимальной мощности;

$I_m$  - ток при напряжении максимальной мощности;

Из приведенной выше продукции наиболее дешевыми (в сравнении цены за ватт номинальной мощности) являются батареи компании «Энергосоюз». КПД монокристаллических солнечных батарей данной компании доходит до 22 %. Группа компаний «Хевел» — единственный в России производитель, выпускающий как ячейки и модули солнечных батарей, так и промышленные солнечные электростанции. Они эффективно работают в пасмурную погоду, а также при температурах от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ . Средний КПД модулей Хевел составляет 23,5% — то есть почти четверть попадающего на ячейку солнечного света превращается в электроэнергию. Это очень высокий показатель: в мире пока не больше пяти компаний, способных производить такие модули. Производители гарантируют сохранение заявленной мощности более чем на 90% от номинальной мощности в течении 10 (компания Энергосоюз) и 15 лет (компания Хевел), сохранение заявленной мощности более чем 80% от номинальной мощности в течении 25 (Энергосоюз) и 30 лет (Хевел). Таким образом по совокупности

характеристик батареи компании Хевел являются более качественными, а модули компании Энергосоюз более дешевы [12].

### **1.5.3 Характеристики аккумуляторных батарей**

Повысить эффективность использования солнечных элементов в автономных системах электроснабжения возможно за счет использования накопителей энергии в виде аккумуляторов.

Электрический аккумулятор – химический источник тока многократного действия (вторичный химический источник тока), основная специфика которого заключается в обратимости внутренних химических процессов, что обеспечивает его многократное циклическое использование (через заряд-разряд) для накопления энергии и автономного электропитания различных электротехнических устройств и оборудования [3].

Химическими источниками тока называются устройства, в которых химическая энергия при разряде за счет окислительно-восстановительных процессов превращается в электрическую [1].

Разные типы аккумуляторов имеют не только различную стоимость, но и отличаются по основным параметрам: количеству циклов перезарядки, максимальному сроку хранения, отдаваемой емкости, внутреннему сопротивлению, размерам, объему электролита, температурному диапазону работы, возможностям ускоренной зарядки. Разрядные характеристики аккумуляторных батарей зависят от величины тока разряда. Срок службы аккумуляторов также зависит от эксплуатационных особенностей, частоты и глубины заряда-разряда, величин зарядного и разрядного тока.

При проектировании системы автономного электроснабжения на базе возобновляемых источников энергии, рассмотрим литиевые аккумуляторные батареи.

#### **1.5.4 Типы инверторов, технические характеристики**

В энергетике весьма часто возникает необходимость преобразования одних величин в другие потому, что электрическую энергию производят источники переменного или постоянного тока. Для них создаются соответствующие потребители: электродвигатели, трансформаторные устройства, бытовые приборы.

Во многих отраслях деятельности, как и в альтернативной энергетике, возникает необходимость эксплуатации потребителей от комбинированных источников. Аккумуляторные батареи заряжают, а радиотехнические приборы, компьютерные устройства питают постоянным током или выпрямленным от генераторов электроэнергии с вращающимся электромагнитным полем.

Обратную задачу работы электродвигателей синусоидальных гармоник бытовых электроприемников от источников постоянного тока решают преобразованием электроэнергии в переменную с помощью специально разработанных сложных электрических конструкций, которые называют инверторами.

#### **Назначение и задачи инвертора**

По способу подключения к солнечной станции, потребителям и аккумуляторам инверторы подразделяются на:

- Сетевые,
- Автономные,
- Гибридные.

Сетевые модели с обозначением “on grid” работают от солнечной электростанции на нагрузки общественной электрической сети. Они больше всего используются в системах с мощностями, превышающими 10 кВт, характерны для применения в странах Европы. В условиях России положения «Зеленого тарифа» не дают право частным лицам на использование этого метода.

Автономные инверторы обозначают “off grid”. Их подключают к

домашним бытовым потребителям, а запитывают от аккумуляторных батарей, подзаряжаемых солнечными модулями через контроллеры.

Гибридные конструкции используют оба метода подключения. Они хорошо сочетаются со схемами источников бесперебойного питания, могут посредством автоматики контроллера работать от аккумуляторной батареи и/или солнечного модуля при необходимости.

### Принципы работы инвертора

Во время эксплуатации небольшая часть приложенной энергии теряется на нагрев элементов схемы и побочные процессы. Поэтому выходная мощность всегда ниже затраченной. Эффективность хорошей конструкции определяется КПД с величиной 90 - 95%.

Инвертор принято считать генератором периодического напряжения, которое по форме очень близко к синусоидальным гармоникам или значительно отличается от него формой выходного сигнала.

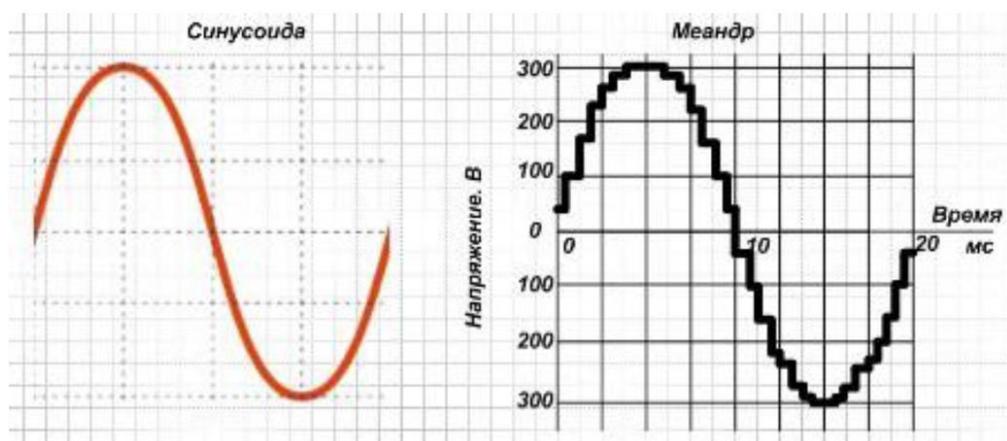


Рисунок 1.5.8 - Графики синусоидального колебания и его аналога, вырабатываемого инвертором

На графике представлены принципиальные виды синусоиды и близкого к ее виду напряжения на выходе инвертора, которое принято называть «Меандр». В зависимости от сложности конструкции с возможностями реализации ею различных функций форма меандра может быть еще больше приближена к характеристикам синуса или заглублена, напоминая на каждой полуволне своим видом обыкновенные трапеции или даже прямоугольники.

Для домашних солнечных электростанций в России наибольшим спросом пользуются схемы, создающие одну фазу переменного напряжения с величиной 220 вольт.

Для преобразования постоянного тока инвертор может работать по трансформаторной схеме или без нее. Наличие трансформатора значительно утяжеляет конструкцию, но позволяет создавать высококачественный выходной сигнал.

Система охлаждения устройства может использовать принудительно работающий вентилятор. В дорогих конструкциях уделяется внимание:

- бесшумности,
- использованию нескольких режимов работы, зависящих от нагрузки (особенно при перегреве).

Выпускаемые промышленностью инверторы могут из однофазных систем объединяться в трехфазные устройства повышенной мощности. Они способны выполнять различные задачи вплоть до передачи излишек вырабатываемой электроэнергии в промышленную сеть [14].

### **Основные правила выбора инвертора**

Бытовые приборы постоянного тока и аккумуляторы эксплуатируют стандартные значения напряжений 12/24/36/48 вольт в зависимости от своей конструкции. Производители инверторов под каждый указанный вид напряжения выпускают свое оборудование. Это следует анализировать при выборе модели.

При эксплуатации инвертора следует учитывать:

- Пиковую мощность энергопотребления,
- Четыре фазы работы: пусковой режим, стадию длительного преобразования электроэнергии при номинальной мощности, холостой ход, перегрузки.

Пиковая мощность потребителей измеряется за определенный момент времени при создании критических нагрузок, может значительно превышать номинальные величины стандартной сети  $\sim 220\text{V}/50\text{Hz}$ .

В пусковом режиме инверторы способны отдавать завышенные мощности в течение короткого времени запуска электродвигателей (несколько миллисекунд) и ввода в работу емкостных нагрузок. Такой режим характерно проявляется при включении холодильников, стиральных и посудомоечных машин.

Режим длительной работы должен соответствовать номинальным характеристикам выбираемой конструкции.

Потребляемая мощность устройства без нагрузки на выходе не должна превышать 1% номинальной у качественных моделей.

При фазе перегрузки отдельные виды инверторов могут надежно передавать мощности, превышающие до 50% номинального значения в течение получаса. Но эта способность у каждой модели прибора выполнена по-разному.

Определить величину идеальной нагрузки весьма проблематично. Поэтому инверторы подбирают с созданием резерва мощности, обладающего запасом до 20% от расчетных величин.

В разветвленной домашней сети нагрузка может постоянно колебаться в большом диапазоне значений. При таком ее характере рекомендуется приобретать не один мощный инвертор, а рассчитать оптимальное количество ступеней используемых мощностей для приобретения нескольких моделей, поочередно коммутируемых схемой автоматики для экономичного, оптимального использования ресурса оборудования.

Наличие встроенных защит характеризует качество инвертора, который должен выводиться из работы при:

- Отклонении питающего напряжения по верхнему и нижнему уровню;
- Возникновении коротких замыканий в выходной цепи;
- Перегрузках по току и температуре.

В случаях снижения нагрузки до минимальных величин схема

автоматики может переводить инвертор в режим ожидания. Но эта функция присуща не всем моделям [14].

### **1.5.5 Типы контроллеров заряда, технические характеристики**

Контроллеры заряда аккумуляторов от солнечных батарей предназначены для оптимизации режима заряда/разряда аккумуляторных батарей. В фотоэлектрической системе контроллер заряда находится между солнечной панелью и аккумулятором. Основная функция контроллера – нормировать напряжение, которое вырабатывается панелями, к напряжению, которое необходимо, чтобы заряжать аккумуляторы. Контроллер отключает солнечные панели от аккумуляторов при их полной зарядке, чтобы избежать перезаряда.

#### **Основные функции контроллера заряда:**

- Регулирование процессов заряда и разряда аккумуляторов;
- Предотвращение перезаряда аккумуляторов;
- Предотвращение глубокого разряда аккумуляторов;
- Отключение/включение нагрузки, если нагрузка подключена через контроллер;
- Не допускает обратного тока в ночное время.

#### **Виды контроллеров заряда аккумуляторов от солнечных батарей**

В фотоэлектрических системах используют в основном контроллеры двух типов технологии:

- ШИМ (PWM) - широтно-импульсная модуляция (Pulse-width modulation);
- МРРТ - поиск точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking).

**1.** Контроллер с ШИМ - это последовательный контроллер и он отключает зарядку не закорачивая солнечные модули. Его алгоритм работы позволяет достигать 100% уровень зарядки аккумулятора.

ШИМ - контроллеры обычно используются в системах малой

мощности - до 2 кВт, где требуется зарядка аккумуляторов относительно небольшой емкости и количество установленных модулей не превышает 10 шт. Контроллер с широтно-импульсной модуляцией позволяет заряжать аккумулятор от солнечных батарей на 20%-30% эффективнее, чем более простой on-off контроллер.

2. Контроллер MPPT работает по технологии управления максимальными пиками энергии. Это технология позволяет заряжать АКБ с более низким номинальным напряжением, чем номинальное напряжение солнечной батареи. Т.е. появляется возможность зарядки аккумулятора с номинальным напряжением 12В от солнечной батареи, которая имеет номинальное напряжение 24В или 48В. Это осуществляется благодаря отслеживанию точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking) и преобразованию высокого напряжения солнечной батареи в более низкое, но с большей силой тока. Мощность источника при данном преобразовании не изменяется. КПД MPPT контроллера около 94-98%.

Их целесообразно использовать в фотоэлектрических системах, где несколько солнечных панелей подключены последовательно и их суммарное напряжение превышает суммарное напряжение аккумулятора. Так, несколько последовательно соединенных модулей подключаются к контроллеру MPPT и чем выше общее напряжение модулей, тем при более низкой освещенности продолжается заряд аккумулятора.

В зависимости от модели, MPPT контроллеры могут принимать напряжение до 240В и силу тока до 80 ампер. Это позволяет подключать на один контроллер солнечные модули суммарной мощностью до 4000Вт при напряжении 48В.

Также MPPT контроллеры имеют более расширенные функциональные возможности. Это может быть:

- Автоматический выбор системного напряжения (12В, 24В, 48В);
- Более широкие настройки для заряда аккумуляторов;
- Наличие счетчиков энергии, которая получена солнечными

модулями в течении суток или месяца;

- Возможность при помощи дополнительного оборудования или самостоятельно передавать основные параметры системы в Интернет или на мобильный телефон пользователя;

- Встроенные реле времени, которые позволяют включать ночное освещение (при этом солнечная панель используется контроллером в роли «оценщика времени суток»);

- Возможность заряжать два независимых аккумулятора;

- Возможность утилизации излишка энергии на подогрев воды;

MPPT контроллеры имеют большое количество степеней защиты (от короткого замыкания, от перегрева, от неверной полярности подключения, от перенапряжения на входе, от обратного тока в ночное время и т.п.).

Контроллеры подбираются индивидуально к каждой фотоэлектрической системе с учетом множества факторов. Если же в будущем планируется добавление в систему солнечных модулей, то лучше использовать контроллер, рассчитанный на более мощную систему, чтобы в последствии его не заменять. Если же мощности контроллера не достаточно, чтобы оптимально обслуживать всю фотоэлектрическую систему, то можно использовать несколько контроллеров.

### **Вывод по 1 главе**

На основании анализа оборудования и погодных условий для решения поставленной задачи электроснабжения электромотора, целесообразно использовать следующую структурную схему и элементы системы автономного электроснабжения:

1. Солнечный модуль;
2. Контроллер;
3. АКБ;
4. Инвертор
5. Электромотор;

## 2. ТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

### 2.1. Оценка солнечного энергетического потенциала при переменных координатах

Потенциальные возможности прихода солнечной радиации, определяются географической широтой места. Климатические характеристики района, косвенно характеризующиеся продолжительностью солнечного сияния, вносят существенные коррективы в возможность эффективного использования энергии солнца.

Таблица 2.1.1 - Среднедневные и среднемесячные суммы солнечной радиации для горизонтальной площадки

	Сумма солнечной радиации, кВт*ч/м <sup>2</sup>											
	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Ср.мес	10,85	31,32	73,1	119,4	169,3	172,8	173,9	133,6	78	38,13	15	6,2
Ср.днев	0,35	1,08	2,36	3,98	5,46	5,76	5,61	4,31	2,6	1,23	0,5	0,2

Таблица 2.1.2 – Инсоляция в период с 2012-2017г для горизонтальной площадки

Месяц	λ, кВт*ч/м <sup>2</sup> в месяц					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Январь	11,12	10,03	10,21	10,48	11,69	10,92
Февраль	33,68	33,84	34,12	32,17	30,49	31,52
Март	75,95	71,82	72,49	77,08	73,26	70,23
Апрель	122,9	117,4	120,8	119,6	111,2	115,4
Май	148,32	170,02	182,2	159,4	165,26	163,21
Июнь	155,16	172,35	176,9	164,6	172,3	165,1
Июль	155,58	173,55	177,47	165,69	173,54	167,75
Август	127,54	141,82	133,53	130,1	135,59	127,64
Сентябрь	79,1	81,3	80,4	76,9	74,2	75,1
Октябрь	39,52	37,24	38,17	38,79	37,07	39,14
Ноябрь	14,6	14,3	16,5	15,9	15,3	15,7
Декабрь	6,4	6,08	6,37	6,91	6,32	6,56

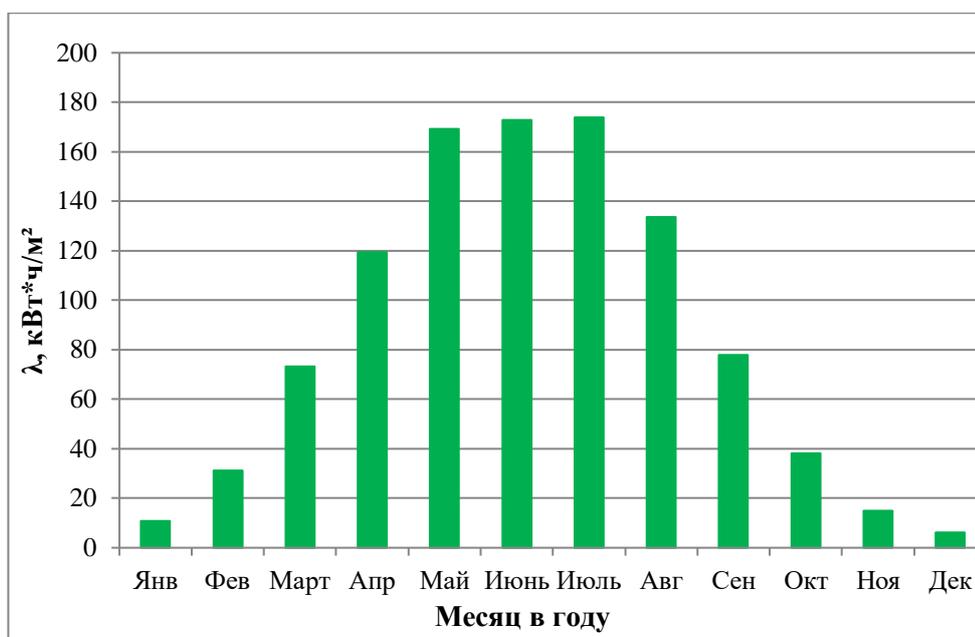


Рисунок 2.1.1 – Среднемесячные суммы солнечной инсоляции

В таблице 2.1.3 приведены усредненные данные о восходе и заходе солнца, на основе которых вычислена продолжительность светового дня.

Таблица 2.1.3 – Продолжительность светового дня

Сезон	Восход	Закат	Длительность
Зима	09:37:00	16:26:00	06:49:00
Весна	06:26:00	19:42:00	13:16:00
Лето	04:04:00	22:00:00	17:56:00
Осень	07:07:00	18:34:00	11:27:00

В качестве примера произведем расчет для зимы.

Для построения графика значения солнечной энергии в зависимости от времени суток воспользуемся следующим алгоритмом.

В качестве примера произведем расчет для зимы. Для каждого часа в сутках отметим наличие или отсутствие солнца, начиная с часа восхода по час заката (таблица 2.1.3). Далее подсчитываем количество часов с солнцем, в данном случае  $N=6,83$ .

Строить график будем в виде синусоиды, в диапазоне углов от 0 до

180 (восход = 0, закат = 180), поэтому для каждого часа солнечной активности назначим угол, в соответствии с количеством часов продолжительности дня.

Разбиваем 6,83 часовой интервал на равные промежутки и получаем, что за час угол изменяется на 26,35 градусов. Учитывая, что в час восхода и в час заката, также производится выработка электроэнергии, изменим значения угла вручную, чтобы выработка в эти часы не равнялась 0. Также учтём, что с 9:37 до 10:00 угол изменится на 10,1°, так как солнце будет светить только 23 минуты от часа.

Определяем мощность, которую можно получить с 1 м<sup>2</sup> за 1 час, столбец 4:

$$P' = \frac{\lambda}{24} \cdot \sin \varphi_i.$$

Просуммировав полученные значения мощности, заметим, что получившееся значение отличается от величины суточной инсоляции на квадратном метре. Следовательно, необходимо найти поправочный коэффициент:

$$K_{II} = \frac{\lambda}{\sum P'_i} = \frac{0,543}{0,099969} = 5,431.$$

Для остальных сезонов расчёт аналогичен.

На рисунке 2.1.2 приведены суточные графики вырабатываемой активной мощности с квадратного метра под действием солнечного излучения для каждого из сезонов. В таблице 2.1.5 отражены численные значения этих мощностей.

Таблица 2.1.4 – Построение графика энергии солнца, для зимнего сезона

1	2	3	4	5	6
<i>T</i>	<i>flag</i>	$\phi$	<i>P'</i>	<i>P</i> , кВт/м <sup>2</sup>	<i>W</i> , кВт·ч/м <sup>2</sup>
00:00:00	0	0	0	0	0

01:00:00	0	0	0	0	0
02:00:00	0	0	0	0	0
03:00:00	0	0	0	0	0
04:00:00	0	0	0	0	0
05:00:00	0	0	0	0	0
06:00:00	0	0	0	0	0
07:00:00	0	0	0	0	0
08:00:00	0	0	0	0	0
09:00:00	1	1	0,000395	0,002145	0,002145
10:00:00	1	10,1	0,003968	0,021551	0,021551
11:00:00	1	36,45	0,013442	0,073013	0,073013
12:00:00	1	62,8	0,020123	0,109302	0,109302
13:00:00	1	89,15	0,022623	0,122879	0,122879
14:00:00	1	115,5	0,020421	0,110921	0,110921
15:00:00	1	141,85	0,013976	0,075913	0,075913
16:00:00	1	168,2	0,004627	0,025131	0,025131
17:00:00	1	179	0,000395	0,002145	0,002145
18:00:00	0	0	0	0	0
19:00:00	0	0	0	0	0
20:00:00	0	0	0	0	0
21:00:00	0	0	0	0	0
22:00:00	0	0	0	0	0
23:00:00	0	0	0	0	0
Итого	-	-	0,099969	0,543	0,543

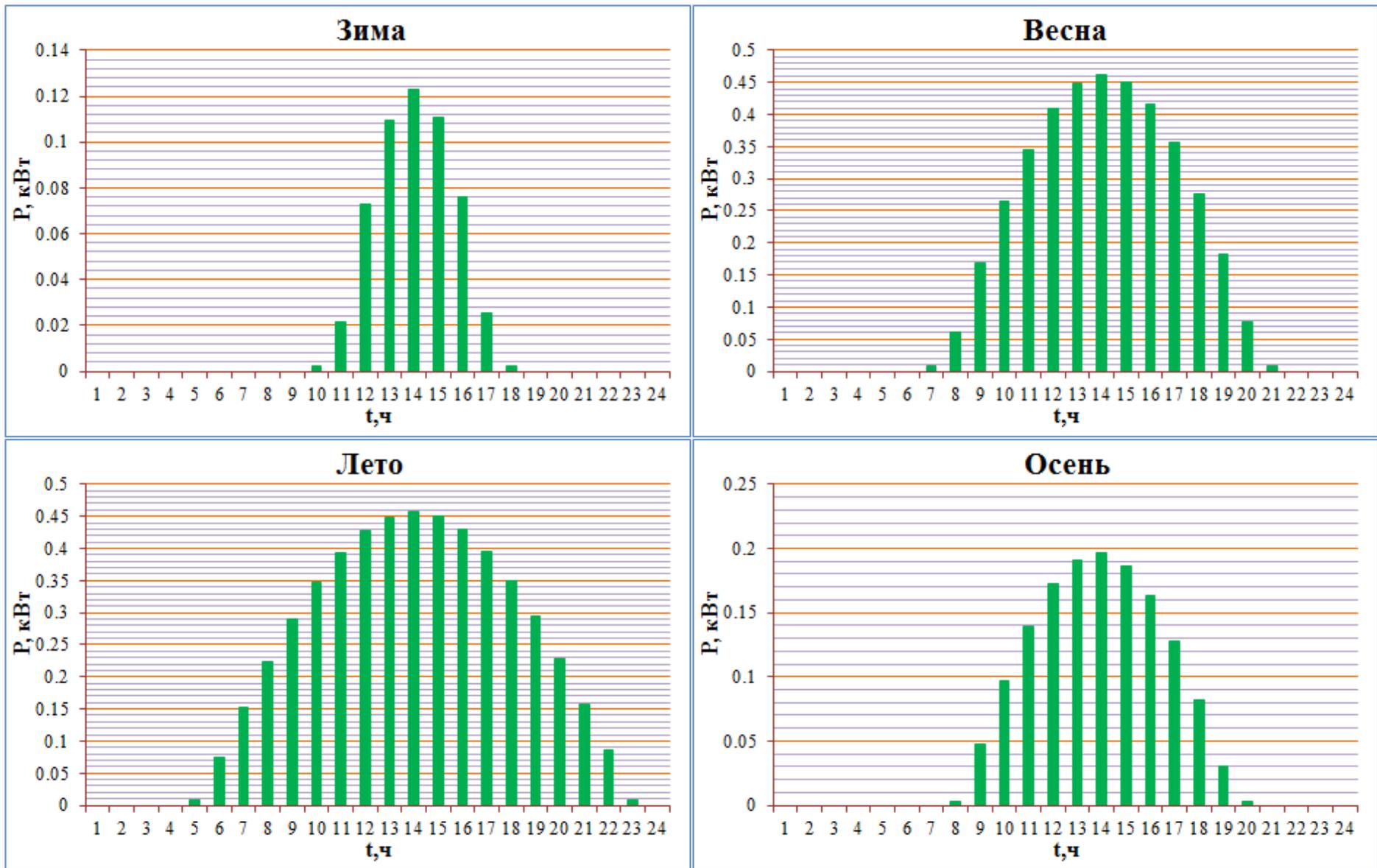


Рисунок 2.1.2 – Сезонные графики вырабатываемой активной мощности за счет солнечной энергии с  $1 \text{ м}^2$

Таблица 2.1.5 - Суточные графики активных нагрузок и вырабатываемой мощности с 1 квадратного метра за счет энергии солнца

t, ч	Зима	Весна	Лето	Осень
	Pз	Pв	Pл	Pо
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0,007961	0
5	0	0	0,07427	0
6	0	0,008069	0,1516	0
7	0	0,06195	0,224287	0,00343
8	0	0,167653	0,290105	0,047149
9	0,002145	0,264009	0,346985	0,097082
10	0,021551	0,345647	0,3933	0,139752
11	0,073013	0,408015	0,427569	0,171969
12	0,109302	0,447635	0,448743	0,191321
13	0,122879	0,462292	0,456173	0,196361
14	0,110921	0,451228	0,449631	0,186712
15	0,075913	0,41493	0,429319	0,163096
16	0,025131	0,355535	0,395857	0,12728
17	0,002145	0,27632	0,350272	0,081943
18	0	0,181699	0,293958	0,030475
19	0	0,076949	0,228641	0,00343
20	0	0,008069	0,156322	0
21	0	0	0,087043	0
22	0	0	0,007961	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
<b>Итого:</b>	<b>0,543</b>	<b>3,93</b>	<b>5,22</b>	<b>1,44</b>

## 2.2. Характеристики объекта электроснабжения

В качестве маломерного судна выберем катер российского судостроительного завода «Вымпел» Vumpel 7000 [15].

Таблица 2.2.1 - Технические характеристики водного судна

Длина катера	6,7 м
Ширина катера	2,54 м
Длина по ватерлинии	5,3 м
Высота борта на миделе	1,05 м
Осадка корпусом	0,9 м
Масса с оборудованием и снаряжением	1645 кг
Грузоподъемность	1000 кг
Пассажировместимость	8 чел.
Стандартная мощность двигателя	85 л.с.
Материал корпуса	Стеклопластик
Максимальная скорость	45 км/ч
Круизная скорость	30 км/ч
Мореходность (высота волны)	2,0 м



Рисунок 2.2.1 – Внешний вид водного судна  
В качестве электромотора на выбранное водное маломерное судно

выберем подвесной асинхронный двигатель A20e компании Aquamot [16].



Рисунок 2.2.2 – Внешний вид электромотора

Таблица 2.2.2 – Технические характеристики электромотора

Тип	подвесной
Источник питания	электрический
Технология	бесщёточный
Место установки	Между килем и рулем судна
Входная мощность, Вт	2200
Тяга, Lbs	124
Мощность тяги в ваттах	2000
Вес, кг	27
Напряжение (Вольт)	24
Максимальная скорость гребного винта, об/мин	1600
Датчик заряда батареи	да
Защита от перегрева	да
Защита от низкого напряжения	да
Защита от сваливания	да
Защита от обратного подключения	да
Максимальная сила тока, А	87
Ток, AC\DC	AC

Вес лодки до, кг	3000
------------------	------

### 2.3. Расчет электрических нагрузок

Задачей, для проектируемой солнечной электростанции, состоит в том, чтобы обеспечить бесперебойное электроснабжение электромотора маломерного судна.

В таблице 2.3.1 представлены номинальная мощность нашего электромотора.

Таблица 2.3.1 – Мощности потребления

Потребитель	Рном, кВт	Примечания
Электродвигатель	2,2	Таблица 2.2.2

Так как наш объект электроснабжения имеет специфический характер и может использоваться только весной, летом и осенью, в периоды благоприятных температур, то для дальнейшего расчета зимний период учитывать не будем.

Для составления баланса электроэнергии в автономной системе электроснабжения с солнечными панелями необходим помесечный график электропотребления нашего судна. За время работы двигателя были взяты 4 часа в сутки.

В таблице 2.3.2 представлено помесечное электропотребление нашего объект, а также на рисунке 2.3.1 изображен график потребляемой мощности за каждый месяц.

Таблица 2.3.2 – Потребление по месяцам

Месяц	W, кВт*ч
Март	272,8
Апрель	264
Май	272,8
Июнь	264
Июль	272,8
Август	272,8
Сентябрь	264
Октябрь	272,8

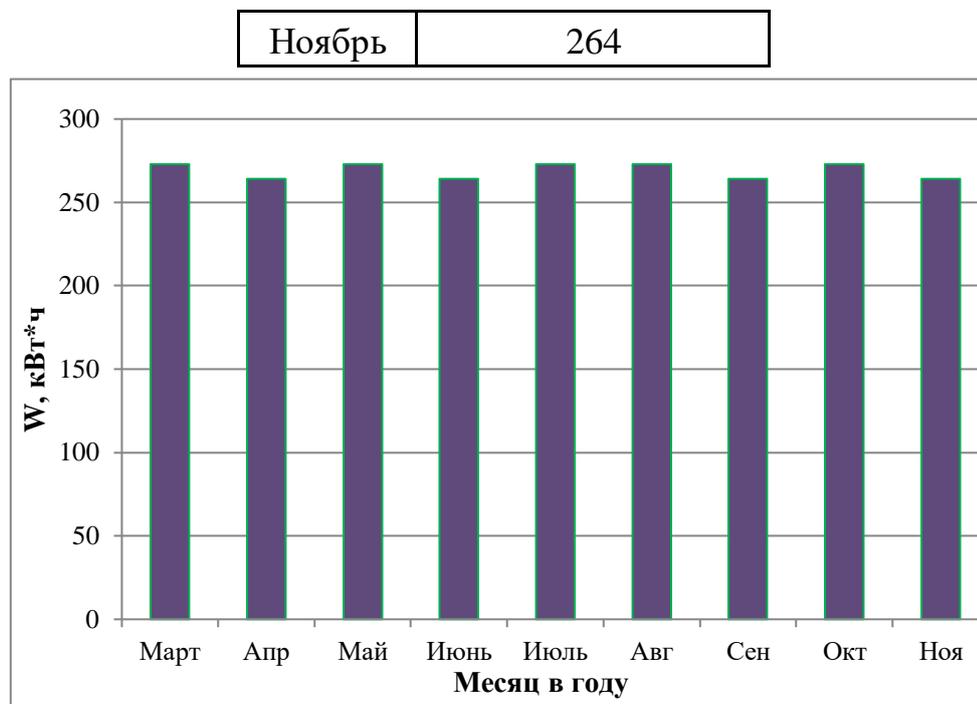


Рисунок 2.3.1 – Потребляемая энергия по месяцам

За время работы двигателя были взяты 4 часа в сутки, из чего получается, что потребление по месяцам отличается только количеством дней в них. Балансы электроэнергии включают энергию генерируемую фотоэлектростанцией и потребленную проектируемым объектом.

## 2.4. Выбор оборудования солнечной электростанции

### 2.4.1 Выбор солнечных модулей

Из пункта 2.1 был проанализирован потенциал солнечной энергии на территории Ленинградской области. Было установлено что на 1 м<sup>2</sup> в зависимости от времени года падает от 0,2 до 5,76 кВт\*ч солнечной энергии.

В качестве солнечных модулей выберем Sunways ФСМ-400М. Технические характеристики солнечного модуля приведены в Приложении Б [13].

Рассчитаем количество вырабатываемой энергии одним солнечным модулем в течении года по отдельным месяцам, таблица 2.4.1, по полученной таблице построим график вырабатываемой мощности, рисунок 2.4.1.

Расчет будет производиться по формуле:

$$W_m = S_m \cdot E \cdot k \cdot \eta,$$

где  $S_m$  – площадь солнечного модуля, м<sup>2</sup>;

$E$  – значение инсоляции за выбранный период, кВт·ч/м<sup>2</sup>;

$\eta$  – КПД солнечного модуля;

$k$  – коэффициент, учитывающий поправку на потери мощности солнечных элементов при нагреве на солнце, а также наклонное падение лучей на поверхность модулей в течении года. Величина  $k$  принимается равной 0,5 летом и 0,7 в зимний период. Разница в его значении летом и зимой обусловлена меньшим нагревом элементов в зимний период.

Расчет будет производиться для месяцев с апреля по август включительно, в связи с фактом достаточно холодных погодных условий для прогулок на водном судне в остальные месяцы периода весна-осень и достаточно малым солнечным потенциалом для обеспечения бесперебойного электропитания электромотора.

Пример расчета для апреля:

$$W_m = S_m \cdot E \cdot k \cdot \eta = 1,94 \cdot 119,4 \cdot 0,6 \cdot 0,19 = 26,407 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Таблица 2.4.1 – Баланс мощности

Месяц	Солнечная радиация (кВт×ч/м <sup>2</sup> ) (месяц)	Потр. Э.Э. мал.судна $W_{\text{треб}}$ (кВт×ч)	Э.Э. солнечного модуля (1) $W_{\text{мод}}$ (кВт·ч)	Э.Э. солнечных модулей (12) $W_{\text{мод}}$ (кВт·ч)	Баланс Э.Э - $W_{\text{б}}$ (кВт·ч)
Март	73,16	272,8	16,18	194,16	-78,639
Апрель	119,4	264	26,407	316,878	52,878
Май	169,3	272,8	31,202	374,424	101,624
Июнь	172,8	264	31,847	382,164	118,164
Июль	173,9	272,8	32,049	384,597	111,797
Август	133,6	272,8	29,546	354,563	81,763
Сентябрь	78	264	17,25	207,005	-56,994

Составим график вырабатываемой мощности одной солнечной панели

рисунок 2.4.1 и график баланса мощностей при использовании всех солнечных модулей, рисунок 2.4.2.

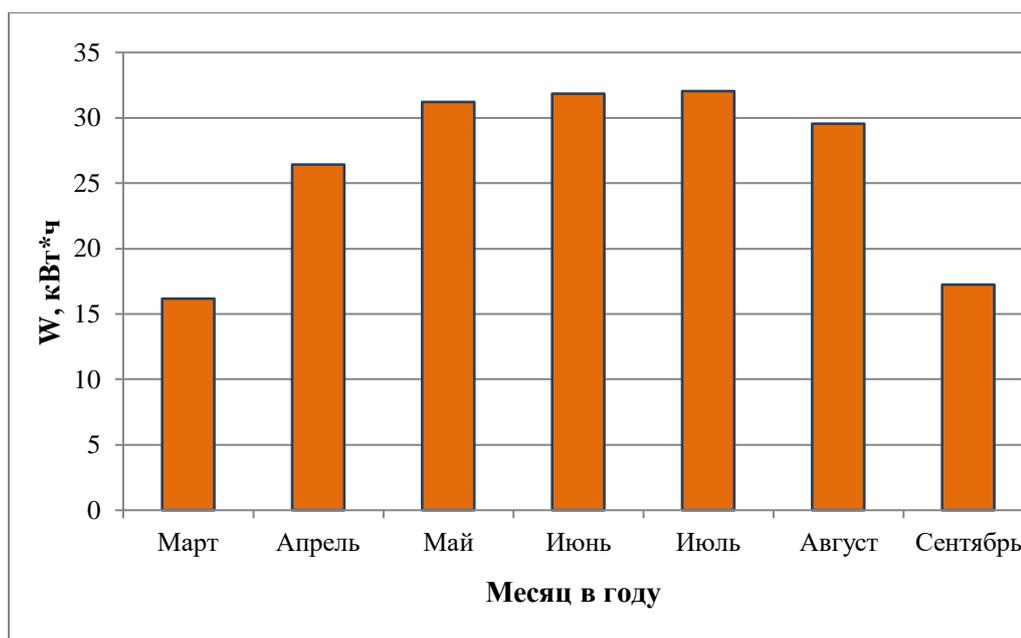


Рисунок 2.4.1 – График вырабатываемой мощности одного солнечного модуля

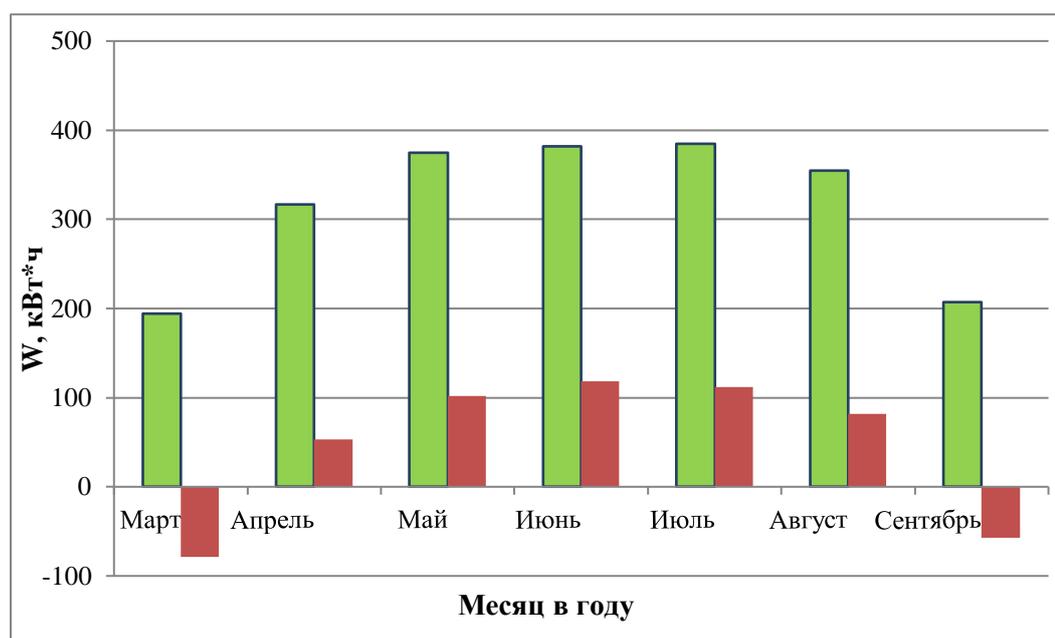


Рисунок 2.4.2 – Годовой баланс мощностей при использовании солнечных модулей

По приведённому графику энергетического баланса можно сделать вывод что работы 12 солнечных панелей достаточно для работы основного потребителя, который планируется использоваться как основной двигатель, который так же имеет возможность подзарядить аккумуляторную батарею.

Наиболее благоприятными месяцами, для использования солнечных модулей являются июнь, так как он характеризуется наивысшим значением суммарной солнечной радиации. В сентябре, использование нашего судна нецелесообразно, т.к. выработка мощности становится недостаточна.

#### 2.4.2 Выбор аккумуляторных батарей и контроллера

Произведем расчет необходимой емкости накопителей для покрытия суточной потребности в электроэнергии. Напряжение батарей аккумуляторов принято равным  $U_{акб}=24$  В, глубина разряда, с целью продления срока службы аккумуляторов, принята равной 90%. Тогда, требуемая емкость накопителей ( $E_{треб}$ ):

$$E_{треб} = \frac{W_{сут}}{U_{акб} \cdot k} = \frac{2200 \cdot 4}{24 \cdot 0,9} = 407,4 \text{ А} \cdot \text{ч}$$

Зная требуемую емкость и емкость одного аккумулятора, можно найти необходимое количество накопителей:

$$N = \frac{E_{треб}}{E_{ячейки}} = \frac{407,4}{104} = 3,91$$

Согласно с расчетом выбираем аккумулятор YPB 24V104 компании Titanat [14].

Технические характеристики аккумулятора приведены в Приложении В.

Устанавливаем 4 АКБ. Емкость выбранного числа АКБ составит  $E=416$  А\*ч,  $U=24$  В.

Определим необходимую мощность для полного заряда аккумуляторов при разряде на 90% по формуле:

$$W = \frac{0,9 \cdot E_{треб} \cdot U_{акб}}{1000},$$

Пример расчета:

$$W = \frac{0,9 \cdot E_{треб} \cdot U_{акб}}{1000} = \frac{0,9 \cdot 416 \cdot 24}{1000} = 8,986 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Таблица 2.4.2 – Заряд аккумуляторной батареи от солнечных модулей

Месяц	Среднедневная солнечная инсоляция, кВт·ч/м <sup>2</sup>	Мощность солнечной системы, кВт·ч	Необходимый заряд аккумулятора, кВт·ч
Апрель	3,98	10,562	8,986
Май	5,46	12,075	
Июнь	5,76	12,738	
Июль	5,61	12,407	
Август	4,31	11,438	

По данным таблицы 2.4.2 видно, что вырабатываемой электроэнергии от солнечной системы с избытком достаточно для полного заряда аккумуляторной батареи, что подтверждает автономность спроектированной системы питания.

Ссылаясь на выбранную схему построения системы электроснабжения, необходимо произвести выбор оборудования для этой системы, в частности, подобрать инвертор.

Выбранный инвертор должен обеспечить необходимую выходную мощность, форму вырабатываемого тока, частоту, обеспечивать параллельную работу генераторов электрической энергии на нагрузку и на заряд аккумуляторов. Также он должен иметь входы постоянного тока, контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей, выпрямитель. Все оборудование внутри шкафа должно быть согласовано между собой. Суммарная потребляемая мощность в течение дня составляет 12,8 кВт. Мощность потребляемая инвертором за час не будет превышать мощность 3840 Вт, это мощность вырабатываемая солнечными панелями при солнечной инсоляции 800 Вт\*ч/м<sup>2</sup>, которой в данном районе никогда не было. После анализа рынка, как наиболее оптимальный вариант, было выбрано 2 инвертора ИС1-24-2000Р DC-AC фирмы СибКонтакт с суммарной мощностью 4 кВт. Характеристики инвертора представлены в приложении Г [18].

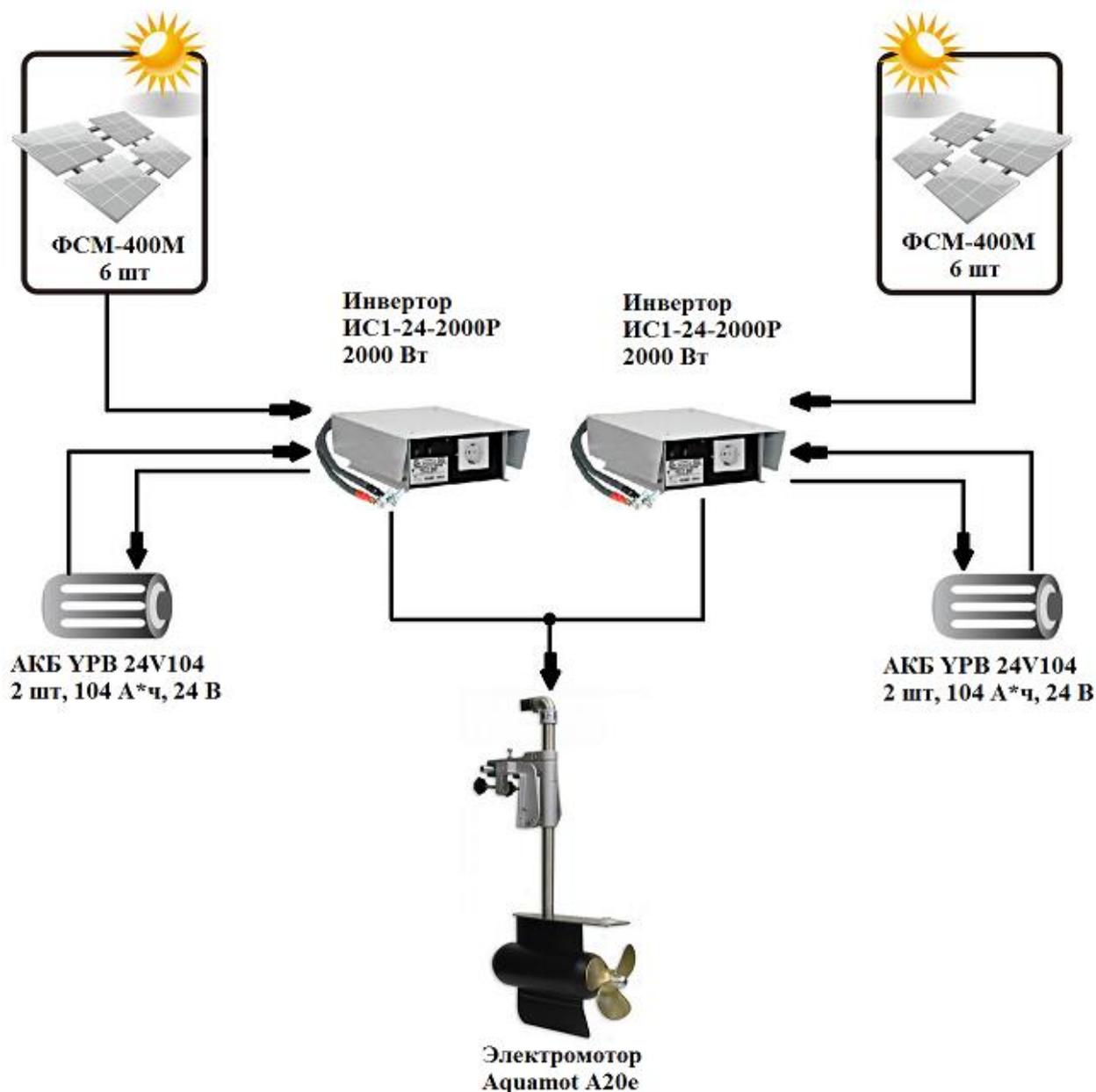


Рисунок 2.4.3 – Структурная схема системы питания электромотора от солнечных модулей

Солнечная установка подключается к аккумуляторным батареям через инверторы-контроллеры заряда-разряда, которые выполняет функцию регулирования и индикации процессов заряда и разряда, предотвращая перезаряд и глубокий разряд. Так как выходная энергия фотоэлектрических модулей выдается на постоянном токе и напряжении, для приведения её к стандартным параметрам в составе системы установлен инвертор, который преобразует энергию в переменный ток и потребитель получает полноценное напряжение 220 В на частоте 50 Гц. В качестве провода по току и мощности

выбран кабель КГСНРТЭ 1х25, который выдерживает ток до 85 А, мощность до 18,7 кВт.

### **Вывод по 2 главе**

По результатам проведённых расчётов следует, что электромотор обеспечен запасом хода за счёт аккумулятора с возможностью постоянного подзаряда от солнечных модулей. И обладает достаточной тяговой силой не меньшей чем у основного мотора, а также запасом хода порядка 4-5 часов на максимальной скорости.

Если попытаться рассчитать окупаемость солнечных батарей в данном регионе для применения в качестве стационарной электростанции, то окажется, что она себя не окупит, но в нашем случае период в течение которого есть необходимость применения объекта исследования (судна) совпадает с периодом наибольшей инсоляции, а в те семь месяцев, что станция вырабатывает мало энергии данный вид транспорта не используется.

Расчёты были приведены для Ленинградской области и показали положительный результат, отсюда следует, что для остальных районов, где солнечная инсоляция выше данный вид электроснабжения маломерных речных судов тоже применим.



Введем параметры соответствующие используемым в работе солнечным модулям и увидим выходное значение, при значении инсоляции в 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Параметры блока солнечной батареи представлены ниже на рисунке 3.1.2.

Block Parameters: PV Array

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series. Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module: **User-defined**

Maximum Power (W)  Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V)  Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V)  Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)  Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

Рисунок 3.1.2 – Параметры блока солнечной батареи

Окно настройки параметров блока Diode представлено ниже на рисунке 3.1.3.

Diode (mask) (link)

Implements a diode in parallel with a series RC snubber circuit. In on-state the Diode model has an internal resistance ( $R_{on}$ ) and inductance ( $L_{on}$ ). For most applications the internal inductance should be set to zero. The Diode impedance is infinite in off-state mode.

Parameters

Resistance  $R_{on}$  (Ohms) :

Inductance  $L_{on}$  (H) :

Forward voltage  $V_f$  (V) :

Initial current  $I_c$  (A) :

Snubber resistance  $R_s$  (Ohms) :

Snubber capacitance  $C_s$  (F) :

Show measurement port

Рисунок 3.1.3 – Параметры блока Diode

Окно настройки параметров блоков Ramp и Controlled Voltage Source представлено ниже на рисунке 3.1.4.

<p>Block Parameters: Ramp</p> <p>Ramp (mask) (link)</p> <p>Output a ramp signal starting at the specified time.</p> <p>Parameters</p> <p>Slope:</p> <input type="text" value="48.18/50"/> <p>Start time:</p> <input type="text" value="0"/> <p>Initial output:</p> <input type="text" value="0"/> <p><input checked="" type="checkbox"/> Interpret vector parameters as 1-D</p>	<p>Block Parameters: Controlled Voltage Source</p> <p>Controlled Voltage Source (mask) (link)</p> <p>Converts the Simulink input signal into an equivalent voltage source. The generated voltage is driven by the input signal of the block.</p> <p>You can initialize your circuit with a specific AC or DC voltage. If you want to start the simulation in steady-state, the block input must be connected to a signal starting as a sinusoidal or DC waveform corresponding to the initial values.</p> <p>Parameters</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Initialize</p> <p>Source type: DC</p> <p>Initial amplitude (V):</p> <input type="text" value="0"/> <p>Measurements: None</p>
---	---

Рисунок 3.1.4 – Параметры блоков Ramp и Controlled Voltage Source

Ниже представлен сигнал с блока Ramp, который поступает на

управляемый источник напряжения.

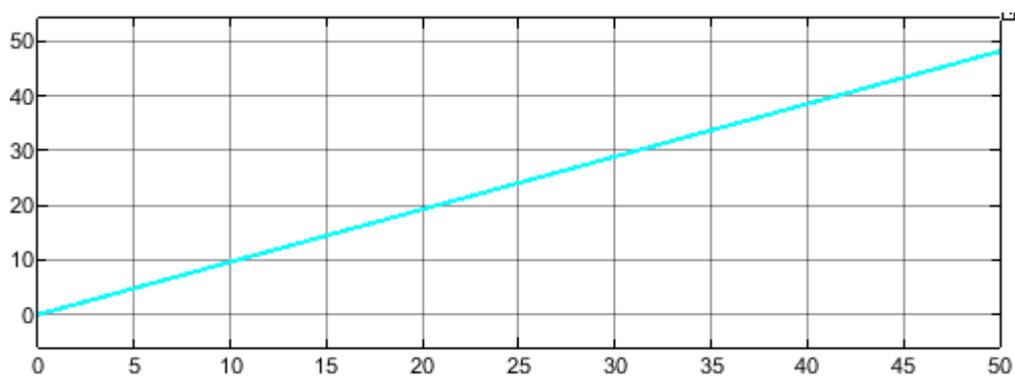


Рисунок 3.1.5 – Сигнал с блока Ramp

Ниже представлен результат моделирования при солнечной инсоляции 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

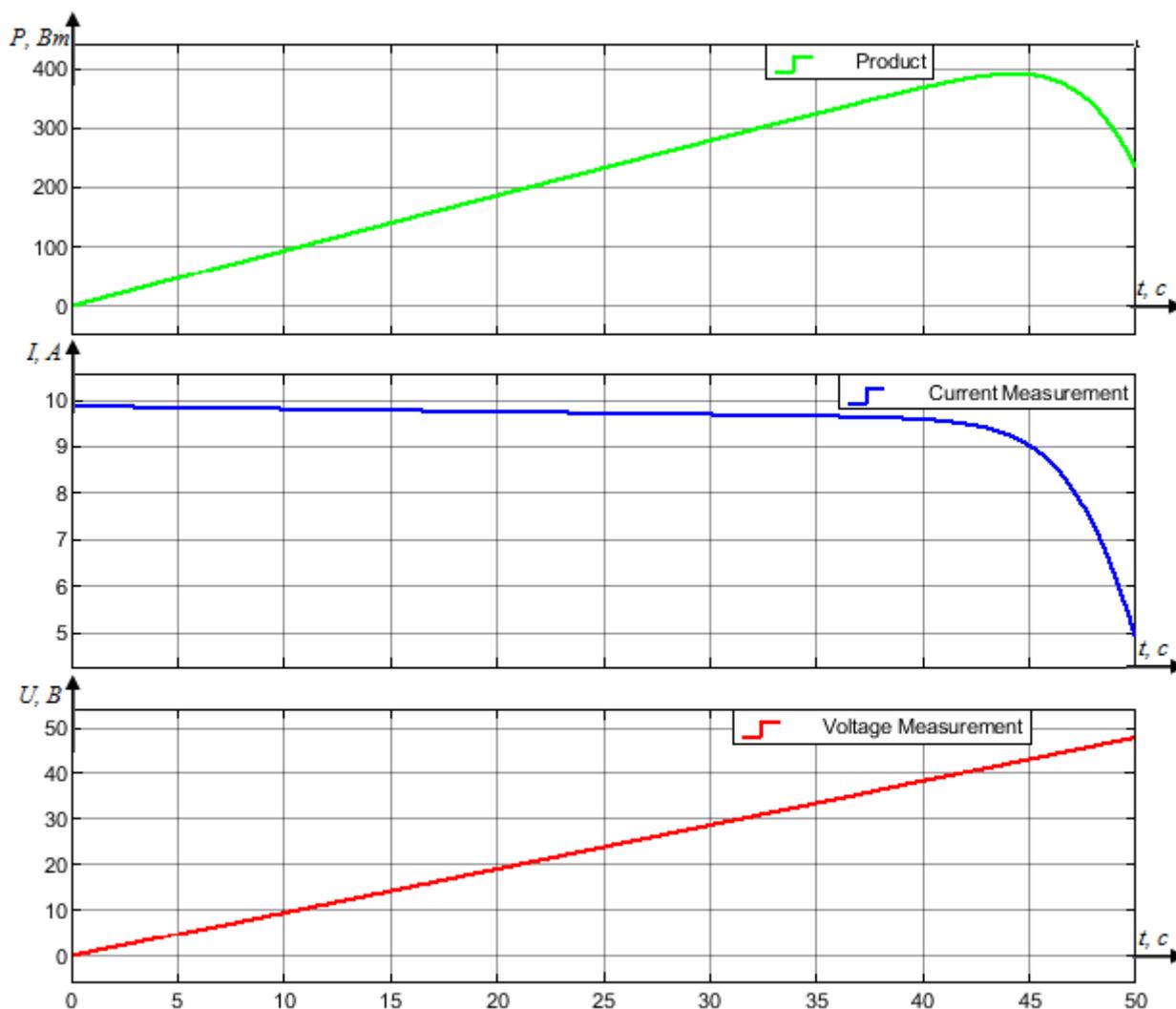


Рисунок 3.1.6 – Мощность вырабатываемая солнечной батареей, ток и напряжение на солнечной батарее при солнечной инсоляции 1000 Вт/м<sup>2</sup>

Напряжение, при котором достигается максимальная мощность,

является рабочим напряжением и обозначается  $U_p$ . Соответственно ток, соответствующий максимальной мощности, является рабочим и обозначается  $I_p$ . В результате симуляции видно, что рабочее напряжение солнечного модуля без нагрузки при симуляции составило 42,6 В, а максимальная мощность около 400 Вт, что соответствует характеристикам заявленных производителем.

Выведем графики вольт-амперной и мощностной характеристики для инсоляции 500, 600, 700, 800, 900 и 1000 Вт/м<sup>2</sup>. Для вывода характеристик было проведено 6 симуляций при инсоляции от 500 до 1000 Вт/м<sup>2</sup>. При каждой новой симуляции необходимо задавать в блоке «const» количество солнечной инсоляции и менять название переменных «current», «power», «voltage». Для вывода графиков необходимо в командной строке ПО MathLab ввести команду вывода графика: `plot(out1.Current1,out1.Voltage1, out2.Current2,out2.Voltage2,out3.Current3,out3.Voltage3,out4.Current4,out4.Voltage4,out5.Current5,out5.Voltage5,out6.Current6,out6.Voltage6);` Результат представлен на рисунке 3.1.7.

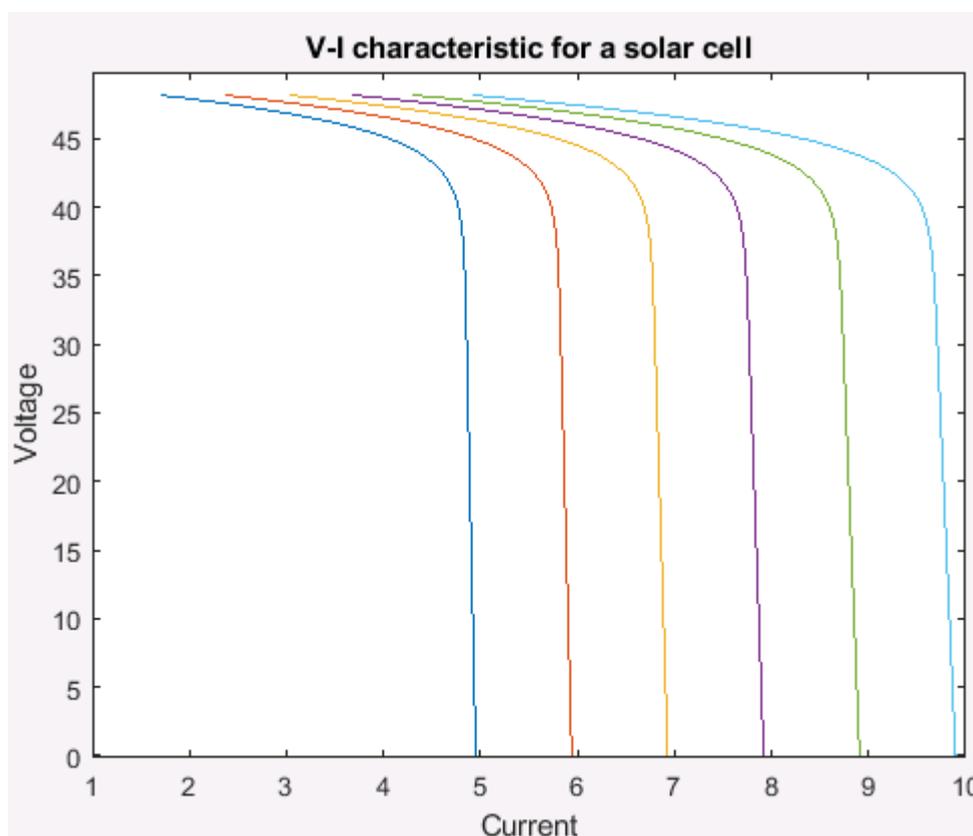


Рисунок 3.1.7 – ВАХ солнечной системы на 400 Вт

Заменяв в команде plot слово Voltage на Power получим график

мощностной характеристики, она представлена на рисунке 3.1.8.

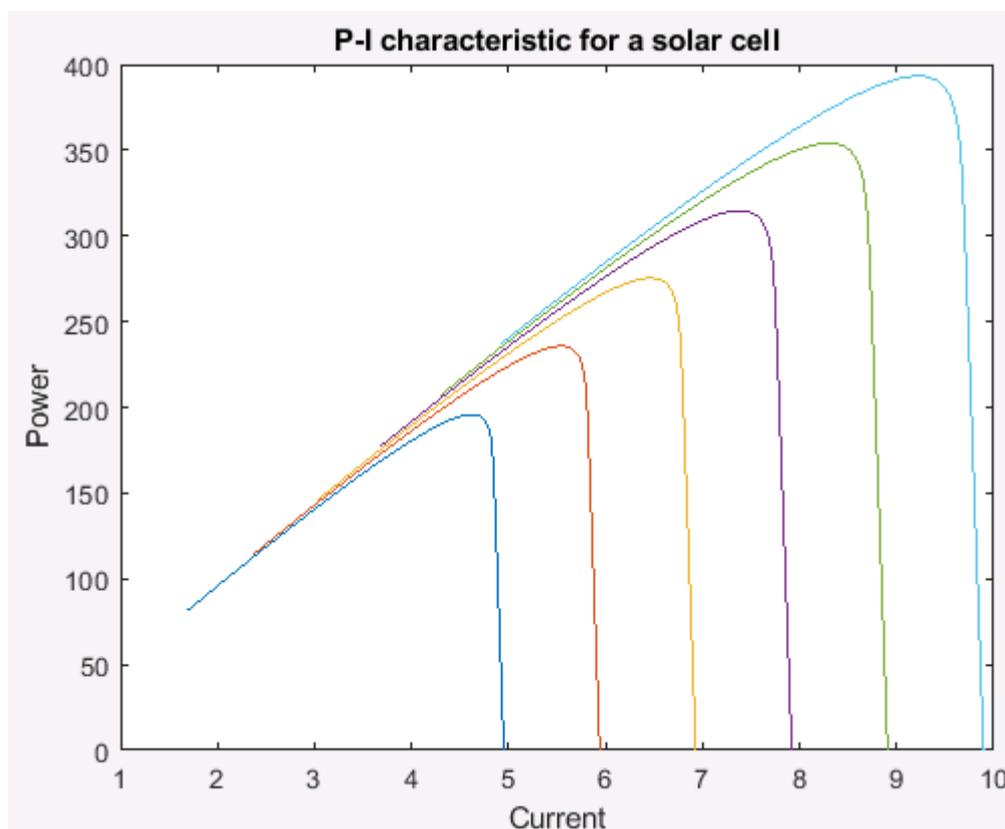


Рисунок 3.1.8 – Мощностная характеристика солнечной системы на 400 Вт

Как видно из рисунка 3.1.8, с увеличением мощности солнечного излучения увеличивается мощность, вырабатываемая солнечной системой. По рисункам 3.1.7 и 3.1.8 выявлено соответствие характеристик солнечной системы выбранных модулей и характеристик солнечной системы при моделировании в среде Matlab/Simulink. Расхождение результатов моделирования с паспортными характеристиками не превышает допустимых значений. Тем самым подтверждая адекватность предлагаемой имитационной модели.

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1. Цели проекта**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Темой научно-технического исследования является обоснование и исследование автономной системы электроснабжения маломерного судна.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-технического исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации [20].

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность проведения научного исследования;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет проводимого научно-технического исследования;
- произвести оценку социальной и экономической эффективности исследования.

### **4.2. Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок. Автономная система электроснабжения судна может использоваться на пассажирских судах. В Петербурге планируется масштабное обновление парка речных судов. Перспективы существуют как

для внутреннего рынка Петербурга, так и для внешнего. По заявлению коллег из ОСК, более 2 тысяч судов подлежат замене, поскольку в течение ближайших 20 лет они превысят средний срок жизни флота внутренних водных путей, а это 50-70 лет.

Сегменты рынка. На данный момент на территории России имеется 9 судостроительных компаний занимающихся постройкой пассажирских судов как большого так и малого водоизмещения. Помимо производства паромов и катамаранов, способных совершать даже кругосветные путешествия у технологии есть и перспектива применения в обычных лодках. Сегодня в России около 2 млн частных маломерных судов. Каждый год их число увеличивается более чем на 100 тысяч бортов.

Основными сегментами, на которые необходимо ориентироваться, являются именно производители пассажирских речных судов, но также необходимо не упускать и возможность сотрудничества с производителями маломерных катеров и лодок, а также частными владельцами уже построенных дизельных судов, которые захотят переоборудовать систему электроснабжения на автономную.

Карта сегментирования рынка показана в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Карта сегментирования потребителей

Потребители	Вид товара		
	Автономная система электроснабжения крупных пассажирских судов	Автономная система электроснабжения средних пассажирских судов	Автономная система электроснабжения маломерных судов для частного пользования
Судостроительные компании	+	+	+
Владельцы судов	+	+	+

### **4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку

сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 4.3.1.

Для проведения данного анализа сравнение проводится между обычной системой электроснабжения судна с применением дизельного двигателя и системой электроснабжения с электромотором, работающим от солнечных батарей.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 4.3.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_\Phi$	$B_{K1}$	$B_{K2}$	$K_\Phi$	$K_{K1}$	$K_{K2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	2	1	1	0,1	0,05	0,05
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
3. Надежность	0,05	4	3	3	0,2	0,15	0,15
4. Безопасность	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2
5. Простота эксплуатации	0,1	4	1	1	0,1	0,1	0,1
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Уровень проникновения на рынок	0,2	5	2	2	1	0,4	0,4
2. Финансирование научной разработки	0,2	4	1	1	0,8	0,2	0,2
3. Наличие сертификации разработки	0,2	5	1	1	1	0,2	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>4,0</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>

Итог данного анализа:

Уязвимость с позиции конкурентоспособности обусловлена тем, что ВИЭ не везде востребованы, так как не везде они целесообразны в использовании.

Конкурентное преимущество разработки обусловлено тем, что разработка является ресурсовозобновляемой и никак не влияет на окружающую среду. На данный момент происходит совершенствование этой разработки, а именно повышение КПД.

Исходя из сказанного выше данная разработка, действительно, способна заинтересовать партнеров и инвесторов. Данная разработка является высоко конкурентной.

#### 4.4. SWOT – анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT–анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.4.1 – SWOT – анализ

	<b>Сильные стороны (S)</b>	<b>Слабые стороны (W)</b>
	С1. Независимость от внешних источников питания; С2. Бесперебойное электроснабжение за счет заряда аккумуляторных батарей; С3. Простота эксплуатации; С4. Бесшумность работы электродвигателя; С5. Экологичность оборудования. С6. Снижение себестоимости и повышение КПД, вследствие развития технологий.	Сл1. Возможность разряда аккумуляторных батарей, что грозит полным отсутствием питания; Сл2. Заряд аккумулятора от солнечных батарей происходит только в солнечные часы; Сл3. Низкая скорость судна с СЭС в сравнении с дизельными аналогами; Сл4. Недостаточный уровень предпринимательской компетенции; Сл5. Ограниченность в продолжительности движения на водном судне, как во времени, так и в дистанции.
<b>Возможности (O):</b>	<b>Мероприятия (S–O)</b>	<b>Мероприятия (W–O)</b>
В1. Освоение новой ветви в электроэнергетике России; В2. Отсутствие прямых конкурентов; В3. Отсутствие потребления	1. Активная маркетинговая политика с акцентом на экологичность транспорта; 2. В связи с тем, что отсутствует потребление	1. Разработка подробной стратегии продвижения на рынок с привлечением соответствующих специалистов;

топлива; В4. Возможность подзарядки аккумуляторов от сети перед выходом в путь; В5. Поддержка со стороны государства (возможность бюджетного финансирования или уменьшение налогообложения); В6. Применение пассажирских судов с ВИЭ совпадает с временем года, когда наблюдается наибольшая солнечная инсоляция; В7. Возможность использования солнечных модулей как навеса на водном судне.	топлива, то после окупаемости оборудования, затраты на покупку топлива могут быть использованы для развития и модернизации оборудования; 3. Использовать судно в рекламной кампании, как пример возобновляемой энергетики.	2. Использование литиевых аккумуляторов с маленьким саморазрядом вместо свинцово-кислотных; 3. Средства, сэкономленные на покупке топлива можно потратить на увеличение емкости аккумулятора (возможно установки нескольких) и мощности солнечных модулей.
<b>Угрозы (Т):</b>	<b>Мероприятия (S–T)</b>	<b>Мероприятия (W–T)</b>
У1. Громоздкость оборудования; У2. Возможность влияния водной среды на сеть электропитания; У3. Зависимость использования оборудования от времени года и района (низкая эффективность в условиях малой солнечной инсоляции); У4. Невозможность движения при отсутствии солнца и разряженных аккумуляторов.	1. Уменьшение массогабаритов оборудования по мере развития технологий; 2. Организация промышленного производства модели с улучшенными техническими характеристиками; 3. Поддержание чистоты солнечных панелей даёт 15-20% прибавки в генерации солнечной электростанции.	1. Монтаж оборудования следует производить с использованием чехлов водозащиты; 2. Организация ремонта и сервисного обслуживания; 3. Не забывать проверять заряд аккумуляторов перед отправкой в путь, при необходимости зарядить от сети.

Вывод: данная технология имеет большой потенциал, широкий круг потенциальных потребителей, а также возможность быстрого выхода на внешний рынок.

#### 4.5. Оценка готовности проекта к коммерциализации

Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня ее завершения. Для этого заполняется специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 4.5.1.

Таблица 4.5.1 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№	Наименование	Степень	Уровень имеющихся
---	--------------	---------	-------------------

п/п		проработанности научного проекта	знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно–технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	2	2
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	1
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15	Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
<b>ИТОГО БАЛЛОВ:</b>		<b>45</b>	<b>46</b>

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i,$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_{sum}$  – балл по  $i$ –му показателю.

Перспективность выше среднего, следовательно, необходимо устранять имеющиеся пробелы, а именно: провести дополнительно оценку стоимости интеллектуальной собственности, лучше ознакомиться с рынками сбыта, проработать вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок, продумать вопрос финансирования разработки, а также состав команды для его реализации.

#### **4.6. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования**

При коммерциализации научно–технических разработок продавец, преследует вполне определенную цель, куда он намерен направить полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств, для продолжения своих научных исследований и разработок, одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

Для данной разработки сложно найти достаточно средств, чтобы создать отдельно предприятие, кроме того нельзя забывать о рисках. Разумнее всего запатентовать данную технологию и использовать её на уже имеющихся судостроительных вервях.

Патент - охранный документ, удостоверяющий исключительное право, авторство и приоритет изобретения, полезной модели, промышленного образца либо селекционного достижения. Таким образом, есть два варианта, первый – получить патент на полезную модель, второй - оформить патент на изобретение. Получить патент на полезную модель проще. Заявка проходит только формальную экспертизу. Но зато, в соответствии с п.1 ст. 1363 ГК РФ, срок действия исключительного права на изобретение 20 лет, а на полезную модель 10 лет.

Для коммерциализации объекта исследования и обоснования его целесообразности, были проработаны следующие методы коммерциализации научной разработки:

- 1) Торговля патентными лицензиями;
- 2) Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Были выбраны два метода коммерциализации, поскольку они являются менее затратными и рискованными.

#### 4.7. Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.7.1.

Таблица 4.7.1 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Судостроительные предприятия	Разработанный проект системы электроснабжения судна от ВИЭ, который будет иметь коммерческий потенциал и шансы для привлечения внимания потенциальных партнеров и покупателей.
Владельцы судов	Замена имеющихся дизельных энергоустановок на электромоторы, питающихся от солнечных батарей, которые более экологичные и экономически выгодные.

В таблице 4.7.2 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.7.2 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Проект солнечной электростанции с накопителями электрической энергии, способной обеспечивать бесперебойное электроснабжение электромотора за счет преобразования энергии солнца.
---------------	--

Ожидаемые результаты проекта:	Построены графики выработки и потребления электрической энергии, разработана схема солнечной электростанции и выбрано основное оборудование в соответствии со схемой, исследованы динамические характеристики двигателя при работе от аккумуляторов и от СЭС в условиях разрядки аккумуляторов.
Критерии приемки результата проекта:	Представленные динамические характеристики двигателя должны удовлетворять заявленным требованиям по бесперебойному времени его работы.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Экологичность системы электроснабжения;
	Автономная работа системы, которая почти не требует обслуживания;
	Бесперебойное обеспечение электроэнергией основного потребителя (электродвигателя);
	Окупаемость при замене топливных двигателей.

В таблице 4.7.3 представлена информация о рабочей группе, роли и функции каждого участки в трудовом проекте.

Таблица 4.7.3 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, календ/раб. дн.
1	Однокопылов Г.И. Профессор, д.т.н. ИШЭ ТПУ	Руководитель проекта	Выдает задание на дипломный проект, оказывает помощь в разработке календарного плана работы на весь период дипломного проектирования, рекомендует необходимую литературу, справочные материалы, типовые проекты и другие источники по теме проекта, проводит предусмотренные консультации, проверяет выполнение работы	33/24
2	Бумагин О.В. исполнитель проекта, студент ИШЭ ТПУ	Исполнитель проекта	Сбор, обобщение и систематизация информации необходимой для разработки проектного предложения. Обзор разновидностей ВИЭ. Изучение систем возобновляемых источников энергии. Выбор приводного электродвигателя и электрооборудования маломерного судна. Изучение систем возобновляемых источников энергии на основе имитационной модели в среде MATLAB. Написание дипломного проекта, оформление иллюстративного материала.	156/127
<b>ИТОГО:</b>				<b>189/151</b>

#### 4.8. Планирование управления научно-техническим проектом

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей

и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

#### 4.8.1 Иерархическая структура работа проекта

Детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 4.8.1 представлен шаблон иерархической структуры работ.

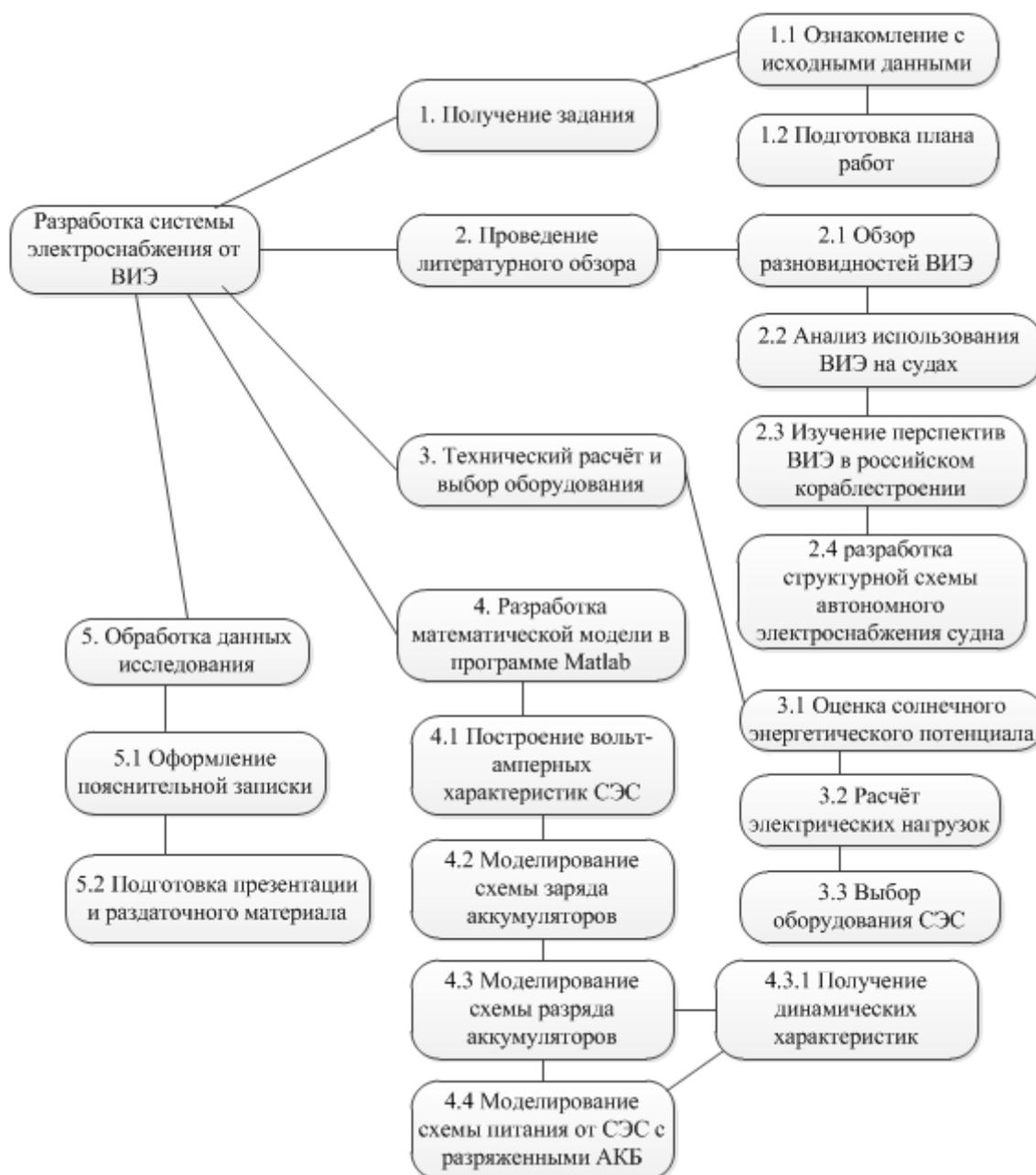


Рисунок 4.8.1 – Иерархическая структура работ по проекту

## 4.8.2 Контрольные события проекта

При организации проекта необходимо оптимально планировать сроки проведения работ. В таблице 4.8.1 определены ключевые события проекта их даты и результаты.

Таблица 4.8.1 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Выбор направления исследований	20.10.2020	Отчёт
2	Разработка технического задания	16.01.2021	Бланк задания
3	Разработка календарного плана	20.01.2021	Календарный план-график
4	Теоретические исследования	25.02.2021	Литературный обзор
5	Практические исследования и разработки	20.04.2021	Графики, расчёты
6	Обобщение и оценка результатов	06.05.2021	Отчёт о результатах исследований
7	Оформление расчётно-пояснительной записки	20.05.2021	Расчётно-пояснительная записка

## 4.8.3 План проекта

Составление календарного плана-графика проекта включает в себя несколько аспектов. Должны спланировать сроки и длительности работ, определить их последовательность и взаимосвязи, подумать о необходимых ресурсах. В дальнейшем, когда проект перейдет на стадию исполнения, то есть практической реализации запланированных действий, именно по этому плану-графику мы отслеживаем ход выполнения работ. И, если что-то в проекте пойдет не так, можно, сверив с первоначальным планом проекта, внести соответствующие изменения [21]. Результатом планирования работ является календарный план, представленный в виде таблицы 4.8.2.

Таблица 4.8.2 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	2	16.01.21	17.01.21	Однокопылов Г.И.
2	Разработка календарного плана	2	18.01.21	19.01.21	Однокопылов Г.И. Бумагин О.В.
3	Изучение литературных и патентных источников	15	20.01.21	03.02.21	Бумагин О.В.
4	Постановка задач исследования	5	04.02.21	08.02.21	Однокопылов Г.И.

					Бумагин О.В.
5	Подготовка методической части	7	09.02.21	15.02.21	Бумагин О.В.
6	Технический расчёт	9	16.02.21	24.02.21	Бумагин О.В.
7	Математическое моделирование в Matlab	28	25.02.21	25.03.21	Бумагин О.В.
8	Анализ режимов работы	15	26.03.21	09.04.21	Однокопылов Г.И. Бумагин О.В.
9	Выбор оборудования	10	10.04.21	19.04.21	Бумагин О.В.
10	Разработка технической документации	11	20.04.21	31.04.21	Бумагин О.В.
11	Оценка экономической эффективности исследуемой технологии	12	01.04.21	12.05.21	Бумагин О.В.
12	Рассмотрение вопросов социальной ответственности	6	13.05.21	18.05.21	Бумагин О.В.
13	Оформление пояснительной записки	7	19.05.21	25.05.21	Бумагин О.В.

Для предоставления календарного плана более наглядным образом, используем диаграмму Ганта (таблица 4.8.3). Диаграмма Ганта представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), которые используются для иллюстрации графика или плана работ, для различных проектов. Данные диаграммы используются в качестве одного из методов, при планировании проектов.

График строится с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. Момент начала и завершения работы на диаграмме определяются концами полос, а протяженность характеризует длительность работы. Вертикальная ось отображает перечень поставленных задач. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой или цветом в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу. На данной диаграмме цветами приведены Бумагин О.В. (зеленый), Однокопылов Г.И. (синий). Также, на диаграмме Ганта можно выделить совокупные задачи, отметить проценты завершения, отметить метки ключевых моментов (вехи) и др. Веха представляет собой метку значимого момента в ходе выполнения работ, общую границу двух или более задач. Веха является важным понятием диаграммы Ганта и позволяет наглядным образом подчеркнуть нужду синхронизации в выполнении различных работ.

Таблица 4.8.3 – Календарный план–график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , календ. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				Январь			Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2		■														
2	Разработка календарного плана	Руководитель, Инженер	2 2		■	■													
3	Подбор и изучение литературных и патентных источников	Инженер	15			■	■												
4	Постановка задач исследования	Руководитель, Инженер	5 5				■	■											
5	Подготовка методической части	Инженер	7					■											
6	Технический расчёт	Инженер	9						■	■									
7	Выполнение математического моделирования в Matlab	Инженер	28							■	■	■	■						
8	Анализ режимов работы	Руководитель, Инженер	15 15										■	■					
9	Выбор оборудования	Инженер	10											■	■				
10	Разработка технической документации	Инженер	11												■	■			
11	Оценка экономической эффективности исследуемой технологии	Инженер	12													■	■		
12	Рассмотрение вопросов социальной ответственности	Инженер	6															■	
13	Оформление пояснительной записки	Инженер	7																■

#### 4.9. Бюджет научного исследования

При составлении бюджета затрат на разработку проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям [22]:

- материальные затраты проекта;
- амортизация;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

##### 4.9.1 Определение стоимости материальных затрат

Расчет стоимости материальных затрат включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для выполнения конкретной темы, сводятся в таблицу 4.9.1.

Таблица 4.9.1 – Затраты на комплектующие для создания системы электропитания от ВИЭ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Солнечный модуль ФСМ-400М	12	15 490	185 880
2.	Инвертор СибКонтакт ИС1-24-2000P DC-AC	2	27 500	55 000
3	Аккумулятор YPB 24V104	4	81 875	327 500
4	Электродвигатель Aquamot A20e	1	536 600	536 600

5	Кабель КГСНРТЭ 1х25, 20 м	1	5320	5320
			<b>ИТОГО:</b>	<b>1 110 300</b>

Рассчитаем расходы, связанные с заготовкой и доставкой материальных ценностей:

$$З_M = M \cdot \gamma = 1110300 \cdot 1,15 = 1276\ 845 \text{ руб.}$$

где  $M$  – материальные затраты;

$\gamma$  коэффициент ТЗР, равный 15%.

#### 4.9.2 Амортизация

Так как для работы над магистерской диссертацией используется компьютерная техника, посчитаем её амортизацию.

$$K_{ам} = \frac{T_{исп.кт}}{T_{кал}} \cdot Ц_{кт} \cdot \frac{1}{T_{сл}},$$

где  $T_{исп.кт}$  – время использования компьютерной техники (127 дней);

$T_{кал}$  – календарное время (365 дней);

$Ц_{кт}$  – цена компьютерной техники (60 000 руб.);

$T_{сл}$  – срок службы компьютерной техники (5 лет).

$$K_{ам} = \frac{127}{365} \cdot 60000 \cdot \frac{1}{5} = 4175 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений, на полное восстановление основных средств, производится по нормативам амортизации, утвержденном в установленном действующим законодательством порядке, и определенным в зависимости от балансовой стоимости оборудования. Амортизация рассчитывается для оборудования свыше 100 тыс. руб. При проектировании используем ПК, стоимость которого составляет 60 тыс. руб. и следовательно амортизацию в бюджете затрат можно не учитывать.

#### 4.9.3 Полная заработная плата исполнителей

Включается основная и дополнительная заработная плата всех исполнителей, непосредственно участвующих в выполнении данной работы. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из

трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Расчет полной заработной платы осуществляется следующим образом:

$$Z_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12–15 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot F_{дн},$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$F_{дн}$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{окл} + Z_{р.к.}}{F_{д}}$$

где  $F_{дн}$  – количество рабочих дней в месяце (26 при 6 – дневной рабочей неделе, 22 при 5 – дневной рабочей неделе), раб. дн.

$Z_{окл}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$Z_{р.к.}$  – районная доплата, руб.

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 4.9.2.

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 4.9.3.

Таблица 4.9.2 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	Районная доплата, руб.	Месячная зарплата, руб.	Среднедневная заработная плата, руб.	Кол-во, раб. дн.	Основная заработная плата руб.
Руководитель	45 105	1,3	58 636	2 665,3	24	63 967,2
Инженер	20 730	1,3	26 949	1 225	127	155 575
<b>ИТОГО:</b>						<b>219 542,2</b>

Таблица 4.9.3 – Расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	Коэф. доплаты	Основная заработная плата руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Полной заработная плата, руб.
Инженер	0,15	63 967,2	9 595,08	73 562,28
Работник	0,15	155 575	23 336,25	178 911,25
<b>ИТОГО:</b>			<b>32 931,33</b>	<b>252 473,53</b>

#### 4.9.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП},$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 28.11.2018 №446 – ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{ЗП} = 30,2\% \cdot 252473,53 = 76247 \text{ руб.}$$

#### 4.9.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

$$Z_{накл} = k_{нр} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}),$$

где  $k_{нр}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы.

$$Z_{накл} = (219 542,2 + 32931,33) \cdot 0,16 = 40395,76 \text{ руб.}$$

#### 4.9.6 Формирование сметы проекта

Для формирования бюджета затрат проекта опираемся на рассчитанную величину затрат проекта. При составлении договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку необходимой продукции.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ, которая сведена в таблицу 4.9.4.

Таблица 4.9.4 – Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
Материальные затраты НТИ	1 276 845	77,46
Затраты по основной заработной плате	219 542,2	13,32
Затраты по дополнительной заработной плате	32 931,33	2,0
Отчисления во внебюджетные фонды	76 247	4,62
Оплата услуг сторонних организаций (интернет)	2363	0,15
Накладные расходы	40 395,76	2,45
<b>Бюджет затрат ТП</b>	<b>1 648 324,29</b>	<b>100</b>

#### 4.10. Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}}$$

где  $I_{\phi}^p$  – интегральный показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$  – го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения научно – исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Рассчитаем стоимость создания аналога, а именно сети питания дизельного двигателя. Все расчеты по приобретению оборудования для выполнения данной темы, сводятся в таблицу 4.9.5.

Таблица 4.9.5 – Затраты на комплектующие для создания системы электропитания дизельного двигателя.

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1.	Двигатель D4BB	1	195 260	195 260
2.	Топливный бак 195л.	1	27 298	27 298
3	Подруливающее устройство MAX POWER CT35	1	141 990	141 990
4	Кабель КГСНРТЭ 1x25, 20 м	1	5 320	5 320
<b>ИТОГО:</b>				<b>369 868</b>

Рассчитаем расходы, связанные с заготовкой и доставкой материальных ценностей:

$$Z_M = M \cdot \gamma = 369868 \cdot 1,15 = 425348,2 \text{ руб.}$$

Стоимость варианта исполнения аналога, работающем на дизельном топливе, составляет 425 348 рублей. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 796 827,29 рублей, включая бюджет затрат НТИ.

Нужно теперь учесть, что система питания от ВИЭ является автономной и не требует топлива, а дизельный двигатель расходует 20 литров дизельного топлива на 100 км пути. Срок службы оборудования составляет 20-25 лет, посчитаем экономию и срок окупаемости при неизменных ценах на топливо. Мы используем судно с ВИЭ с апреля по август. За сутки судно с ВИЭ способно пройти 104,8 км. Число рабочих дней за 5 месяцев использования в сезон составит:

$$22 + 19 + 21 + 22 + 22 = 106 \text{ дней}$$

Суммарный путь, который пройдёт судно, будет равно:

$$104,8 \cdot 106 = 11108,8 \text{ км}$$

Суммарный объём топлива, который будет израсходован за период апрель-август составит:

$$\frac{11108,8 \cdot 20}{100} = 2221,76 \text{ л.}$$

Стоимость дизельного топлива на АЗС составляет от 49 руб/л.  
Расходы на топливо за сезон равны:

$$2221,76 \cdot 49 = 108866,24 \text{ руб.}$$

Посчитаем окупаемость системы питания от ВИЭ:

$$\frac{1648324,29 - 796827,29}{108866,24} = 7,82 \text{ лет}$$

Посчитаем затраты на топливо в течении всего срока эксплуатации (20 лет) дизельного двигателя и сложим с затратами на разработку его системы питания:

$$108866,24 \cdot 20 + 796827,29 = 2974152,09$$

Стоимость комплектующих варианта исполнения текущей разработки равна 1 276 845 руб. Итоговая стоимость данного варианта исполнения составляет 1 648 324,29, включая бюджет затрат НТИ, и эта сумма будет составлять все расходы на систему питания двигателя от ВИЭ за весь период эксплуатации (не считая ремонтов).

Стоимость варианта исполнения аналога работающего на дизельном топливе за весь период эксплуатации (не считая ремонтов) составит 2 974 152,09 руб.

$$\Phi p1 = 1276845 + 371479,29 = 1648324,29 \text{ руб,}$$

$$\Phi p2 = 425348 + 371479,29 + 108866,24 \cdot 20 = 2974152,09 \text{ руб,}$$

$$I_{\phi 1}^p = \frac{\Phi p1}{\Phi_{\max}} = \frac{1648324,29}{2974152,09} = 0,55,$$

$$I_{\phi 2}^p = \frac{\Phi p2}{\Phi_{\max}} = \frac{2974152,09}{2974152,09} = 1.$$

Следовательно, исходя из этого, можно сделать вывод, что интегральный показатель разработки текущего проекта показывает удешевление стоимости разработки в 0,55 раз (около 45%), а интегральный показатель разработки аналога равен 1.

Ресурсоэффективность проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  – весовой коэффициент разработки;

$b_i$  – банальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для определения ресурсоэффективности проекта рекомендуется рассмотреть следующие критерии, см. таблицу 4.9.6:

1. Удобство в эксплуатации;
2. Надежность;
3. Безопасность;
4. Экономичность;
5. Гибкость.

Таблица 4.9.6 – Критерии ресурсоэффективности и их характеристики

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Балльная оценка аналога
1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	4
2. Надежность	0,25	5	5
3. Безопасность	0,15	5	4
4. Экономичность	0,15	5	4
5. Материалоёмкость	0,25	4	4
<b>Итого:</b>	<b>1,00</b>	<b>4,8</b>	<b>4,2</b>

Интегральный показатель эффективности разработки и аналога определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр1}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi 1}^p} = \frac{4,8}{0,55} = 8,73,$$

$$I_{финр2}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi 2}^p} = \frac{4,2}{1} = 4,2,$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\text{Эср}_1 = \frac{I_{\text{финр}1}^p}{I_{\text{финр}2}^a} = \frac{8,73}{4,2} = 2,08,$$

где  $\text{Эср}$  – сравнительная эффективность проекта;

$I_{\text{финр}}^p$  – интегральный показатель разработки;

$I_{\text{финр}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Отразим сравнительную эффективность разработки в таблице 4.9.7.

Таблица 4.9.7 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,55	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,2
3	Интегральный показатель эффективности	8,73	4,2
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,48

#### Выводы по 4 главе

В результате сравнения и оценки критериев систем электроснабжения маломерных судов выбрана разрабатываемая система питания от ВИЭ, т.к. она обладает оптимальными техническими показателями при выгодной стоимости проекта. Были составлены графики проведения НТИ, определено количество работников, рассчитаны затраты. На проведение работ затрачено 1 648 324,29 руб., на приобретение оборудования 1 276 845 руб. Работы были проведены за 127 рабочих дней бригадой из двух человек. На основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования, а также по итогам сравнения финансовой и ресурсной эффективности наиболее эффективной получается наша разработка. Однако, детальная оценка экономической эффективности, выходит за пределы данного исследования и нуждается в дальнейшей проработке.

## **5. Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной магистерской диссертации объектом проектирования является фотоэлектростанция (ФЭС), которая обеспечивает бесперебойное электроснабжение электродвигателя маломерного судна. Солнечная инсоляция является возобновляемым источником энергии. Принято считать, что генерация электроэнергии посредством энергоустановок, основанных на возобновляемых источниках, является в полной мере экологически безопасной. Однако, подобного рода источники электроэнергии характеризуются принципиально иной сферой влияния на окружающую среду относительно традиционных энергоисточников на минеральном органическом топливе. В разделе социальная ответственность будет рассмотрено влияние ФЭС как на человека, так и на окружающую среду.

### **5.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства**

Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы. При отсутствии профессиональной подготовки такие работники должны быть обучены (до допуска к самостоятельной работе) в специализированных центрах подготовки персонала (учебных комбинатах, учебно-тренировочных центрах и т.п.).

По правовым мерам безопасности при строительстве фотоэлектростанции, должны быть утверждены и выполняться следующие нормативно-правовые акты:

1. Межотраслевые правила по охране труда и межотраслевые типовые инструкции (Минтруд России);
2. Отраслевые правила по охране труда, типовые инструкции (Федеральные органы исполнительной власти);

3. Правила безопасности, правила устройства и безопасной эксплуатации, инструкции по безопасности (Ростехнадзор);

4. Государственные стандарты системы стандартов безопасности труда (Госстандарт России);

5. Строительные нормы и правила, своды правил по проектированию и строительству (Госстрой России);

6. Государственные санитарно-эпидемиологические правила и нормативы, гигиенические нормативы, санитарные правила и нормы, санитарные нормы (Минздрав России).

Персонал, принимающийся на работу фотоэлектростанции, должен:

- Достичь 18-летнего возраста.
- Пройти медицинский осмотр, и в соответствующие сроки, повторно его проходить;
- Иметь заключение медицинской комиссии, о годности к работе на фотоэлектростанции.

Работники, имеющие дополнительные профессии, обязаны иметь удостоверение по данной профессии для выполнения специальных работ, а также должны предоставить их работодателю. К таким профессиям относятся:

- Огневые и газоопасные;
- С электроинструментами;

Работодатель обязан обеспечить своих работников средствами индивидуальной защиты в установленные сроки, заменить пришедшие СИЗ в негодность, соблюдать сроки периодических испытаний и проверки исправности технических СИЗ, осуществлять контроль за правильным использованием СИЗ. В случае неприменения, неправильного применения и использования не по назначению средств защиты, выданных персоналу для выполнения определенной работы, ответственность за последствия (возникновение несчастного случая или ухудшения здоровья) несет

работник, виновный в их неприменении, неправильном применении или нецелевом использовании.

Так как на фотоэлектростанции имеются вредные (опасные) условия труда, то работники имеют следующие права:

- Сокращенную по продолжительности рабочую смену (статья 92 ТК РФ);
- Ежегодные дополнительные оплачиваемые отпуска (статьи 116, 117 ТК РФ);
- Повышенную оплату труда (статья 147 ТК РФ);
- Получение молока или других равноценных пищевых продуктов или компенсационной выплаты в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов (при соблюдении определенных условий), а также лечебно-профилактического питания (статья 222 ТК РФ).

### **5.1.2 Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны**

Солнечные модули необходимо устанавливать на открытые пространства легкодоступные для попадания солнечного света. Солнечные модули номинальной мощностью 400Вт необходимо установить на крышу судна.

Так как аккумуляторные батареи не выделяют токсичных паров то их можно разместить внутри корабля. Аккумуляторные батареи будут размещены в багажном отделении.

### **Эксплуатация аккумуляторов**

Эксплуатация аккумуляторов должна производиться в соответствии с технической документацией по эксплуатации, в которой должны быть предусмотрены режимы подзаряда и заряда-разряда на аккумулятор конкретного типа, и требованиями настоящего стандарта. При эксплуатации допускается применение аккумуляторов экспортного исполнения.

Аккумуляторы должны монтироваться на месте эксплуатации в соответствии с конструкторской и технической документациями на аккумулятор конкретного типа и инструкцией монтажных предприятий. При проведении работ по сборке и монтажу аккумуляторы должны выдерживать воздействие ударов с ускорением 1,5 g при длительности удара 2-20 мс. [23]

## 5.2. Производственная безопасность

На рабочих в процессе их деятельности могут воздействовать опасные и вредные производственные факторы. Для их определения воспользуемся [2]. Перечень опасных и вредных факторов приведен в таблице 5.2.1.

Таблица 5.2.1 – Перечень опасных и вредных факторов при проектировании системы электроснабжения [24]

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.54896
2. Превышение уровня шума		+		СН 2.2.4/2.1.8.562–96
3.Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещённость рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016
4. Повышенный уровень вибрации	+	+	+	СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96.
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
6.Зрительное напряжение	+	+	+	СП 2.2.3670-20
7.Нервно-психические перегрузки	+	+	+	СП 2.2.3670-20
8.Термические опасности	+	+	+	ГОСТ 12.1.009-2017
9.Короткое замыкание		+	+	ГОСТ 26522–85 ГОСТ 28249–93

10.Статическое электричество		+	+	ГОСТ ИЕС 61340–5–1–2019
11.Пожаровзрывоопасности		+	+	ГОСТ 12.1.004-91

## 5.2.1 Анализ опасных, вредных факторов и мероприятия по снижению уровней воздействия

### Микроклимат рабочей зоны

На борту катера имеется достаточно большое количество оборудования, которое обладают химическими или термическими характеристиками. Например, аккумуляторные батареи, контроллер заряда, инвертор, солнечные панели. Поэтому, согласно ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» должны быть соблюдены нормы, для здоровья членов экипажа и пассажиров, которые представлены в таблице 5.2.2 [25].

Таблица 5.2.2 – Оптимальные нормы температуры, влажности и скорости движения воздуха на рабочем месте

Время года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Средняя скорость движения воздуха, не более 3 м/с
Холодный	Па	19 - 21	60 – 40	0.2
Тёплый	Па	20 - 22	60 - 40	0.2

Согласно СанПин 2.2.548-96, «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» фотоэлектростанция на борту судна относится к категории Па, где интенсивность энергозатрат равна 220 ккал/ч [26].

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используются защитные мероприятия:

- вентиляция кабины;
- применение одежды;

Так как катер применяется для круизных прогулок или рыбалки в тёплую, солнечную погоду, то микроклиматические условия находятся в

допустимых пределах температуры для судов внутреннего плавания с ограниченным районом плавания 20-22 С°.

### Шум и вибрация

При работе солнечной электростанций почти отсутствует шум и вибрация так как генерация электрической энергии происходит за счет (р-п перехода). Источником шума в данной системе будет являться система охлаждения инвертора (устройство для преобразования постоянного тока в переменный). Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА [28]. Уровень акустического шума выбранного инвертора составляет 30дБА. В случае установки солнечных панелей для генераций электрической энергии нет необходимости дополнительных сооружений для подавления шума.

Физические вибрации характеризуются частотой (Гц, 1/с), амплитудой виброперемещения (м), виброскоростью и виброускорением. Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.566–96 предельно допустимые значения вибраций на рабочих местах приведены в таблице 5.2.3 [29].

Таблица 5.2.3 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест

Вид вибрации: Технологическая	Среднегеометрические частоты, Гц					
	2	4	8	16	32,5	63
Предельно допустимые значения виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Предельно допустимые значения виброускорения, дБ	103	100	100	106	112	110

Также нужно помнить, что все винты и валы на катере не сбалансированы на 100%. Часто просто снятие винта с вала, поворот его на 180 градусов и установка на место позволяют уменьшить или полностью исключить вибрацию до предельно допустимой. Если это не помогает, то следует обратиться в сервисный центр для получения помощи.

### Освещение

На судне, помещения с постоянным пребыванием людей должны иметь искусственное и естественное освещение, для улучшения работоспособности и сохранения здоровья персонала. Для этого устанавливают нормативные уровни освещенности, которые описаны в документе СП 52.13330.2016, уровни представлены в таблице 5.2.4 [30].

Таблица 5.2.4 – Уровни освещённости рабочей зоны

Место, площадка	Плоскость, в которой нормируется освещенность	Освещенность рабочей поверхности, лм
Изолированная кабина	горизонтальная	300

В нашем случае наименьший размер различаемого объекта от 1 мм, что соответствует характеристике выполняемой работы малой точности. Исходя из этого коэффициент естественной освещенности (КЕО) должен быть обеспечен не меньше 1,0% при боковом освещении и 3% при верхнем и комбинированном.

Произведём расчёт освещения изолированной кабины судна. Кабина имеет следующие размеры: длина  $A = 3$  м, ширина  $B = 2,54$  м, высота  $H = 2$  м. Высота рабочей поверхности  $h_{pn} = 0,8$  м. Коэффициент отражения стен  $R_c = 30$  %, потолка  $R_n = 50$  %. Коэффициент запаса  $k = 1$ , коэффициент неравномерности  $Z = 1,1$ .

Приняв высоту свеса светильников  $h_c = 0,1$  м, определяем расчетную высоту:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 2 - 0,1 - 0,8 = 1,1 \text{ м}$$

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{3 \cdot 2,54}{1,1 \cdot (3 + 2,54)} = 1,25$$

Выбираем светодиодную лампу Fecon 25581, её мощность равна  $P=5$  Вт, световой поток  $\Phi_{л}=530$  Лм. Коэффициент использования светового потока для данного типа ламп:  $\eta = 0,6$ .

Принимаем  $E_n$  – минимальный уровень освещённости, равным 300 Лм. Определяем потребный световой поток ламп:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{\eta} = \frac{300 \cdot 3 \cdot 2,54 \cdot 1 \cdot 1,1}{0,6} = 4191 \text{ Лм}$$

Определяем количество ламп:

$$n_l = \frac{\Phi}{\Phi_l} = \frac{4191}{530} = 7,9$$

Для равномерного освещения разместим 9 ламп в 3 ряда, по 3 лампы в каждом ряду, схема показана на рисунке 5.2.1

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 9 \cdot 5 = 45 \text{ Вт}$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$A / 6 = 0,5 \text{ м}; \quad B / 6 = 0,42 \text{ м}$$

Расстояние между светильниками:

$$2 \cdot A / 6 = 1 \text{ м}; \quad 2 \cdot B / 6 = 0,84 \text{ м}$$

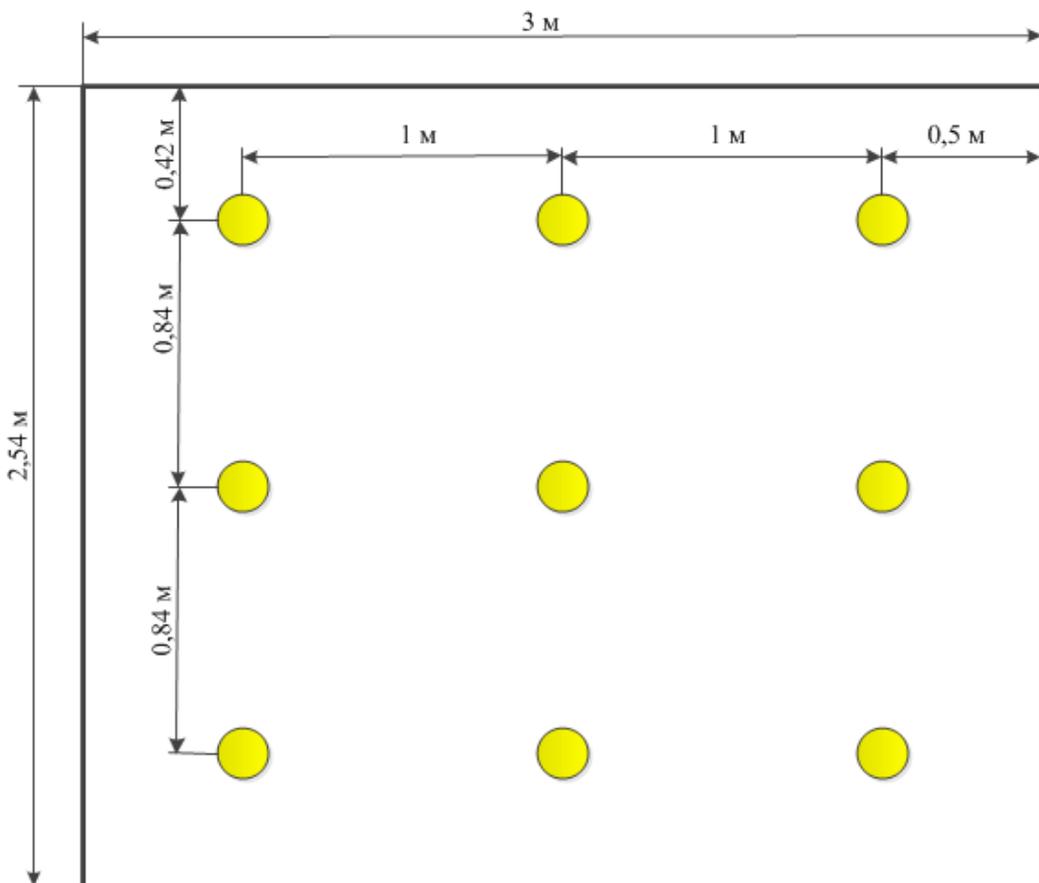


Рисунок 5.2.1 – План размещения светодиодных ламп в кабине судна

Согласно проведенным измерениям, уровень естественного и искусственного освещения в допустимых пределах 300 – 500 лм.

## Электромагнитное поле и статическое электричество

Электрооборудование является источником электростатического и электромагнитного поля. Когда персонал, находится в электромагнитном поле, у них на теле возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта. При правильной организации рабочего места, при наличии заземления негативное влияние полей на организм человека можно исключить.

В документе ГОСТ 12.1.009-2017 установлены допустимые уровни напряженности периодического магнитного поля 50 Гц общего (на все тело) и локального (на конечности) воздействия на обслуживающий персонал на производстве электроэнергии, данные по допустимому времени пребыванию в магнитном поле представлены в таблице 5.2.5 [31].

Таблица 5.2.5 – Допустимое время пребывания в МП

Время пребывания, час	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии	
	общем	локальном
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

При работе с оборудованием на судне, в целях защиты от статического электричества, необходимо: правильно выполнить заземляющее устройство, держать влажность на требуемом уровне, использовать антистатические коврики под рабочим местом и использовать антистатический браслет.

Для защиты персонала от воздействия ЭМП уменьшают напряженность и плотность потока энергии ЭМП; экранируют рабочие места; рационально размещают в рабочем помещении оборудование, излучающее электромагнитную энергию; устанавливают рациональные режимы работы оборудования и обслуживающего персонала; В качестве

средств индивидуальной защиты используют капюшоны, халаты или комбинезоны, выполненные из металлизированной хлопчатобумажной ткани;

### Электрический ток, короткое замыкание

Опасным фактором на рабочем месте является наличие большого числа электрооборудования и, как следствие, возможность поражения электрическим током. Электрический ток является опасным для здоровья и жизни персонала непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Судно с фотоэлектростанцией на борту относится к особо опасным помещениям. Потому что для этого класса помещений выполняется два и более условий из класса помещений повышенной опасности. Во-первых, станция обладает химически активной средой, образованной аккумуляторными батареями. Во-вторых, напряжение образованное при работе фотоэлектрических модулей превышает 60 В постоянного тока.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 5.2.6 [32].

Таблица 5.2.6 – допустимые значения напряжения и токов прикосновения

Род тока	U, В	I, мА
		не более
Переменный, 50 Гц	2	0,3

*Примечания: 1 Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействий не более 10 мин в сутки и установлены, исходя из реакции ощущения. 2 Напряжения прикосновения и токи для лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25°C) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.*

При разработке защиты персонала от поражения электрическим током необходимо, согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ), рассмотреть следующие пункты:

- Категория помещения по степени опасности поражения электрическим током;

- Требования к электрооборудованию;

- Мероприятия по устранению обнаруженных несоответствий;

- Обоснование мероприятий и средств защиты, работающих против поражения электрическим током.

Согласно ПУЭ, меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовлении электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

Обязательными мерами защиты является проведение инструктажей по технике безопасности, плановые осмотры оборудования, наличие предупреждающих вывесок.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

### **Зрительное напряжение и нервно-психические перегрузки**

Зрительное и умственное перенапряжение возможно в результате длительной умственной работы в условиях нерациональной ее организации. При этом нарастает напряжение, нарушается равновесие нервных процессов, что проявляется в форме неврозов, функциональных расстройств.

При симптомах психического перенапряжения необходимо:

- дать нервной системе расслабиться;

- рационально чередовать периоды отдыха и работы с помощью регламентированных перерывов;

- ложиться спать в одно и то же время;

- в тяжелых случаях обратиться к врачу.

Трудовой кодекс говорит о следующих перерывах в работе в течение рабочего дня:

- перерыв для отдыха и питания (так называемый обеденный перерыв) (ст. 108 ТК РФ);

- специальные перерывы, обусловленные технологией и организацией производства и труда (ст. 109 ТК РФ).

Перерыв делается раз в час на 10–15 мин, что соответствует нормам.

### **Термические и пожаровзрывоопасности**

Термические опасности могут возникать в результате пробоя изоляции или неисправности оборудования и как следствия воздействия на организм электрического тока, или в результате воздействия электромагнитных полей, которые были подробно рассмотрены выше. Превентивными мерами по предотвращению воздействия данного фактора являются:

- соблюдение запрета на курение и использование открытого огня на судне;

- изоляция токоведущих частей, исключаящее возможное соприкосновение с ними;

- проведение регулярных осмотров оборудования и в случае обнаружения неисправности или пробоя изоляции - устранение неполадок;

- рекомендуется применять дополнительные средства защиты в виде термостойких комплектов одежды.

Пожаровзрывоопасности будут рассмотрены подробно в 4 пункте.

### **5.3. Экологическая безопасность при проектировании системы электроснабжения судна с электроприводом от солнечных батарей**

#### **Анализ воздействия объекта на атмосферу, литосферу**

На самом деле, создание фотоэлектростанции не является экологически чистым, как это выглядит. Фотоэлектростанция имеет несколько причин, по которым можно сделать вывод, что она загрязняет окружающую среду, но по сравнению с топливными двигателями СЭС на судне является более экологичной.

Во-первых, при работе аккумуляторных батарей, предназначенных для накапливания заряда, образуются выбросы свинца и раствора серной кислоты.

Во-вторых, утилизация значительных объемов отслуживших солнечных модулей, приводит к увеличению риска для здоровья людей в данной местности. А также это пагубно для флоры и фауны. Утечка химических реагентов из утилизируемых модулей дает вероятность заражению местной почвы и поверхностных вод.

### **Решение по обеспечению экологической безопасности**

При окончании срока службы фотоэлектростанции ее составляющие будет необходимо утилизировать. Как и любой другой продукт, солнечные панели могут подвергаться переработке. ЕС является пока единственным регионом, который принял четкую нормативную базу, поддерживающую переработку фотоэлектрических модулей. В России с точки зрения регулирования отходы фотоэлектрической панели все еще подпадают под общую классификацию отходов. Следовательно, до принятия новых правовых актов при необходимости утилизации солнечных модулей, необходимо следовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692–2009 Ресурсосбережение: мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку) [33].

## **5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Перечень ЧС**

Согласно ГОСТ Р 22.3.03-94 разработаны меры предосторожности и эвакуации персонала с фотоэлектростанции [34]. Возникновение ЧС на фотоэлектростанции возможно по проявлению природных явлений, таких как: землетрясение, снегопады, ливни. Но помимо ЧС природного характера, на фотоэлектростанции возможны проявления ЧС техногенного характера. Причины аварий могут быть разнообразными. Большинство происходящих

аварий, связаны с ошибочными и халатными действиями персонала, т.е. неправильного управления оборудованием. ЧС может произойти из-за коротких замыканий в сети электростанции, которая приведёт к долговременному перерыву электроснабжения двигателя и других электроприёмников. Немаловажным вопросом в ЧС имеет место заземление, его отсутствие может привести к тотальному поражению всего персонала.

#### **5.4.2 Выбор наиболее типичной ЧС**

Причинами пожара могут служить короткое замыкание при работе электрооборудования, вследствие перегрузки элементов электронных схем и токоведущих частей, или проводки освещения. Дополнительная пожарная опасность возникает при профилактических и ремонтных работах электронной техники, использованием различных смазочных веществ и легковоспламеняющихся жидкостей. Все это требует принятия мер обеспечения пожарной безопасности.

Поэтому, пожарная и взрывная опасность - наиболее вероятная чрезвычайная ситуация.

#### **5.4.3 Разработка мер по предупреждению ЧС**

Предотвратить возникновение ЧС можно с помощью мероприятий:

- организационные мероприятия, которые предусматривают правильное содержание судна, противопожарный инструктаж служащих, издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности;
- технические мероприятия - соблюдение противопожарных правил, норм при устройстве электропроводов и оборудования, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования, размещение на борту средства пожаротушения, основным из которых является огнетушитель;
- мероприятия режимного характера - это запрещение курения на судне и использования открытого огня;
- эксплуатационными мероприятиями являются своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания оборудования.

Для обеспечения пожарной безопасности запрещено загромождение проходов, к первичным средствам пожаротушения; персонал обязан уметь пользоваться противопожарным инвентарем и средствами пожаротушения; каждый работник проходит инструктаж, обучение и проверку знаний по соблюдению мер пожарной безопасности.

Все судовые конструкции, влияющие на пожарную безопасность, должны строго соответствовать существующим общегосударственным правилам (например, Правилам Речного Регистра, части 5 «Противопожарная защита»).

#### **5.4.4 Разработка действий по ликвидации данной ЧС**

Если пожар на катере всё-таки возник, то первое что нужно сделать, это оценить его масштаб, условия развития пожара и объём горючих веществ. Если есть риск для жизни и здоровья людей, то следует немедленно приступить к их эвакуации из опасных зон. Это первоочередная задача, которая выполняется при малейшей возможности. При их эвакуации основная часть средств пожаротушения должна находиться на предполагаемых путях прохождения людей. Если судно на ходу, то нужно остановить его движение, а в случае необходимости развернуть так, чтобы пламя и дым сбивались ветром за борт. Если масштаб возгорания позволяет устранить его, то необходимо действовать по следующему плану. Первое нужно локализовать пожар, далее предупредить возможность взрыва и затем ликвидировать пожар. Учитывая размеры катера 6,7 м, а также тот факт, что в кабине размещён персонал, а на палубе пассажиры, то возможность неожиданного масштабного пожара практически исключена, соответственно причаливать или вызывать службу спасения смысла нет. Возгорание получится потушить своими силами. Если предположить, что как-то возник крупный пожар и его нельзя потушить, то в данном случае придётся просто покинуть речное судно и вплавь добираться до берега.

Основными видами пожаротушения являются огнетушители. Оборудовать помещение воздушно-пенными огнетушителями нельзя, поэтому для ликвидации применяются огнетушители, представленные в таблице 5.4.1 [36]. Стоит заблаговременно приготовить диэлектрические перчатки и боты, а также предусмотреть защиту органов дыхания.

Таблица 5.4.1 – Безопасное расстояние тушения пожара

Напряжение, кВ	Безопасное расстояние	Огнетушители
До 0,38	Не менее 1 метра	Хладоновые
До 1	Не менее 1 метра	Порошковые

### **Выводы по 5 главе**

Объектом исследования данного раздела являлась оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды при работе электротехнического (электроэнергетического) персонала, обслуживающего проектируемую систему электроснабжения на маломерном судне. Наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями при работе персонала могут быть пожар или взрыв. Так же опасным фактором является поражение электрическим током. Персонал, обслуживающий электроустановки и оборудование на судне, работает в условиях возможного воздействия ряда неблагоприятных для здоровья факторов. В связи с этим, обязательным является соблюдение санитарных норм проектирования судов. Поэтому «Социальная ответственность» и их внедрение на производстве очень важно, в данной работе это было отражено. По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что судно соответствует нормативно-технической документации.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной работе была рассмотрена солнечная электростанция, способная за счет энергии солнца в достаточной мере обеспечить покрытие потребности в электрической энергии электромотора маломерного судна.

Электрическая энергия вырабатывается 12 солнечными модулями, бесперебойность электроснабжения обеспечивается за счет установки 4 накопителей, суммарной емкостью 416 А·ч и напряжением 24 В. Системой предусмотрена установка инвертора с микроконтроллером, который не только преобразует вырабатываемую энергию постоянного тока в переменный ток, но и синхронизирует систему, обеспечивая оптимальный режим заряда/разряда аккумуляторных батарей и их защиту.

Согласно разработанной схеме солнечной электростанции, выбрано основное оборудование. Полная стоимость основного оборудования электростанции составляет 1 110 300 рублей.

В целом, в рассматриваемом регионе не сильно высокий потенциал возобновляемых источников энергии. Однако, использование новейшего и высокоэффективного оборудования, позволяет использовать альтернативную энергетику в этом районе. Спроектированная система электроснабжения наглядно это демонстрирует.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виссарионов В. И. Дерюгина Г. В. Кузнецова В. А., Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов/ Под. Ред. В. И Виссарионова- М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 320 с.
2. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова, Е.Б. Шандарова. - М.: Энергоатомиздат, 2008. - 231 с
3. Будко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства/ И. А. Будко Т. Б. Лещинская - М.: Колос, 2000. - 536 с.
4. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
5. Речной транспорт, общая характеристика [Электронный ресурс]: <https://poisk-ru.ru/s7493t6.html> (дата обращения: 10.03.2021)
6. Речной транспорт России [Электронный ресурс]: <https://cyberlesson.ru/morskoj-transport-rossii/> (дата обращения: 10.03.2021)
7. Солнечные элементы. Монтаж и эксплуатация. URL: <http://www.solarempire.ru/> (дата обращения: 10.03.2021)
8. Производство и эксплуатация солнечного оборудования [Электронный ресурс]: <http://www.hevelsolar.ru/> (дата обращения: 10.03.2021)
9. Типовые схемы подключения ВИЭ [Электронный ресурс]: <http://electrohobby.ru> (дата обращения: 10.03.2021)
10. Основные маршруты речного транспорта РФ [Электронный ресурс]: <https://fb.ru/article/147149/rechnoy-transport-perevozka-rechnyim-transportom-rechnoy-vokzal> (дата обращения: 10.03.2021)
11. Климат Ленинградской области [Электронный ресурс]: <http://www.cankt-peterburg.ru/gorod/spravka/geografiya/klimat> (дата обращения: 10.03.2021)
12. Солнечные панели компании Nevel. Исследование и режим работы [Электронный ресурс]: <https://www.hevelsolar.com/catalog/solnechnye->

moduli/ (дата обращения: 10.03.2021)

13. Солнечные панели компании Энергосоюз. Исследование и режим работы [Электронный ресурс]: <https://energo-souz.ru/moduli-fsm/> (дата обращения: 10.03.2021)

14. Выбор электрооборудования для солнечной станции [Электронный ресурс]: <https://energiya-prirody.prom.ua/> (дата обращения: 10.03.2021)

15. Маломерное судно [Электронный ресурс]: <http://www.katera-lodki.ru/vympel7000> (дата обращения: 10.03.2021)

16. Двигатель А20е компании Aquamot [Электронный ресурс]: <https://fisherninja.ru/aquamott-ae20e.html> (дата обращения: 10.03.2021)

17. Аккумулятор YPB 24V104 компании Titanat [Электронный ресурс]: <https://fisherninja.ru/litievuj-akkumuljator-24v-100-ach.html> (дата обращения: 10.03.2021)

18. Инвертор ИС1-24-2000Р DC-AC [Электронный ресурс]: <https://solarbreeze.ru/vkhodnoe-napryazhenie-24-v/351-is1-24-2000p.html> (дата обращения: 10.03.2021)

19. Приближённая оценка экономичности водоизмещающего катера [Электронный ресурс]: [http://www.barque.ru/shipbuilding/2001/estimate\\_of\\_economics\\_displacement\\_boat](http://www.barque.ru/shipbuilding/2001/estimate_of_economics_displacement_boat) (дата обращения: 10.03.2021)

20. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.

21. Попова С.Н. Управление проектами. Часть I: учебное пособие / С.Н. Попова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 121 с.

22. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю. "Методы менеджмента качества" №7 2002 г.

23. ГОСТ Р МЭК 62485-2-2011 Батареи аккумуляторные и установки батарейные. Требования безопасности.

24. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные

факторы. Классификация».

25. ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях»

26. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».

27. ГОСТ 24389-89. Системы кондиционирования воздуха, вентиляции и отопления судов.

28. ГОСТ 12.1.003 - 2014 «Шум. Общие требования безопасности».

29. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566–96 «2.2.4. Физические факторы производственной среды. 2.1.8 Физические факторы окружающей природной среды».

30. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.

31. ГОСТ 12.1.009-2017 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения».

32. ГОСТ 12.1.038-82. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

33. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение, обращение с отходами.

34. ГОСТ Р 22.3.03 – 94 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях»

35. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.,ил – (Кодексы. Законы. Нормы).

36. СНиП 2.01.02-85 «Противопожарные нормы».

37. Трудовой кодекс Российской Федерации (по состоянию на 1 октября 2017 года). – Новосибирск: Норматика, 2017. – 208 с. – (Кодексы. Законы. Нормы).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Раздел 1

#### Types and characteristics of solar panels and storage batteries

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5AM99	Бумагин Олег Викторович		

Консультант школы ИШЭ отделения (НОЦ) ОЭЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Георгий Иванович	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Михайлова Ольга Владимировна			

## **Abstract**

The master's thesis on the topic «Ships with electric drive from the solar station» contains 126 pages of printed text, 44 figures, 12 tables, 18 sources of references, 4 applications.

Keywords: autonomous power supply, solar insolation, power plant, solar module, controller, storage battery.

The object of research is: a Small ship.

The purpose of the research is to design a solar power plant with electric energy storage devices capable of providing uninterruptedly power supply to an electric motor by converting the solar energy.

In the course of the research, the following activities were carried out: the calculation of electrical energy generation by solar modules, the calculation and selection of storage capacities, the development of a solar power plant scheme, selection of solar power plant equipment, study of the dynamic characteristics of an electric drive powered by a solar power plant.

As a result of the research the graphs of electrical energy generation and consumption were built, the type and capacity of storage batteries were selected, a scheme of a solar power plant was developed and the relevant equipment was chosen.

Scope: uninterrupted supply of electrical energy to the consumer on ships. The results obtained in the research can be used for the development of renewable energy projects in the area.

Economic efficiency / significance of research: replacing the share of diesel-powered generators in the production of electricity, providing eco-friendly energy.

The research was carried out using MATLAB SimulinkR2020a, Mathcad15, MathType 6.0, and Microsmooth Office software environments.

## 1.5. Types and characteristics of solar panels and storage batteries

### 1.5.1 Types of solar panels

#### Solar panels made of mono-crystalline solar cells

Mono-crystalline solar cells are among the most expensive because they are made from high quality materials through a complex technological process. The main material used is a layer of specially grown silicon crystals. The finished panels are dark blue silicon grating bars with rounded edges. During the manufacturing process, the module is cut into thinner plates.

The advantages of mono-crystalline solar cells are:

- High efficiency with a value of 17-25%
- Compactness – a smaller area of equipment placement per unit of power

in comparison with polycrystalline solar cells

- Durability - sufficient generation efficiency is provided for about 25 years

There are only two disadvantages of such solar cells:

- High cost and long-term return on investment
- Sensitivity to pollution. Dust scatters light, so the efficiency of dust

covered solar panels drops.

Mono-crystalline solar cells require additional equipment that automatically rotates them throughout the day for the plane of the panels to be always as much perpendicular to the sun's rays as possible.

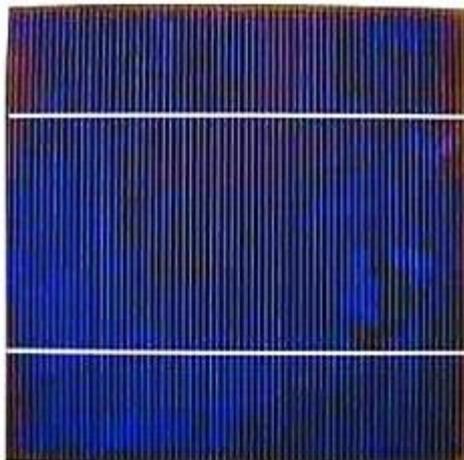


Figure 1.5.1 – Mono-crystalline photovoltaic cells

Typically, mono-crystalline solar cells are in the form of polygons,

which makes it difficult for them to cover the entire area of the panel without gaps. As a result, the specific capacity of the solar panels is slightly lower than that of its constituent parts.

### **Solar panels made of polycrystalline solar cells**

Polycrystalline solar cells have a color uneven in intensity due to the versatile orientation of the crystals. The purity of silicon used in their production is slightly lower than that of mono-crystalline analogs.

The heterogeneity of the material leads to a decrease in the cost of silicon production. Refined metal for polycrystalline solar panels is poured into molds without any special tweaks.

The advantages of solar cells with multidirectional crystals include:

- High efficiency in ambient light conditions
- Possibility of permanent installation on the roofs of buildings
- Lower cost compared to that of mono-crystalline panels
- Duration of operation - the drop in efficiency after 20 years of operation is only 15-20%

There are also disadvantages of polycrystalline panels:

- Reduced efficiency with a value of 12-18%
- Relatively bulky, so they require more installation space per unit of power than mono-crystalline counterparts.

Solar panels made of polycrystalline photovoltaic cells are most common due to their optimal price / efficiency ratio among all types of panels. There is a wide potential to reduce the cost of their production. The efficiency of such panels is also increasing annually, with it rapidly approaching 20% nowadays.

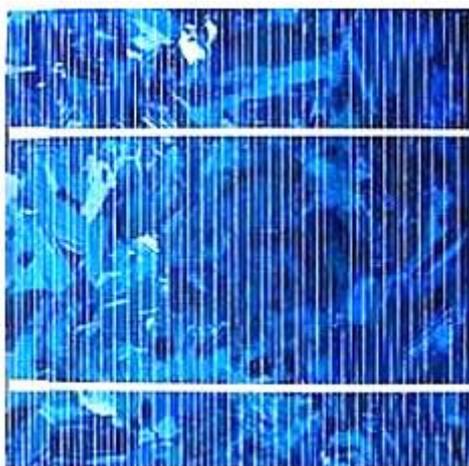


Figure 1.5.2 – Polycrystalline photovoltaic cells

The following subchapters will be devoted to thin-film solar cells. All given types of solar panels have two particular advantages in comparison to panels made of silicon: good flexibility and low weight. In a few years, these technologies will be more in demand due to technology improvement and increasing efficiency of the panels.

### **Solar cells made of amorphous silicon**

The mechanism for the production of solar panels from amorphous silicon is fundamentally different from the production of crystalline photovoltaic cells. This technology doesn't use a non-metal itself, but its hydride, the hot vapors of which are deposited on the substrate. As a result of this technology, classical crystals are not formed, and production costs are sharply reduced.

At the moment, there are already three generations of amorphous silicon panels, each of which with significantly increased efficiency. If the first photovoltaic modules had an efficiency of 4-5%, now the second generation models with an efficiency of 8-9% are being widely sold on the market. The recently developed amorphous panels having an efficiency of up to 12% are already entering the market, but they are still quite expensive.

Summing up, we can point out the following advantages of amorphous solar panels:

- Versatility - the capability to manufacture flexible and thin panels, to mount solar cell on any architectural form

- High efficiency in diffused light
- Stable operation at high temperatures
- Simplicity and reliability of the design. Such panels are hard to break
- Retention of performance under harsh conditions, with their surface being dusty they display less performance drop than their crystalline counterparts

The service life of such photovoltaic cells, starting from the second generation, is 20-25 years with a power drop of 15-20%. The disadvantages of amorphous silicon panels can be attributed only to the need for large areas to accommodate equipment of the required power.



Figure 1.5.3 – Amorphous silicon

### **Cadmium Telluride Solar Panels**

Cadmium is a toxic metal, but when used with solar panels, it does not pose a threat to human health. All the vapors obtained during its activation by solar radiation go into the atmosphere. Solar panels made of cadmium telluride (CdTe) are created using the film technology. Semiconductor layer is applied to a substrate of several hundred microns. Efficiency of such technology is about 11 %. However, in comparison to silicon panels the solar panels made of cadmium telluride are cheaper to produce.



Figure 1.5.4 –Cadmium telluride

### **Solar panels from CIGS**

CIGS is semiconductor consisting of copper, indium, gallium and selenium. Indium and gallium are rare and expensive metals, making it difficult to mass-produce such batteries. But the efficiency of such panels is 15-20% and in terms of efficiency they are in direct competition with mono-crystalline panels. If producers manage to reduce production costs, then they could have good prospects.

The film of such structure is made by melting copper, indium, and gallium with subsequent treatment by vapors of selenium.



Figure 1.5.5 – CIGS semiconductor

### **Perovskite Solar Panels**

The efficiency of solar energy will continue to improve, and one of the promising areas is perovskites, semiconductors with a special crystal structure. These batteries are made from a mineral called perovskite. It is capable of replacing silicon batteries as it is more cost effective. At the moment, the efficiency of installations from this element reaches 20.9%, and potentially it can exceed 27%. It is known in scientific circles that a silicon wafer has parameters of 180 microns. Perovskite, 1 micron thick, is capable of absorbing the same amount of light rays as 180 micron thick silicon. Research, which will help to introduce

perovskites into the energy sector, is being carried out in Russia as well. For example, scientists at Moscow State University have improved the method of assembling perovskite solar cells by using laser cutting. It can further reduce their cost.



Figure 1.5.6 –Perovskite semiconductor panel

### **Organic solar panels**

These are flexible elements that contain organic polymers. They can easily be manufactured by a printer and make an efficient energy source. Photovoltaic modules based on organic and polymer compounds began to be developed only in the last decade, but researchers have already made significant progress.

In the production of polymer panels, substances such as carbon fullerenes, copper phthalocyanine, polyphenylene and others are used. The efficiency of such solar cells reaches 14-15%, and the production cost is several times less than that of crystalline solar panels.

Of critical concern is the issue of the period of degradation of the organic working layer. So far, it has not been possible to confirm the level of its efficiency after several years of operation.

The advantages of organic solar panels are as follows, the environmentally friendly disposal, low cost of production and flexible design. The disadvantages of such photocells include a relatively low efficiency and the lack of reliable information about the periods of stable operation of the panels.

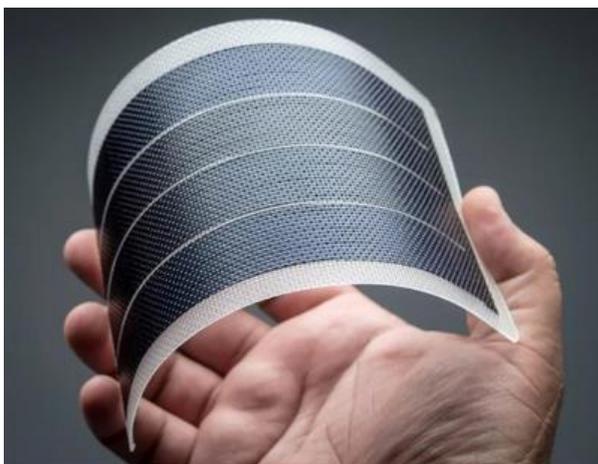


Figure 1.5.7 – organic photovoltaic panel

When choosing solar cells, the question arises whether this or that type of photovoltaic converters will be able to provide the required power for the entire system. The same power of the entire installation can be obtained using any type of solar panels, however, more efficient photovoltaic converters will take up less space and require less space to place them. For example, to obtain one kilowatt of electricity it will take about 8 square meters of the surface of a solar battery based on mono-crystalline silicon, whereas it will take about 20 square meters of amorphous silicon panels.

The above example is of course not absolute. Photovoltaic power generation is not only affected by the total area of solar panels. The electrical parameters of any solar cell are determined under the so-called standard testing conditions, namely at a solar radiation intensity of  $1000 \text{ W / m}^2$ , and a panel operating temperature of  $25 \text{ }^\circ \text{C}$ .

In the countries of Central and Eastern Europe, the intensity of solar radiation rarely reaches the nominal value, therefore, even on sunny days, photovoltaic panels work underload. It may seem that the temperature of  $25 \text{ }^\circ \text{C}$  is also not very common. However, we are talking about the temperature of the solar panel, and not about the air temperature.

## **Conclusion**

In this work, a solar power system is considered, which, due to the energy of the sun, is able to sufficiently meet the need for electric energy of the electric motor of a small ship.

Electric energy is generated by 12 solar modules, uninterrupted power supply is ensured by installing 4 storage units with a total capacity of 416 Ah and a voltage of 24 V. The system provides for the installation of an inverter with a microcontroller, which not only converts the generated DC energy into alternating current, but also synchronizes the system, ensuring optimal charging / discharging of rechargeable batteries and their protection.

According to the developed scheme of the solar power plant, the main equipment has been selected. The total cost of the main equipment items of the power plant is 1,110,300 rubles.

In general, the region under consideration does not have a very high potential for renewable energy sources. However, the application of the latest and highly efficient equipment makes it possible to use alternative energy sources in the area, which has been shown by the proposed design of the power supply system.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Технические параметры солнечной панели ФСМ 400М ТР

Тип солнечных элементов .....	Монокристаллические
Номинальная мощность .....	400Вт, (0 ~ +6Вт)
Ток при пиковой мощности (Imp) .....	9.38А
Ток короткого замыкания (Isc) .....	9.91А
Напряжение холостого хода (Voc) .....	48.18В
Максимальное напряжение в системе (VDC) .....	1000В
Размер (Д x Ш x Г) .....	1956 x 992 x 40мм
Вес .....	20.8кг
Материал рамы .....	Анодированный алюминий
Температура эксплуатации .....	-40 ~ +85°C
Количество элементов .....	72шт
Размер элементов .....	158,75x79,375мм
Распределительная коробка .....	IP68
Токопроводящие шины .....	5шт
Коннекторы .....	MC4
Длина кабеля (±5мм) .....	900мм
Сечение кабеля .....	4мм <sup>2</sup>
КПД солнечного модуля .....	19%
КПД солнечного элемента .....	20.7%

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Технические параметры аккумуляторной батареи YPB 24V104  
компании Titanat

- Минимальная емкость 100 Ач
- Максимальный ток заряда – 52 А
- Максимальный ток разряда – 80 А
- Напряжение полного заряда – 29,2 В
- Напряжение полного разряда – 20 В
- Габаритные размеры Д x Ш x В - 430 x 360 x 150 мм
- Вес 18 кг
- Гарантия 1 год

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Технические параметры инвертора ИС1-24-2000Р DC-АС фирмы

СибКонтакт

Марка .....	Сибконтакт
Серия .....	ИС1
Страна .....	Россия
КПД .....	92%
Номинальная мощность .....	2 кВт
Максимальная мощность .....	3 кВт (в течение 5 сек.)
Форма выходного сигнала .....	чистая синусоида
Напряжение на входе .....	24 В
Входной диапазон напряжений .....	21–30 В
Напряжение на выходе .....	220 В
Частота .....	50 Гц
Рабочий температурный диапазон .....	от -10 до +40 °С
Длина проводов .....	50 см (возможно увеличение длины)
Габариты .....	233x357x102 мм
Масса .....	5.3 кг



Рисунок Г1 – Внешний вид выбранного инвертора