

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Инженерно-строительный институт  
Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства

Работа допущена к защите  
Директор ВШ ГиЭС  
\_\_\_\_\_ Г.Л. Козинец  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

\_\_\_\_\_ магистерская диссертация \_\_\_\_\_

### МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВДЭС НА КАМЧАТКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

по направлению подготовки 08.04.01 Строительство

Направленность \_08.04.01\_24 Цифровое проектирование и управление  
объектами возобновляемой энергетики

Выполнил  
студент гр. 3140801/82401

В.И.Касина

Руководитель  
профессор,  
доктор технических наук

В.В.Елистратов

Консультант  
по нормоконтролю

И.Г. Кудряшова

Санкт-Петербург

2020

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

**Инженерно-строительный институт**

**Высшая школа гидротехнического и энергетического строительства**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ВШ

Г.Л.Козинец

«10» 02 2020 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

студенту

Касиной Валерии Игоревне

1. Тема работы: Методика проектирования ВДЭС на Камчатке с использованием геоинформационных технологий
2. Срок сдачи студентом законченной работы: 15 июня 2020
3. Исходные данные по работе: район строительства-с. Тиличики, Камчатский край, информация об объектах генерации в изолированных и труднодоступных местах, представленная на сайте Министерства энергетики-  
<https://minenergo.gov.ru/node/16540>
4. Содержание работы (перечень подлежащих разработке вопросов):
  - Анализ состояния энергоснабжения РФ
  - Анализ состояния энергоснабжения изолированных регионов РФ
  - Определение методики проектирования арктической ВДЭС
  - Использование ГИС технологий для проектирования объектов энергоснабжения
  - Проектирование ВДЭС в поселке Тиличики (Камчатский край)
5. Перечень графического материала: Генеральный план ВЭС с. Тиличики, электрическая схема ВЭС, чертеж ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения
6. Консультанты по работе: отсутствуют
7. Дата выдачи задания 03.02.2020

Руководитель ВКР



В.В Елистратов

Задание принял к исполнению 03.02.2020

Студент



В.И.Касина

## Календарный план подготовки магистерской диссертации

№	Содержание планируемой работы	Сроки выполнения		Отметка научного руководителя о выполнении
		начало	конец	
1	СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РФ	01.03.20	01.04.20	
1.1	Актуальное состояние энергетики РФ	01.03.20	01.04.20	
1.2	Тенденции развития энергетики мира	01.03.20	01.04.20	
1.3	Законодательная поддержка и тенденции развития ВИЭ в РФ	01.03.20	01.04.20	
1.4	Выводы	01.03.20	01.04.20	
2	АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ РЕГИОНОВ РФ	01.04.20	01.05.20	
2.1	Анализ развития и состояния объектов генерации в изолированных регионах	01.04.20	01.05.20	
2.2	Особенности энергоснабжения изолированных регионов	01.04.20	01.05.20	
2.3	Модернизация объектов генерации в изолированных территориях	01.04.20	01.05.20	
2.4	Выводы	01.04.20	01.05.20	
3	МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ВДЭС	01.04.20	01.05.20	
3.1	Методика проектирования ВДЭС для условий Арктики и Дальнего Востока с использованием геоинформационных технологий	01.04.20	01.05.20	
3.2	Состав и особенности арктической ВДЭС	01.04.20	01.05.20	

3.3	Выводы	01.04.20	01.05.20	
4	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ	01.05.20	13.05.20	
4.1	Актуальность использования геоинформационных технологий	01.05.20	13.05.20	
4.2	Формирование слоев ГИС при проектировании ВДЭС в сложных климатических условиях	08.06.20	13.05.20	
4.3	Методика проектирования ГИС слоев	08.06.20	13.05.20	
4.4	Выводы	08.06.20	13.05.20	
5	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВДЭС В ПОСЕЛКЕ ТИЛИЧИКИ (КАМЧАТСКИЙ КРАЙ)	01.05.20	13.05.20	
5.1	Анализ энергоснабжения Камчатского края	01.05.20	15.05.20	
5.2	Ветроэнергетика Камчатского края	01.05.20	15.05.20	
5.3	Характеристика дизельных станций с. Тилички	01.05.20	30.05.20	
5.4	Логистика доставки оборудования в с. Тилички	01.05.20	30.05.20	
5.5	Определение площадки строительства ВЭС	01.05.20	08.06.20	
5.5.1	Природно-климатические особенности региона строительства	01.05.20	08.06.20	
5.5.2	Определение ВЭР	01.05.20	08.06.20	
5.5.3	Определение зоны строительства ВЭС	01.05.20	08.06.20	
5.6	Анализ графиков нагрузки	01.05.20	08.06.20	
5.7	Обоснование ВЭУ для ВДЭС с. Тилички	06.06.20	08.06.20	
5.7.1	Параметры ВЭУ	06.06.20	08.06.20	
5.7.2	Определение количества ВЭУ	06.06.20	08.06.20	


5.7.3	Компоновка ВДЭС и генеральный план объекта	06.06.20	13.05.20	
5.8	Фундамент ВЭУ	07.06.20	13.05.20	
6	Экономические показатели проекта	06.06.20	08.06.20	
6.1	Определение стоимостных показателей	06.06.20	08.06.20	
6.2	Расчет экономических показателей	06.06.20	08.06.20	
6.3	Вывод	06.06.20	08.06.20	

Научный руководитель



В.В Елистратов

Студент



В.И.Касина

## РЕФЕРАТ

На 126 с., 75 рисунков, 20 таблиц, 3 приложения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ВЕТРОДИЗЕЛЬНЫЙ ЭНЕРГОКОМПЛЕКС, ИЗОЛИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ, ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА, ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, АНАЛИЗ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ.

Создание и разработка геоинформационного пространства для создания ЭК ВДЭС является научной новизной работы. Определена структура и слои геоинформационной системы. Для реализации проведен анализ программ, технологий и баз данных. Созданы слои с данными о ДЭС, расположенных в девяти изолированных регионах РФ, о скорости ветрового потока на высоте 50 м и 100 м и представлен слой с энергетической сетью по всей территории РФ.

Проведен анализ энергоснабжения изолированных территорий РФ. В работе запроектирован ветродизельный энергокомплекс в п. Тилички Камчатского края, в составе которого 10 ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения, мощность ВЭС 1,2 МВт, годовая выработка ВЭС 6165 МВтч в год, КИУМ составляет 52,6%. Данный энергокомплекс разработан с учетом климатических особенностей региона, низкие температуры, вечно-мерзлые грунты и сложной транспортной доступностью. Энергокомплекс ВДЭС в п. Тилички необходим для модернизации существующих ДЭС и снижения затрат на завоз дорогостоящего дизельного топлива. В проекте за счет работы ВЭС доля замещения дизельного топлива составляет 27%.

Определены экономические показатели проекта: показатель CAPEX – 346,5 млн. руб., дисконтированный индекс доходности – 1,86, внутренняя норма доходности больше ставки дисконтирования и равна 19,85%, чистая приведенная стоимость 297 млн. руб, Простой срок окупаемости составляет 4 года, дисконтированный – 8 лет.

## ABSTRACT

126 pages, 75 figures, 20 tables, 3 appendices.

**KEY WORDS:** WIND DIESEL ENERGY COMPLEX, INSULATED POWER SUPPLY SYSTEM, GEOINFORMATION TECHNOLOGIES, WIND POWER INSTALLATION, WIND POWER RESOURCES, ANALYSIS POWER SUPPLY.

The creation and development of a geographic information space for creating a wind-diesel energy complex is the scientific novelty of the work. The structure and layers of the geographic information system are determined. To implement the analysis of programs, technologies and databases. Layers were created with data on DES located in nine isolated regions of the Russian Federation, on the speed of the wind flow at an altitude of 50 m and 100 m, and a layer with an energy network throughout the territory of the Russian Federation was presented.

An analysis of the energy supply of isolated territories is carried out. A wind-diesel power complex was designed in the village of Tilichiki of the Kamchatka Territory, which includes 10 wind turbines Ghrepower FD25-100 of Arctic design, wind power capacity of 1.2 MW, annual output of wind power of 6165 MWh per year, KIUM is 52.6%. This energy complex is designed taking into account the climatic features of the region, low temperatures, permafrost soils and complex transport accessibility. a wind-diesel power complex in the village of Tilichiki is needed to modernize existing diesel power plants and reduce the cost of importing expensive diesel fuel. Due to the work of the wind farm, the share of diesel fuel substitution in the project is 27%.

The economic indicators of the project are determined: the CAPEX indicator is 346.5 million rubles, the discounted rate of return is 1.86, the internal rate of return is greater than the discount rate and equal to 19.85%, the net present value is 297 million rubles, the simple payback period is 4 years, discounted - 8 years.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПАСПОРТ ОБЪЕКТА .....</b>	<b>13</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>14</b>
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РФ .....</b>	<b>17</b>
1.1 Актуальное состояние энергетики РФ .....	17
1.2 Тенденции развития энергетики мира .....	20
1.3 Законодательная поддержка и тенденции развития ВИЭ в РФ .....	24
1.4 Выводы к первой главе .....	27
<b>ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ РЕГИОНОВ РФ .....</b>	<b>29</b>
2.1 Анализ развития и состояния объектов генерации в изолированных регионах.....	29
2.2 Особенности энергоснабжения изолированных регионов .....	36
2.3 Модернизация объектов генерации в изолированных территориях .....	37
2.4 Выводы ко второй главе .....	41
<b>ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ВДЭС. 42</b>	<b>42</b>
3.1 Методика проектирования ВДЭС для условий Арктики с использованием геоинформационных технологий.....	42
3.2 Состав и особенности ВДЭС для условий Арктики .....	47
3.3 Выводы к третьей главе .....	54
<b>ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ .....</b>	<b>55</b>
4.1 Актуальность использования геоинформационных технологий .....	55
4.2 Формирования слоев ГИС при проектирования ВДЭС в сложных климатических условиях .....	57

4.3	Методика проектирования ГИС слоев .....	61
4.4	Выводы к четвертой главе .....	66
<b>ГЛАВА 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВДЭС В КАМЧАТСКОМ КРАЕ В ПОСЕЛКЕ ТИЛИЧИКИ.....</b>		<b>67</b>
5.1	Анализ энергоснабжения Камчатского края .....	67
5.1.1	Ветроэнергетика Камчатского края .....	72
5.2	Характеристика дизельных станций с. Тилички .....	76
5.3	Логистика и доставка оборудования в с. Тилички .....	81
5.4	Анализ графиков нагрузки .....	82
5.5	Определение площадки строительства ВЭС .....	83
5.5.1	Природно-климатические особенности региона строительства .....	83
5.5.2	Определение ВЭР .....	87
5.5.3	Определение зоны строительства ВЭС .....	94
5.6	Определение ВЭУ для ВДЭС с. Тилички.....	99
5.6.1	Параметры ВЭУ .....	99
5.6.2	Компоновка ВДЭС и генеральный план объекта.....	102
5.7	Фундамент ВЭУ .....	103
5.8	Вывод по пятой главе .....	107
<b>ГЛАВА 6. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТА.....</b>		<b>109</b>
6.1	Определение стоимостных показателей .....	109
6.2	Расчет экономических показателей .....	111
6.3	Вывод к шестой главе .....	117
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>		<b>118</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>		<b>120</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОБЩИЙ ВИД ВЭУ GHPower FD25-100 .....</b>		<b>124</b>

<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ПЛАН ВЭС ПОСЕЛКА ТИЛИЧИКИ</b> .....	<b>125</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ВЕТРОУСТАНОВОК</b> <b>ТИЛИЧИКИ.....</b>	<b>126</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ДЭС – дизельная электростанция;

ВЭУ – ветроэлектрическая установка;

ВДЭС – ветродизельная электростанция;

ДГУ – дизель-генераторная установка;

ВИЭ – возобновляемые источники энергии;

ВЭР – ветроэнергетические ресурсы;

ВЭС – ветроэлектрическая станция;

ГИС – геоинформационная система

ГЭС – гидроэлектростанция;

СЭС – солнечная электростанция;

АКБ – аккумуляторная батарея;

АСУ – автоматизированная система управления;

ЭК – энергокомплекс;

КИУМ – коэффициент использования установленной мощности;

СМР – строительные-монтажные работы

ВЭР – ветроэнергетический ресурс;

ВК – ветроколесо.

## ПАСПОРТ ОБЪЕКТА

Населенный пункт	п. Тиличики, Камчатский край
Установленная мощность ВДЭС	11000 кВт
Установленная мощность ВЭС	1200 кВт
Количество ВЭУ	10 шт
Номинальная мощность ВЭУ	120 кВт
Фирма и страна производитель ВЭУ	Ghrepower FD25-100 арктического исполнения, Китай
Диаметр ВК	25 м
Количество лопастей	3 шт
Высота башни ВЭУ	42 м
Скорость страгивания	3 м/с
Номинальная скорость ветра	10 м/с
Максимальная скорость ветра	3-25 м/с
Буревая скорость ветрового потока	52,5 м/с
Тип генератора	3-х фазный, синхронный на постоянных магнитах
Срок эксплуатации ВЭУ	20 лет
КИУМ	52,6 %
Среднегодовая выработка ВЭС	6165 МВтч в год
Среднегодовая выработка ВДЭС	22566 МВтч в год
Уровень замещения	27 %
Чистый дисконтированный доход	297 млн. руб,
Дисконтированный срок окупаемости	8 лет
Внутренняя норма доходности	19,85
Дисконтированный индекс доходности	1,86
Показатель CAPEX	346,5 млн. руб

## ВВЕДЕНИЕ

Мировая энергетика стремительно преобразуется, происходит энергопереход, который влияет не только на энергетическую сферу, но на экономику стран и мира, окружающую среду и мир в целом, по средствам внедрения экологически чистых объектов возобновляемой энергетики. Одним из важных элементов энергоперехода РФ - децентрализация, заключающаяся в развитии распределенной энергетики в изолированных системах энергоснабжения. Актуально – определить новые решения в области производства, строительства и хранения электроэнергии с одновременным развитием умных сетей. Основное свойство развития изолированных систем энергоснабжения – близость к потребителю качественной энергии с минимальными затратами и субсидированием арктических и труднодоступных регионов. Таким образом, в работе отражены актуальные элементы энергоперехода РФ с целью улучшения энергетической, социальной и экологической сферы.

**Цель работы** – разработать методику для проектирования ВДЭС, адаптированной к суровым климатическим условиям с использованием геоинформационных технологий, интегрирующих базы данных, необходимые для автоматизации, совершенствования и упрощения проектирования энергокомплексов на базе ВИЭ с использованием ветрового ресурса в условиях недостаточных климатических данных.

### **Задачи исследования:**

1. Провести аналитику современного развития энергетики, в частности ВИЭ, в мире и в РФ, определив основные тенденции. Сделать анализ современного состояния энергоснабжения в изолированных и труднодоступных регионах РФ, определив основные проблемы, и определить метод их решения, изучить политические особенности в отношении развития данных территорий. Дать оценку современному энергоразвитию рассматриваемых территорий.

2. Изучить рынок геоинформационных технологий, проанализировать базы данных для создания слоев. Определить необходимые параметры для ГИС-пространства, слои. Определить алгоритм работы в ГИС на примере одной из систем.
3. Создать методику проектирования Арктической ВДЭС с использованием геоинформационных технологий. Изучить особенности при проектировании, строительстве и эксплуатации ВДЭС в условиях холода. Методика должна содержать первостепенное решение проблем энергоустановок, этапы проектирования и строительства с учетом актуальных предпосылок к энергопереходу в РФ, созданию современных технологий энергоснабжения для изолированного энергоснабжения.
4. Запроектировать Арктическую ВДЭС по разработанной методике в Камчатском крае. Определить ДЭС для модернизации станции. Определить состав ВДЭС, разработать строительный план и схему работы станции, определить экономическую эффективность.

**Перечень публикаций по теме работы:**

1. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Optimization of Wind-Diesel Power Plants Parameters and Placement for Power Supply of Russia's Northern Regions Consumers 2019 16th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019 - Proceedings, № 8771647. DOI: 10.1109/ELMA.2019.8771647 (SCOPUS);
2. V.V Elistratov, I.V Bogun, V.I Kasina. Development of a Geoinformation System for the Design of Wind Power Facilities in the Russian Arctic Conditions. 4th International Scientific Conference "Arctic: History and Modernity". IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 302 (1), 2019, 012064. DOI:10.1088/1755-1315/302/1/012064 (SCOPUS);
3. Касина В.И. Использование геоинформационных систем при создании проектов в ветроэнергетике (РИНЦ, Неделя науки СПбПУ: материалы

- научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2018, стр. 110-112);
4. Касина В.И.. Перспективы развития энергоснабжения изолированных территорий России (РИНЦ, Неделя науки СПбПУ 2017: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт. Кафедра водохозяйственного и гидротехнического строительства, 2017, стр. 318-321);
  5. Касина В.И., Богун И.В. Создание слоя состояния энергоснабжения в ГИС для арктической зоны РФ (РИНЦ, Неделя науки СПбПУ 2019: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2019, стр. 263-266);
  6. Касина В.И., Богун И.В. Стратегия развития использования возобновляемых источников энергии (РИНЦ, Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции, 2018, стр. 456-464).



# ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РФ

## 1.1 Актуальное состояние энергетики РФ

Установленная мощность электростанций ЕЭС России на 01.01.2020 составила 246342,45 МВт. Выработка электроэнергии электростанциями ЕЭС России в 2019 году составила 1080,6 млрд кВт·ч (рисунок 1). Потребление электроэнергии в 2019 году составило 1059,4 млрд кВт·ч. Увеличение установленной мощности электростанций ЕЭС России в 2019 году произошло за счет: ввода в работу нового генерирующего оборудования в объеме 2969,9 МВт и увеличения установленной мощности действующего генерирующего оборудования в связи с его перемаркировкой – 244,09 МВт.

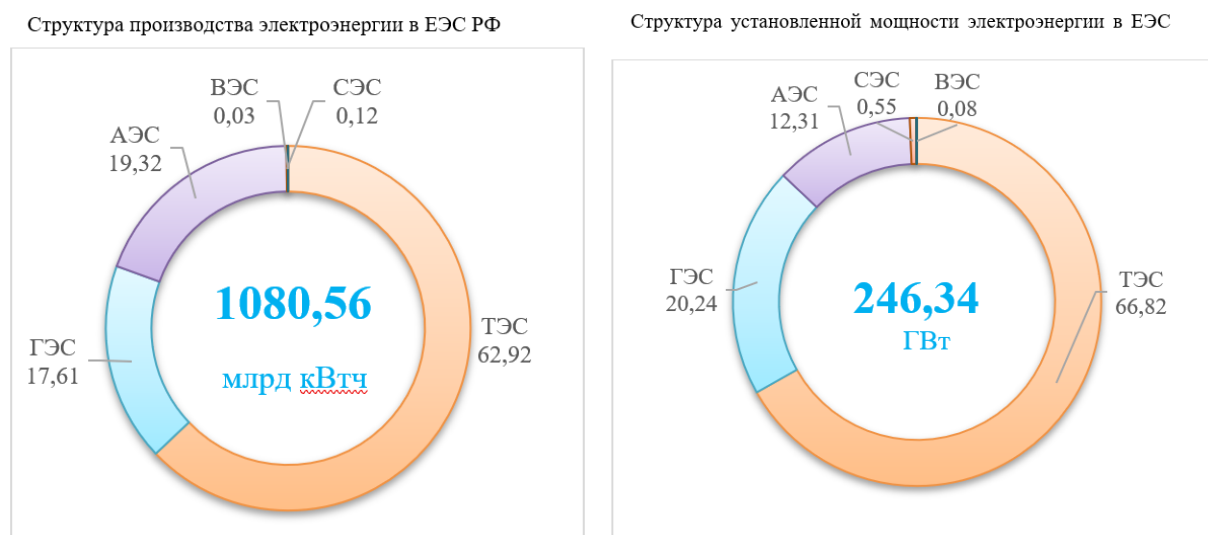


Рисунок 1 – Мощность ЕЭС России по данным на 31.12.2019

Структура производства электроэнергии в ЕЭС России в 2019 году по типам электростанций приведена на рисунке 2. Выработка на ТЭС составляет 62,8 %, на АЭС -19,1%, на ВИЭ, включая ГЭС – 18,1%. Распределение годового объема производства электроэнергии по типам электростанций в 2019 году составило: ТЭС – 679881,0 млн кВт·ч (снижение производства на 0,3%); ГЭС – 190295,4 млн кВт·ч (увеличение производства на 3,6%); АЭС – 208773,3 млн кВт·ч (увеличение производства на 2,2%); ВЭС – 320,8 млн кВт·ч (увеличение производства на 47,3%); СЭС – 1284,9 млн кВт·ч (увеличение производства на 69,4%).

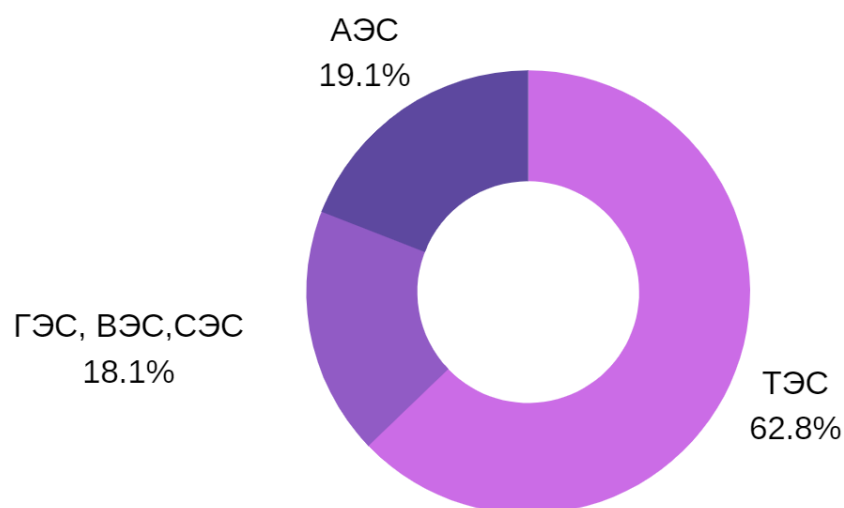


Рисунок 2 - Структура производства электроэнергии в ЕЭС России в 2019 году по типам электростанций

Выведено из эксплуатации генерирующее оборудование электростанций ЕЭС России суммарной мощностью 1746,03 МВт. Установленная мощность электростанций ОЭС и ЕЭС России приведена на рисунке 3.

Энергосистема	На 31.12.2018, МВт	Изменение установленной мощности, МВт					На 01.01.2020, МВт
		Вводы	Вывод из эксплуатации	Перемаркировка		Прочие изменения (уточнение и др.)	
				Увеличение	Снижение		
<b>ЕЭС РОССИИ</b>	<b>243 243,20</b>	<b>2 969,90</b>	<b>1 746,03</b>	<b>244,09</b>	<b>181,53</b>	<b>1 812,82</b>	<b>246 342,45</b>
ОЭС Центра	52 447,29	1 294,48	1 080,00	33,94	46,40	-0,73	52 648,58
ОЭС Средней Волги	27 591,76	71,22	172,00	30,50	40,00	12,40	27 493,88
ОЭС Урала	53 614,35	98,44	234,30	67,54	13,29	163,7	53 696,44
ОЭС Северо-Запада	24 551,82	-	91,73	4,75	1,10	8,37	24 472,11
ОЭС Юга	23 535,89	1 323,76	-	8,15	9,25	-0,82	24 857,73
ОЭС Сибири	51 861,09	182,00	-	61,47	-	0,20	52 104,76
ОЭС Востока	9 641,00	-	168,00	37,74	71,49	1 629,70	11 068,95

Рисунок 3 - Изменение установленной мощности 2018 г и начало 2020 г

Структура установленной мощности электростанций объединенных энергосистем и ЕЭС России на 01.01.2020 приведена на рисунке 4.

Энергосистема	Всего, МВт	ТЭС		ГЭС		АЭС		ВЭС		СЭС	
		МВт	%	МВт	%	МВт	%	МВт	%	МВт	%
<b>ЕЭС РОССИИ</b>	<b>246342,45</b>	164612,14	66,82	49870,29	20,24	30313,18	12,31	184,12	0,08	1362,72	0,55
ОЭС Центра	52648,58	36070,23	68,51	1800,07	3,42	14778,28	28,07	-	-	-	-
ОЭС Средней Волги	27493,88	16203,48	58,93	7013,00	25,51	4072,00	14,81	85,40	0,31	120,00	0,44
ОЭС Урала	53696,44	49979,59	93,08	1901,19	3,54	1485,00	2,77	1,66	0,00	329,00	0,61
ОЭС Северо-Запада	24472,11	15572,14	63,64	2947,24	12,04	5947,63	24,30	5,10	0,02	-	-
ОЭС Юга	24857,73	13757,29	55,35	6289,69	25,30	4030,27	16,21	91,96	0,37	688,52	2,77
ОЭС Сибири	52104,76	26577,96	51,01	25301,60	48,56	-	-	-	-	225,20	0,43
ОЭС Востока	11068,95	6451,45	58,28	4617,50	41,72	-	-	-	-	-	-

Рисунок 4 - Структура установленной мощности электростанций объединенных энергосистем и ЕЭС

Фактическое потребление электроэнергии в ЕЭС России в 2019 году составило: 1059361,6 млн кВт·ч, что выше 2018 года на 3802,9 млн кВт·ч (0,36 %). Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России по месяцам 2019 года в сравнении с 2018 и 2017 годами представлена на рисунке 5. На положительную динамику потребления электроэнергии в ЕЭС России повлияло присоединение к энергосистеме с января 2019 года работавших ранее изолированно Западного и Центрального энергорайонов энергосистемы Республики Саха (Якутия), годовые объемы потребления электроэнергии которых составили 3450,9 и 1753,1 млн кВт·ч соответственно.

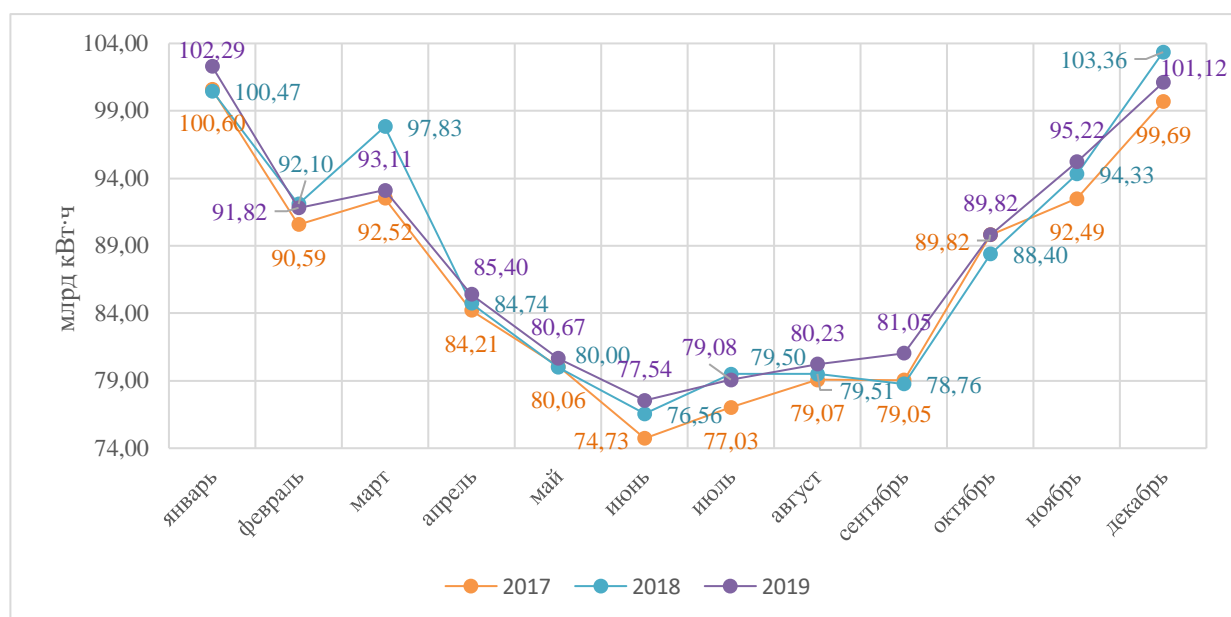


Рисунок 5 - Динамика потребления электроэнергии в ЕЭС России по месяцам 2019 года в сравнении с 2018 и 2017 годами

Пики потребления наблюдаются в зимний период, что обусловлено погодными изменениями и большей потребностью в электроэнергии.

## 1.2 Тенденции развития энергетики мира

Существующие в мире системы электроснабжения разработаны преимущественно для традиционной централизованной электроэнергии. Крупные электростанции вырабатывают основную долю электроэнергии, часто на основе ископаемого топлива. Данная структура системы требует фундаментальных изменений, чтобы обеспечить сокращение выбросов углекислого газа (CO<sub>2</sub>), увеличить рост децентрализованного производства электроэнергии, а также для повышения энергоэффективности. В связи с чем, основное направление развития мировой энергетики - энергетический переход к широкому использованию возобновляемых источников энергии и вытеснению ископаемых видов топлива под влиянием изменений в энергополитике и развития новых технологий [2] (рисунок 6).

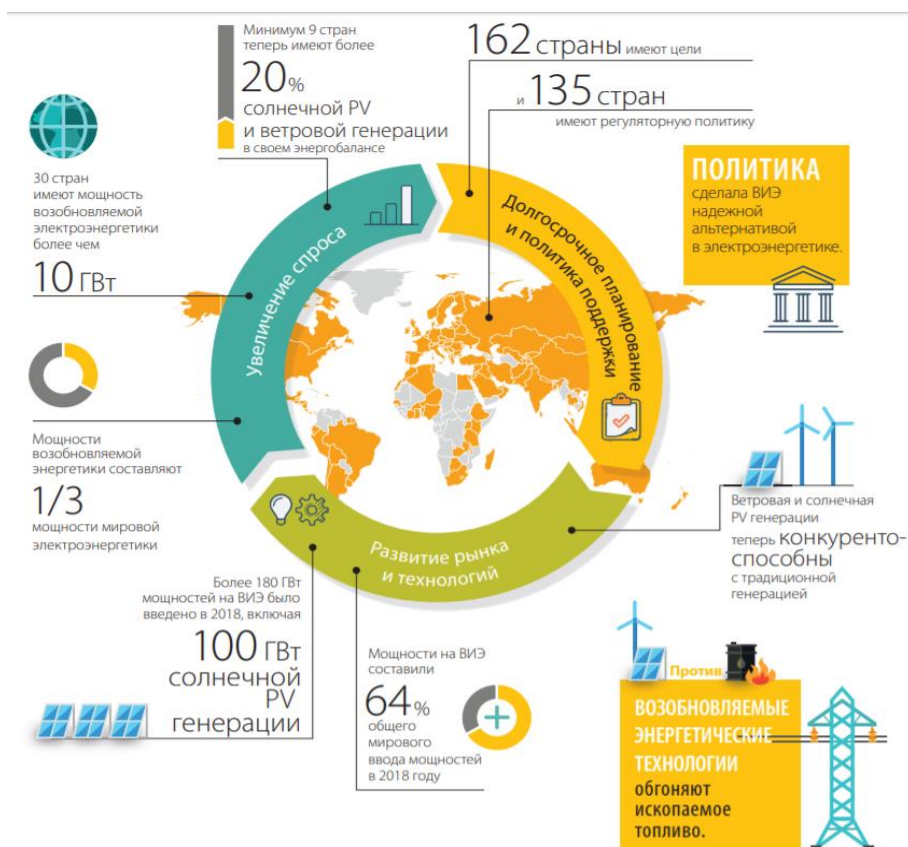


Рисунок 6 – Показатели мировой энергетики

В настоящее время возобновляемая энергетика развивается во всех регионах мира: в 17 странах мощность возобновляемой энергетики, в основном это солнечная и ветроэнергетика (без учета гидроэнергетики), превышает 10 ГВт, а в 45 странах превышает 1 ГВт. Если учитывать гидроэнергетику, более 90 стран имеют более 1 ГВт возобновляемой мощности, а 30 стран более 10 ГВт.

В 2018 году в 135 странах применялась регулирующая политика в отношении ВИЭ в электроэнергетике (например, льготные тарифы или квоты на коммунальные услуги) по сравнению с 75 странами в 2010 году. В ряде стран инвестиции в исследования и разработки, а также промышленная стратегия позволили сократить существенные затраты на технологии возобновляемой энергетике и привлекли финансирование частного сектора.

В 2018 году минимум девять стран произвели более 20% своей электроэнергии с использованием ВИЭ (ветровой и солнечной энергии) [9].

На рисунке 7 представлены данные мировых показаний за 2017 г и 2018 г по установленной мощности объектов ВИЭ.

		<u>2017</u>	<u>2018</u>
<b>ИНВЕСТИЦИИ</b>			
Годовые инвестиции в ВИЭ и топливо	\$ млрд	326	289
<b>ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА</b>			
Мощность возобновляемой энергетике (включая гидроэнергетику)	ГВт	2197	2378
Мощность возобновляемой энергетике (не включая гидроэнергетику)	ГВт	1081	1246
Установленная мощность гидроэнергетики	ГВт	1112	1132
Установленная мощность ветроэнергетики	ГВт	540	591
Установленная мощность солнечной PV энергетике	ГВт	405	505
Установленная мощность биоэнергетики	ГВт	121	130
Установленная мощность геотермальной энергетике	ГВт	12,8	13,3
Установленная мощность солнечной CSP энергетике	ГВт	4,9	5,5
Установленная мощность энергетике океана	ГВт	0,5	0,5

Рисунок 7 – Показатели возобновляемой энергетике

Доля ВИЭ на конец 2018 года составила 26,2% по мировым показателям, их них большую часть занимает гидроэнергетике, затем ветроэнергетике (рисунок 8).

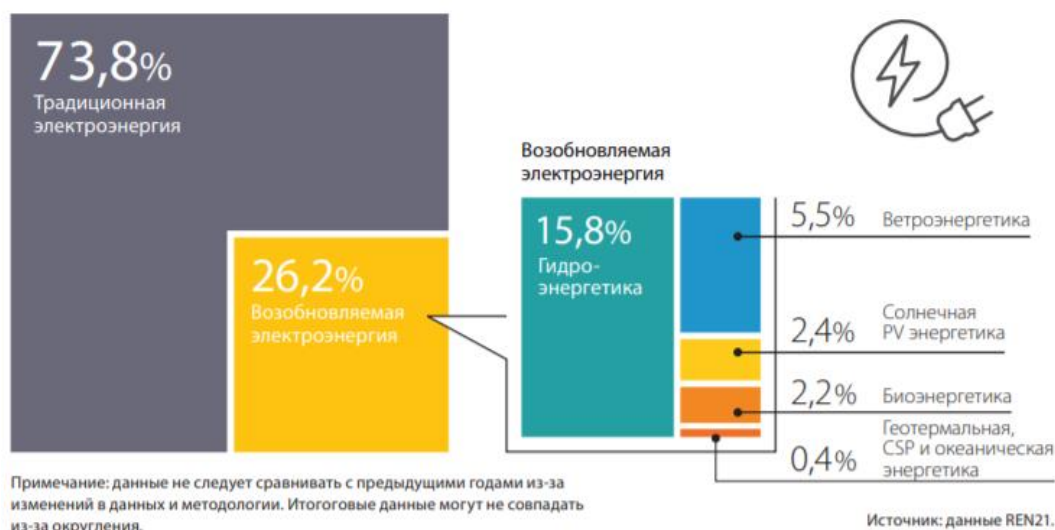


Рисунок 8 – Оценка доли ВИЭ в общем производстве электроэнергии 2018 г

В мировой структуре производства электроэнергии ветроэнергетика занимает четвертое место, что составляет 5,5%, при этом по установленной мощности ВЭС занимают третье место – 7,1% (рисунок 9). 75% прироста мощностей ВЭС за 2018 год сформированы пятью крупнейшими рынками мира: Китай, США, Германия, Индия и Испания.

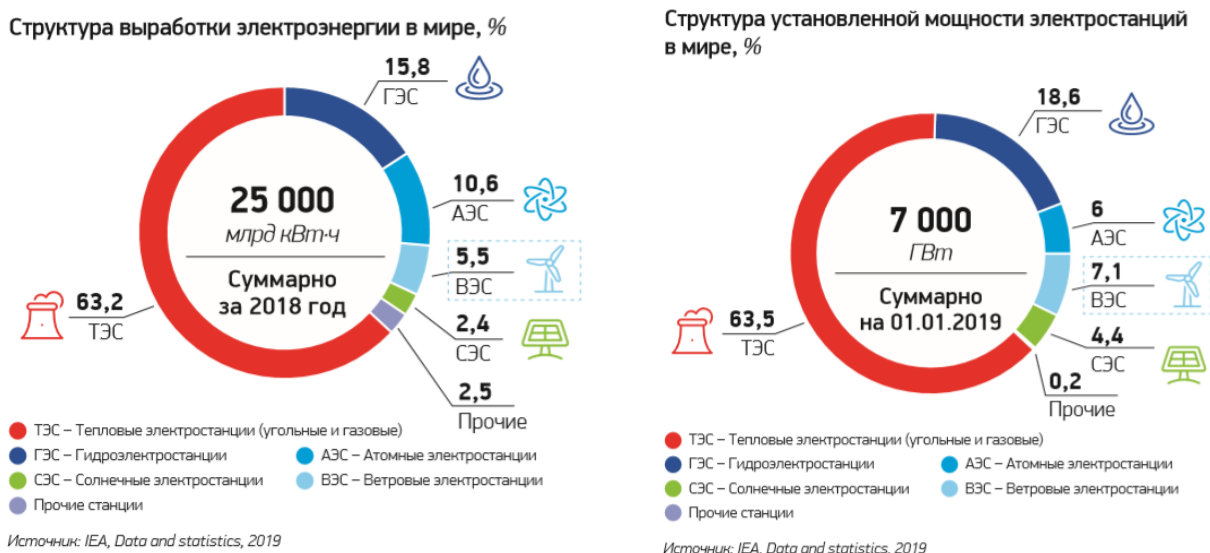


Рисунок 9 – Мировая мощность и выработка объектов генерации за 2018 год

Современная трансформация энергетических рынков во многом обусловлена коммерчески эффективным развитием ВИЭ и повышением их КПД. Динамика изменения средней расчётной себестоимости производства электроэнергии на



протяжении всего жизненного цикла электростанции (LCOE) по мировым показателям по разным видам возобновляемой электроэнергетики с 2010 г по 2018 г представлена на рисунке 10, где видно, что LCOE в большинстве случаев уменьшился, за исключением геотермальной энергетики и гидроэнергетики [8].

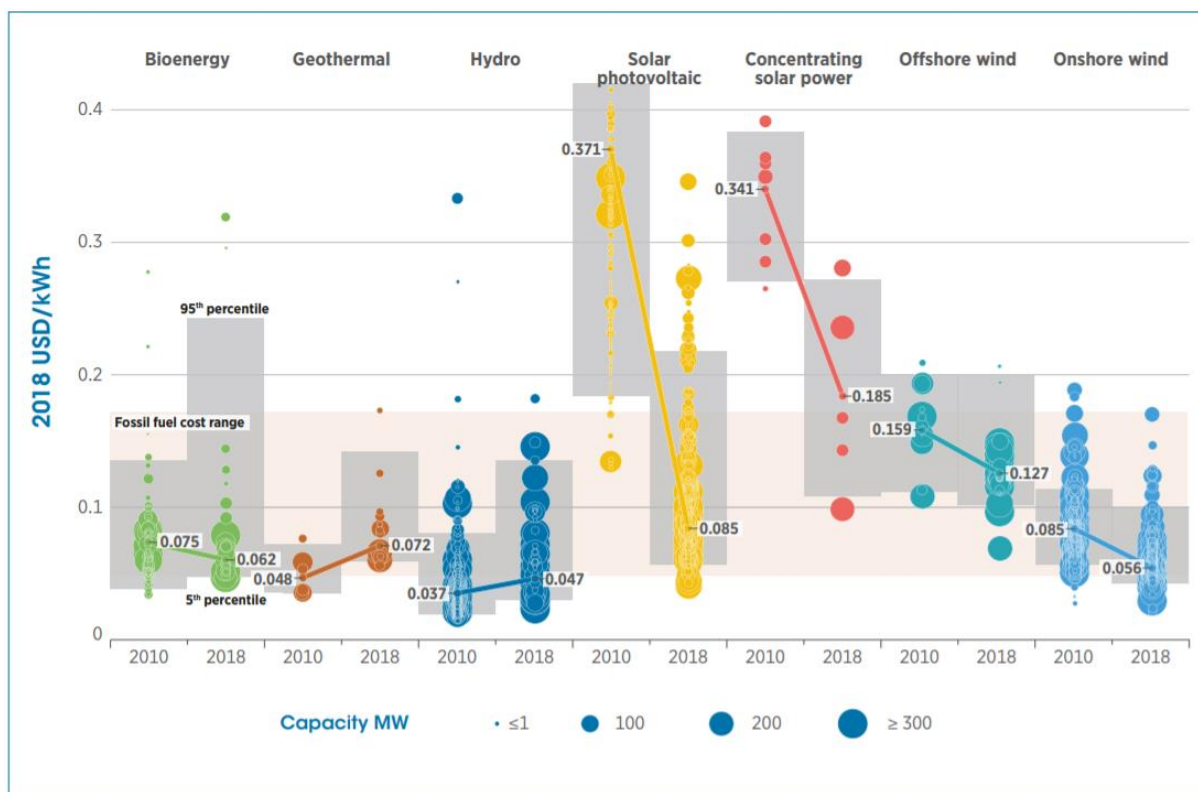


Рисунок 10 – Динамика изменения LCOE по мировым показателям 2010-2018 гг

Энергополитика государств имеет огромное влияние на развитие мировой энергетики. За счет применения фискальных инструментов (налогов, субсидий), формирования промышленных стандартов для топлива и транспортных средств, а также за счет регулятивных мер правительства способны существенно стимулировать или дестимулировать потребление какого-либо вида топлива и управлять спросом на энергоносители. Данные изменения в энергоснабжении стран используется для того, чтобы:

- обеспечить доступность энергии в достаточных объемах и по приемлемым ценам;
- обеспечить надежность и безопасность энергоснабжения;

- обеспечить его экологичность (требование по минимизации антропогенного воздействия энергосистем на окружающую среду).

Распространение ВИЭ и накопителей требует развития технологий распределенной энергетики и в построении и в управлении распределительными электрическими сетями. Управлять подобными системами возможно только с помощью цифровых технологий.

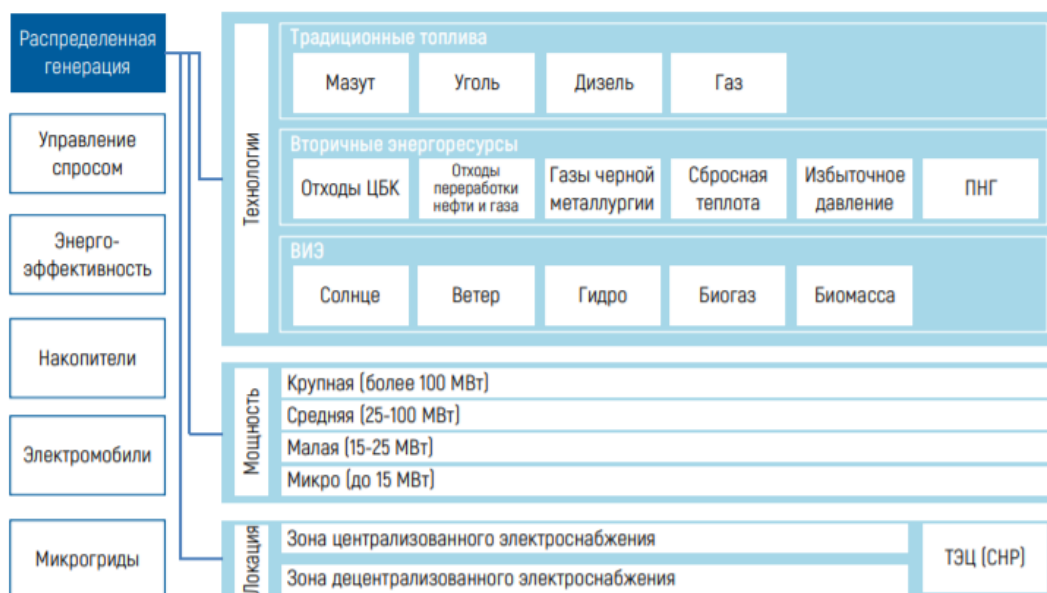
### **1.3 Законодательная поддержка и тенденции развития ВИЭ в РФ**

Основной элемент энергоперехода в РФ, как отмечалось ранее - развитие изолированных энергосистем, преимущественно за счет развития распределенной энергетики. К технологиям распределенной энергетики в мировой практике относят (рисунок 11):

- распределенную генерацию (РГ) – совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных либо непосредственно к потребителю, либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько);
- управление спросом - позволяет уменьшить величины пиковых нагрузок в энергосистеме и, соответственно, потребности системы в установленной мощности электростанций;
- управление энергоэффективностью;
- микрогриды - объединенная энергосистема, состоящая из распределенных энергоресурсов и нескольких электрических нагрузок (потребителей), работающая как единый управляемый объект в параллель с существующей электрической сетью или в островном режиме;
- распределенные системы хранения электроэнергии - это совокупность систем хранения, установленных у конечных потребителей и на объектах распределительной сети;



- электромобили. Рассматриваются в качестве одного из видов распределенных энергоресурсов, так как они не только потребители энергии, но и распределенные накопители.



Источник: Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО

Рисунок 11 – Виды распределенной энергетики и матрица критериев распределенной генерации

Согласно данным [7], вклад электроэнергетики в ВВП РФ составил 2,3% в 2018 году. Структура инвестиций в российскую энергетику в 2018 году представлена на рисунке 12 и составляет 754 млрд, руб, из которых 5% (38 млрд. руб) относится к возобновляемой энергетике (без гидроэнергетики).



Рисунок 12 – Структура инвестиций в российскую энергетику в 2018 году

Согласно данным отчета [6], мощность объектов ВИЭ в РФ с 2009 г по 2018 г увеличилась примерно на 5 ГВт (рисунок 13).

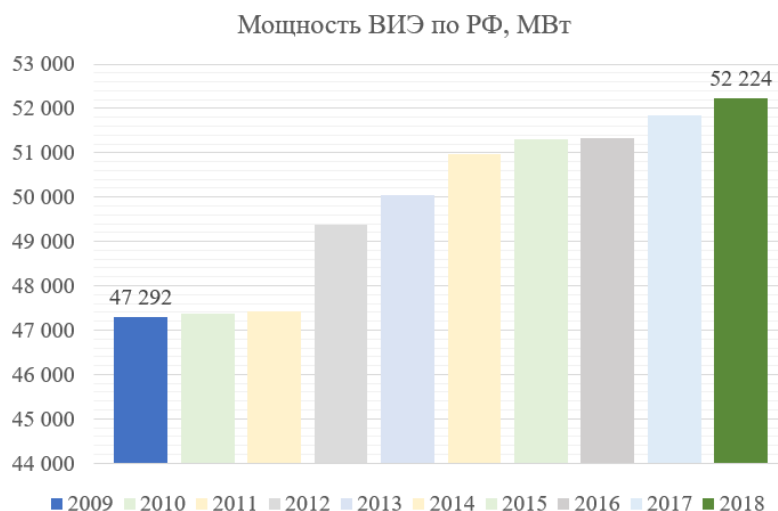


Рисунок 13 – Динамика изменения мощности объектов ВИЭ в РФ

Выработка на объектах ВИЭ за 2019 год увеличилась примерно в 1,5 раза в сравнении с 2018 годом, о чем свидетельствует рисунок 14. С 2014 года выработка на объектах ВИЭ увеличилась в 29,5 раза. Наибольшие изменения в росте выработке наблюдаются в солнечной и ветровой энергетике. В РФ в течение двух лет ведется промышленное производства ветроэнергетических установок мегаваттного класса.

Производство электроэнергии на квалифицированных объектах ВИЭ в 2014–2019 годах на розничном и оптовом рынках, подтвержденной сертификатами, тыс. кВт·ч

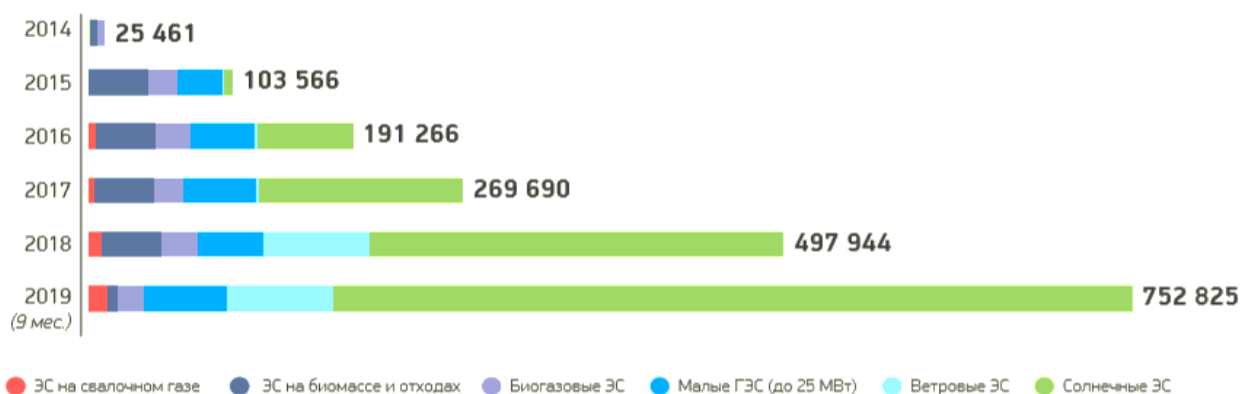


Рисунок 14 – Динамика изменения выработки объектов ВИЭ в РФ

Данный прирост в мощности и выработке объектах ВИЭ во многом связан с государственной политикой. К примеру, в 2013 году вышло Постановление Правительства РФ от 28 мая 2013 г. N 449 "О механизме стимулирования использования возобновляемых источников энергии на оптовом рынке электрической энергии и мощности". Благодаря подобным стимулированиям со стороны государства, в РФ наблюдается развитие ветроэнергетической отрасли. В 2018 году вышел свод Правил технологического функционирования электроэнергетических систем, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 № 937 (ПТФ ЭЭС), которые нормативно закрепили статус ВЭС и ВЭУ как полноправных участников процесса производства электрической энергии. В 2019 году утвержден национальный стандарт ГОСТ Р 58491–2019 «Электроэнергетика. Распределенная генерация. Технические требования к объектам генерации на базе ветроэнергетических установок», который систематизировал технические и технологические требования к ВЭС и ВЭУ и более детально раскрыл положения, установленных ПТФ ЭЭС требований к планируемым к вводу в эксплуатацию ВЭС и ВЭУ.

В распоряжении Правительства РФ от 19 июля 2019 г. № 1601-р утверждены изменения в основные направления госполитики в сфере повышения энергоэффективности электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии до 2024 года (распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 г. № 1-р). В данной редакции документа ввод мощностей по ветрогенерации в 2024 году увеличен с 75,8 МВт до 182,6 МВт. Итого до 2024 года должно быть введено 3383,6 МВт мощностей ВЭС. В настоящее время предполагается ввести до 2025 года на 180 МВт меньше — 210 МВт против прежних 389,8 МВт.

#### **1.4 Выводы к первой главе**

В данный момент происходит энергопереход, который влияет не только на энергетическую сферу, но на экономику стран и мира, окружающую среду (по

данным NREL [5], выработка 1 МВт ветровой энергии предотвращает выброс приблизительно 2600 тонн углекислого газа), общество и Землю в целом, так как прирост возобновляемой энергетики в глобальных масштабах позволит уменьшить стоимость электроэнергии, уменьшить загрязнение воздуха, улучшить благосостояние населения и увеличить доступность в электроэнергии. В РФ также существует энергопереход, который связан еще и с децентрализацией.

Мощность мировой энергетики 7000 ГВт, из которых 5,5% - ВЭС, выработка- 25000 млрд.кВт.ч (7,1% - ВЭС). Мировой лидер – Китай.

В России установленная мощность энергетики – 246,34 ГВт(0,08%-ВЭС), выработка -1080,6 млрд кВт·ч (0,03%-ВЭС). Выработка на объектах ВИЭ за 2019 год увеличилась примерно в 1,5 раза в сравнении с 2018 годом. Данный прирост в мощности и выработке объектах ВИЭ в РФ во многом связан с государственной политикой, за последние года вышел ГОСТ Р 58491–2019 И РЯД Правительственных Постановлений для стимулирования и поддержки разработки технологий, строительства и проектирования в области ВИЭ, в частности ВЭС и ВЭУ.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ИЗОЛИРОВАННЫХ РЕГИОНОВ РФ

### 2.1 Анализ развития и состояния объектов генерации в изолированных регионах

Согласно представленным данным и отчетам по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях РФ по данным Министерства энергетики [4] проведен анализ состояния энергоснабжения данных регионов. Данные по регионам представлены Минэнерго России – координатором и ответственным исполнителем Программы Президента и Правительства РФ, целью которой является повышение энергетической эффективности в экономике России, охватывающее все министерства и ведомства федерального, регионального и местного уровня органов исполнительной власти и отраслевых хозяйствующих субъектов.

К изолированным и труднодоступным территориям относятся 23 региона РФ, часть этих территорий принадлежит к Арктической зоне РФ. Общее количество генерирующих станций в этих территориях составляет 670 шт. На рисунке 15 представлено соотношение энергетических станций, согласно которому, 95% территорий энергозависимо от ДЭС.

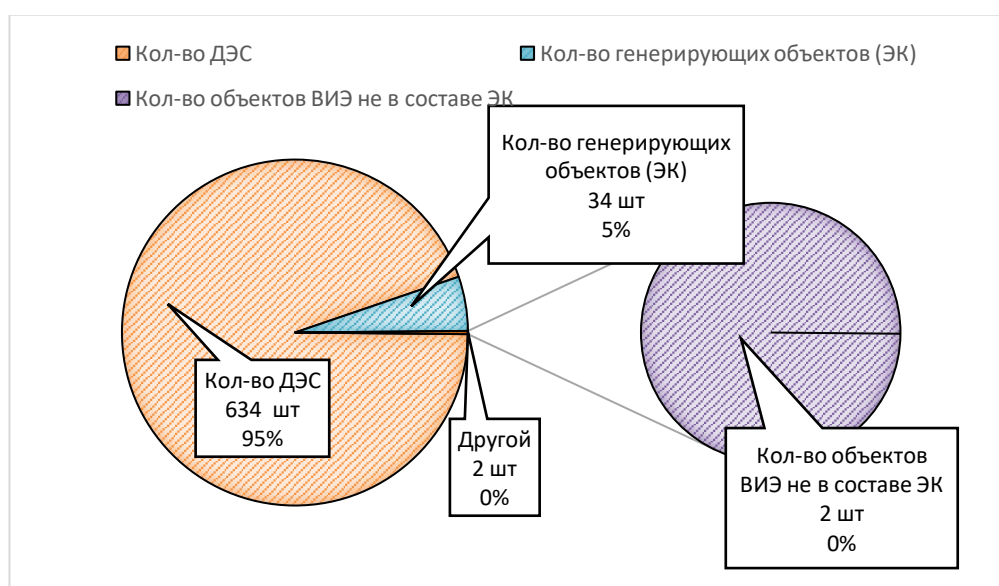


Рисунок 15 – Объекты генерации в изолированных и труднодоступных местах в РФ

На рисунке 16 приведен подробный график по количеству генерирующих объектов в изолированных и труднодоступных территориях РФ. Наибольшее количество объектов сосредоточено в Республике Саха, их количество составляет 131 объект, из которых 119 ДЭС и 22 ЭК (ВДЭС, СЭС-ДЭС). Так же в Республике Алтай и Камчатском крае в рассматриваемых территориях действуют две ГЭС (2007 и 1996 г постройки). Всего в данных регионах 34 ЭК в шести регионах.

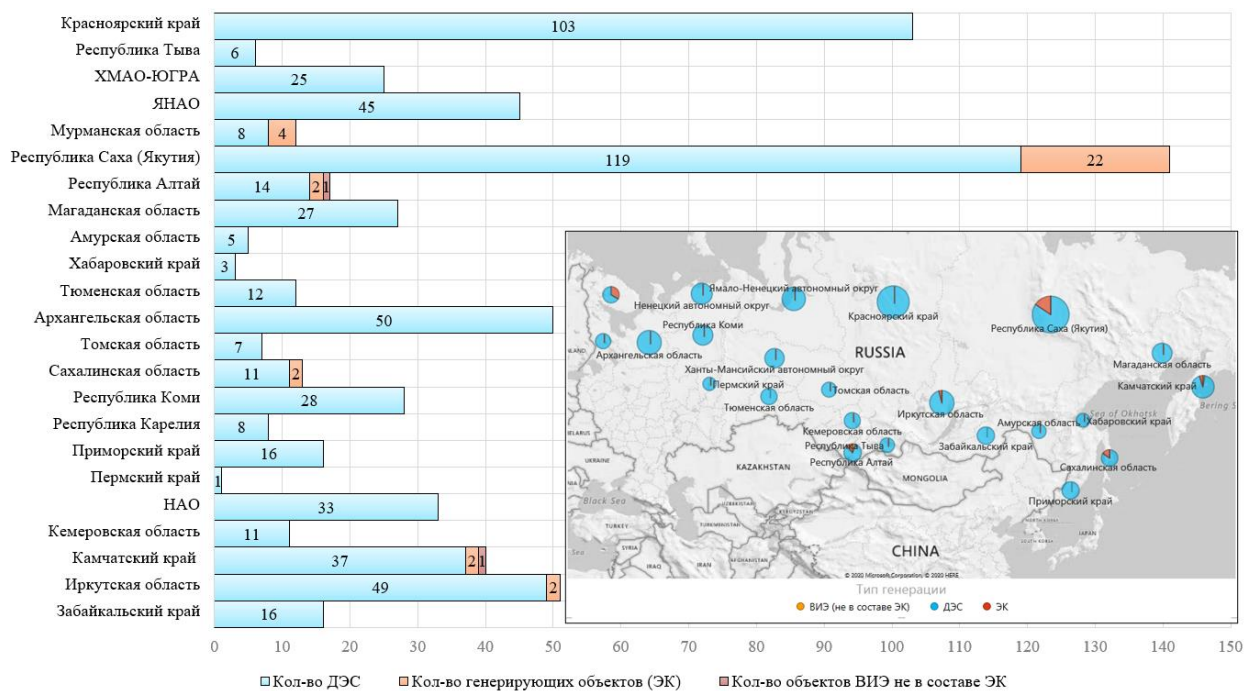


Рисунок 16 – Объекты генерации и их расположение на территории РФ в изолированных и труднодоступных местах

На удаленных изолированных территориях функционируют ДГУ в составе ДЭС с 1960-х годов, которые на данный момент не подлежали реставрации. Однако год ввода в эксплуатацию объектов генерации в разбивке по агрегатам, либо год капитального ремонта, для большинства ДЭС и ЭК составляет период с 2010 по 2020 гг (рисунок 17).

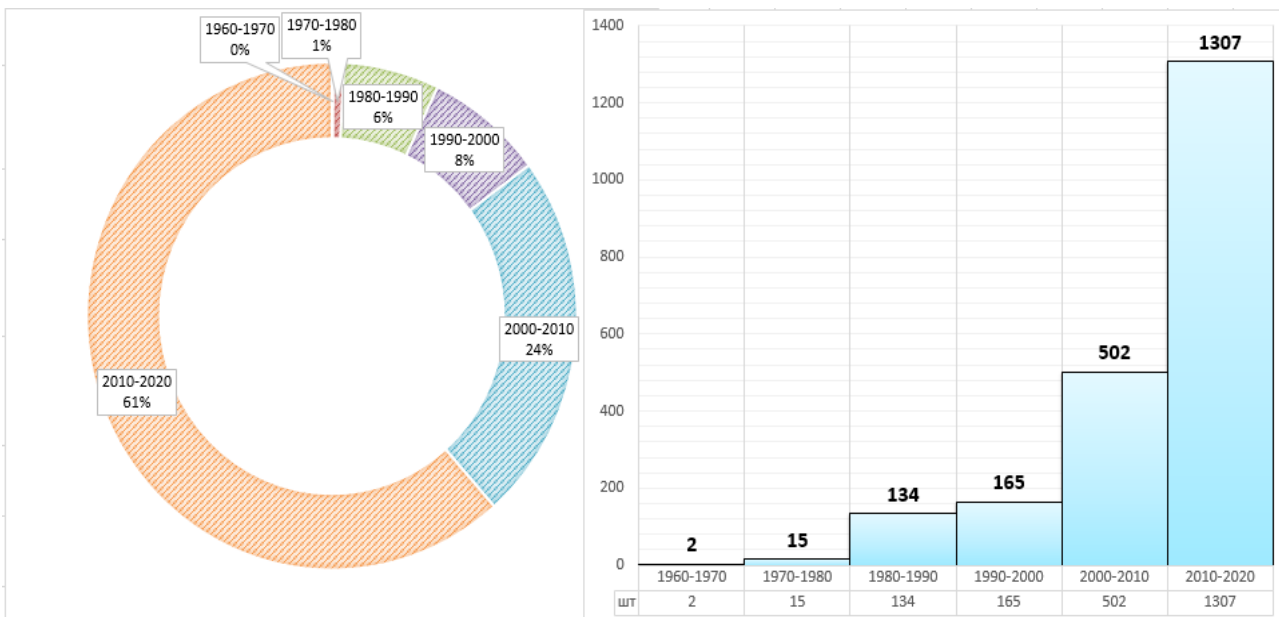


Рисунок 17 – Год ввода и капремонта станций и оборудования (ДЭС и ДГУ)

Гарантированный срок службы агрегатов до капитального ремонта составляет в среднем около 20000-25000 моточасов, что соответствует сроку эксплуатации 15-20 лет. Таким образом, минимум четверть агрегатов находятся на стадии необходимой замены или капремонта оборудования (рисунке 18), согласно году вводу агрегатов или их капремонта в соответствии с гарантированным сроком службы.

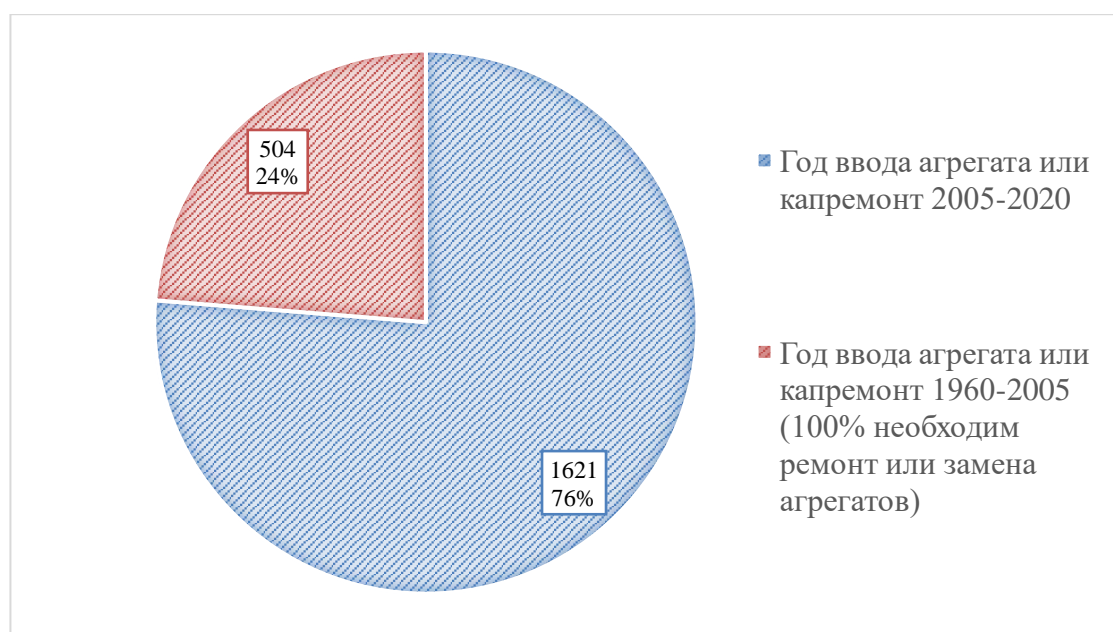


Рисунок 18 – Соотношение агрегатов по необходимости замены оборудования

Из данных [4] получены мощность и выработка большинства объектов генерации в указанных регионах. Анализ установленной мощности представлен на рисунке 19. Согласно этим данным, установленная мощность в регионах – более 770 МВт, наибольшая суммарная установленная мощность генерирующего оборудования в Республике Саха (205338 кВт), Красноярском крае (111697 кВт) и в Камчатском крае (116794 кВт).

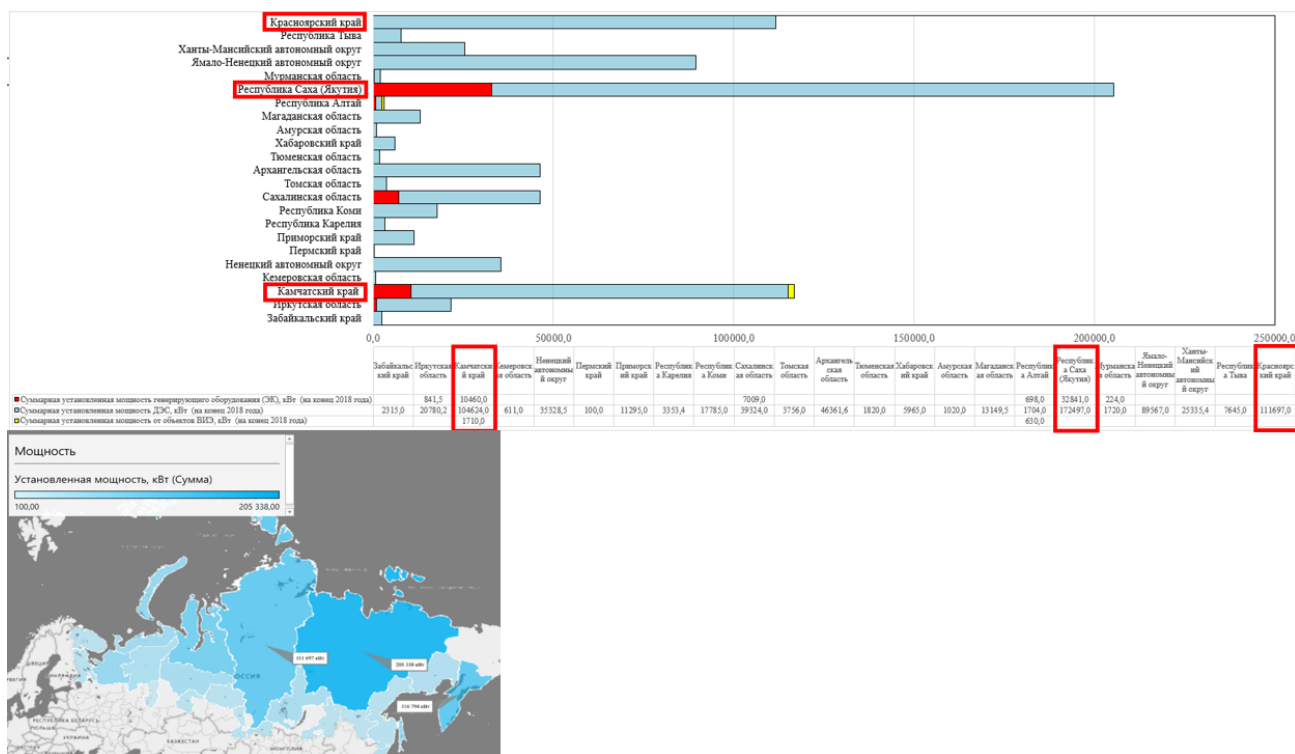


Рисунок 19 – Установленная мощность объектов генерации в изолированных и труднодоступных регионах РФ

Анализ суммарной выработки электрической энергии генерирующими объектами в регионах представлен на рисунке 20 и составляет около 1161 МВтч за год. Согласно этим данным, наибольшая суммарная выработка генерирующего оборудования в Республике Саха (280894,2тыс. кВт·ч за год), Красноярском крае (174029,6тыс. кВт·ч за год) и в Камчатском крае (182310,8 тыс. кВт·ч за год).



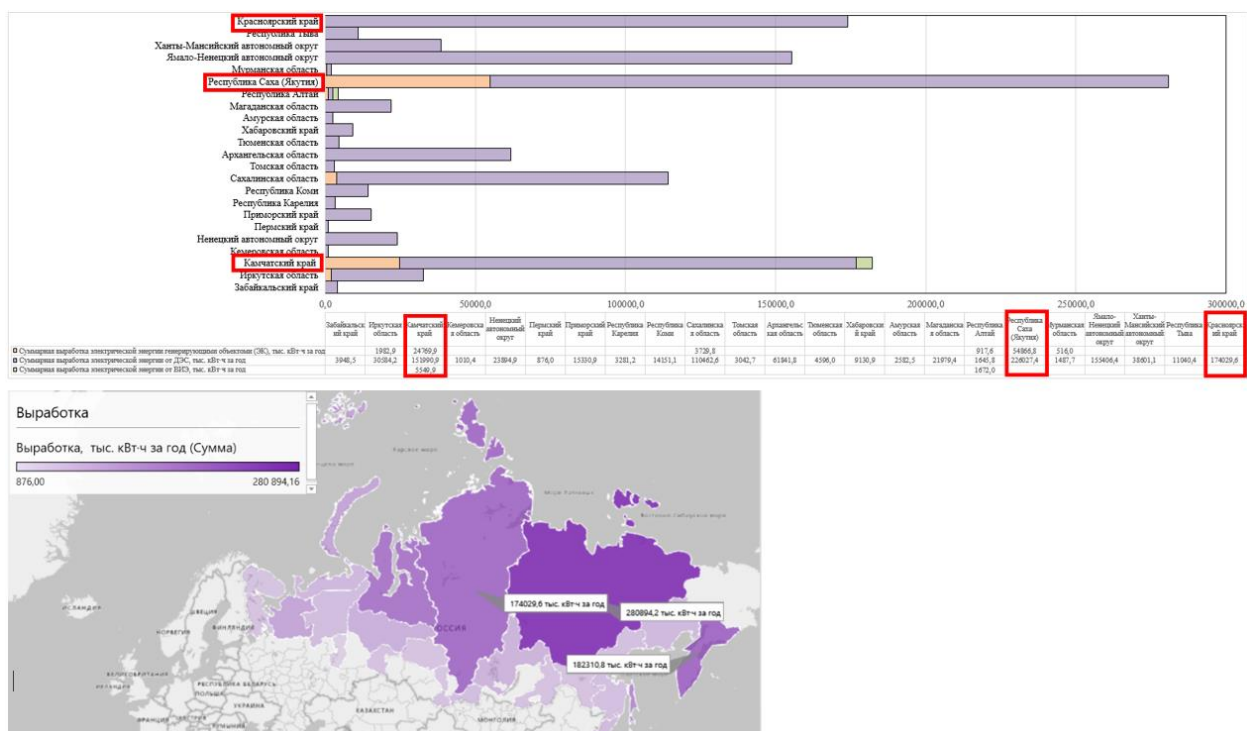


Рисунок 20 – Выработка объектов генерации в изолированных и труднодоступных регионах РФ

Расход топлива на производство (выработку) электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных территориях РФ по представленным данным [4] даны на рисунке, суммарный расход топлива по представленным от регионов данных составляет около 340 тыс.тонн за год, следовательно, в рассматриваемых регионах расход топлива более 350 тыс.тонн за год. Данные получены не по всем регионам (отсутствуют по Забайкальскому краю и Кемеровской области) и не по всем объектам генерации, но по большей части, соответственно носят минимальный характер, который дает просмотреть динамику расхода топлива по регионам. Согласно этим данным, регионы с наибольшим расходом топлива - Якутия, Красноярский край, ЯНАО, Камчатский край, Магаданская область и Сахалинская область (рисунок 21).

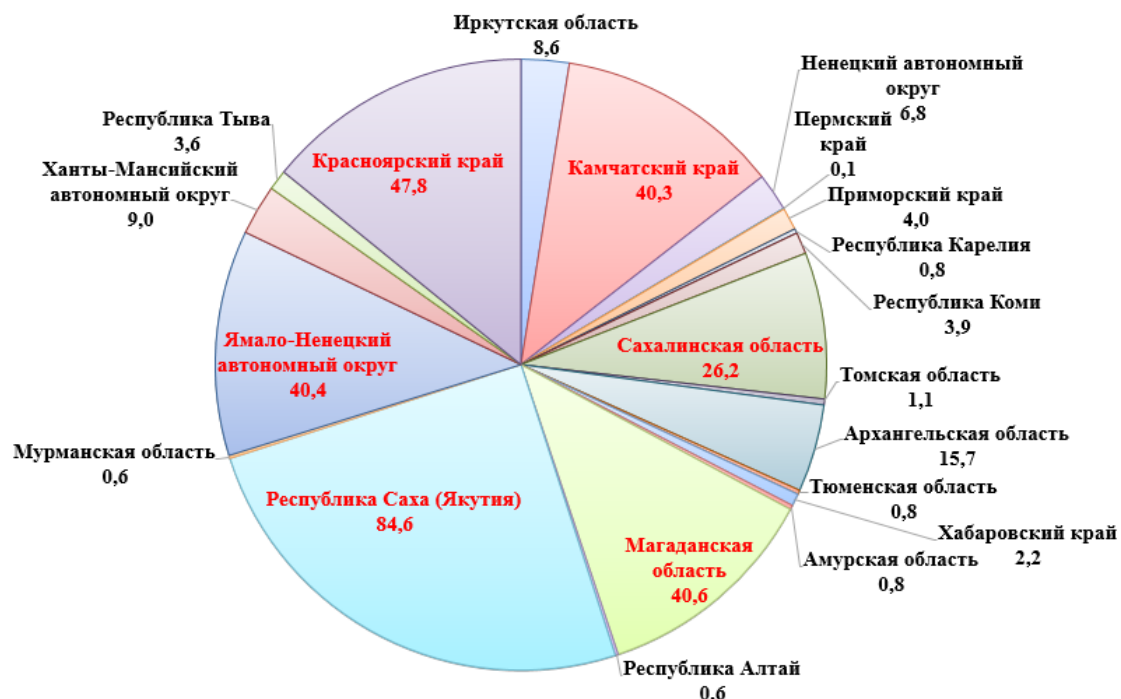


Рисунок 21 - Расход топлива на производство (выработку) электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных территориях РФ, тыс. тонн за год

Минимальная, максимальная, а также средняя цена дизельного топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов за 1т без НДС за год по регионам представлена на рисунке 22. Максимальная цена достигнута в Кемеровской области, Магаданской области и в Красноярском крае. Минимальная – Тюменская область, Республика Саха и Амурская область, однако минимальная цена, как и максимальная зависят в большинстве от транспортно-логистической ситуации непосредственно к месту объекта генерации.

Размер субсидий на компенсацию выпадающих доходов по регионам представлен на рисунке 23, где приведены регионы, размер субсидий которых не менее 20 млн руб. за год. К регионам с наибольшим субсидированием относятся: Якутия, ЯНАО, Камчатский край, Сахалинская область и Красноярский край.

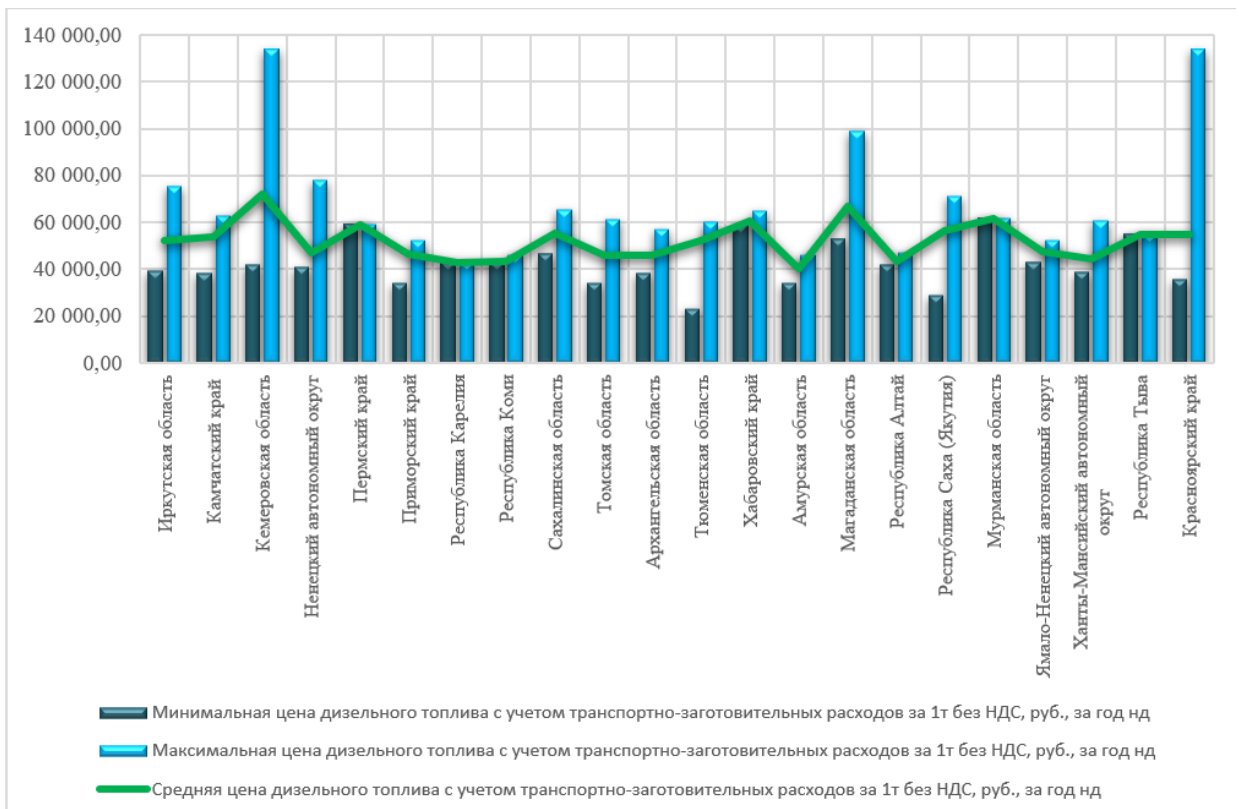


Рисунок 22 – Цена ДТ

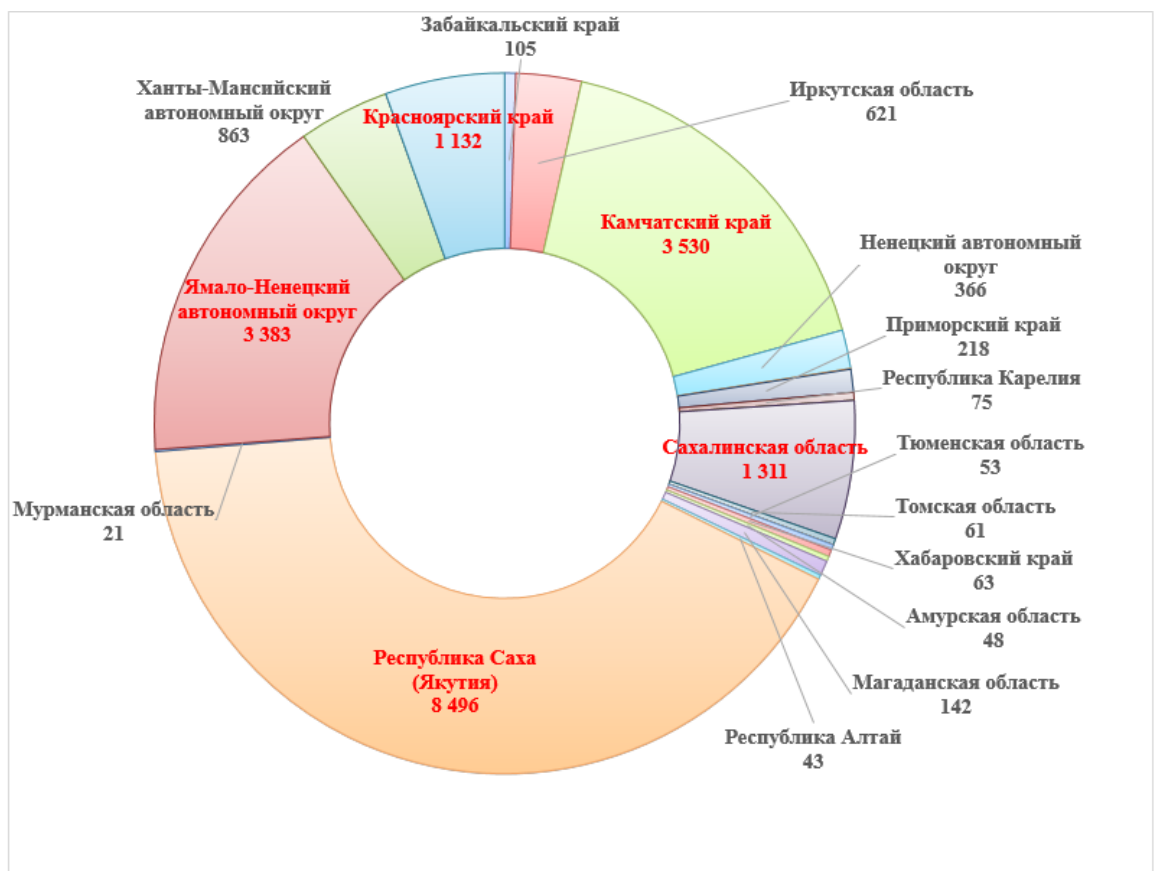


Рисунок 23 – Размер субсидий на компенсацию выпадающих доходов по регионам

## 2.2 Особенности энергоснабжения изолированных регионов

Около 65% территории Российской Федерации расположено в изолированной зоне энергоснабжения и обеспечивается энергией преимущественно за счёт дизельных электростанций. Значительная часть изолированного энергоснабжения относится к Арктической зоне РФ (АЗРФ). Арктический регион отличается от иных территорий РФ экстремальными природно-климатическими условиями, включающими в себя постоянный ледовый покров, вечно мерзлыми грунтами, низкой плотностью населения (1-2 чел. на 10 км<sup>2</sup>), а также удаленностью от основных промышленных центров, высокой ресурсоемкостью и зависимостью хозяйственной деятельности и жизнеобеспечения населения от поставок топлива (северный завоз), продовольствия и товаров первой необходимости из других регионов РФ.

Регионы РФ, имеющие изолированные системы энергоснабжения с высокими затратами на энергию, определяется двумя Постановлениями правительства РФ: «Об утверждении Перечня районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» от 23 мая 2000 г. № 402 и «О внесении изменений в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции)» от 6 декабря 2016 г. № 1305. В этот список вошли 25 субъектов РФ (рисунок 24) [3].

Перечень регионов с «северным завозом»*	Сокращенный список регионов	Короткий список регионов
Все острова Северного Ледовитого океана и его морей, а также острова Берингова и Охотского морей	Республика Карелия Республика Коми Республика Саха (Якутия) Красноярский край Камчатский край Архангельская область Магаданская область Мурманская область Сахалинская область Томская область Ненецкий автономный округ Ханты-Мансийский автономный округ - Югра Чукотский автономный округ Ямало-Ненецкий автономный округ	Республика Саха (Якутия) Камчатский край Архангельская область Магаданская область Мурманская область Ненецкий автономный округ
Республика Алтай		
Республика Бурятия		
Республика Карелия		
Республика Коми		
Республика Тыва		
Республика Саха (Якутия)		
Забайкальский край		
Красноярский край		
Приморский край		
Хабаровский край		
Камчатский край		
Пермский край		
Амурская область		
Архангельская область		
Иркутская область		
Магаданская область		
Мурманская область		
Сахалинская область		
Томская область		
Тюменская область		
Ненецкий автономный округ		
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра		
Чукотский автономный округ		
Ямало-Ненецкий автономный округ		
Еврейская автономная область		

Рисунок 24 – Регионы РФ с изолированной системой энергоснабжения [3]

Для районов с изолированным энергоснабжением характерны: доминирование ДЭС в выработке электроэнергии, высокие удельные расходы топлива, низкий КИУМ, высокий износ оборудования, высокий износ и высокий уровень потерь в местных электрических сетях и высокая стоимость электроэнергии.

### 2.3 Модернизация объектов генерации в изолированных территориях

В целях совершенствования системы государственного управления социально-экономическим развитием Арктической зоны РФ предусматривается оптимизация «северного завоза» дорогостоящего топлива за счет использования возобновляемых и альтернативных, в том числе местных, источников энергии, реконструкции и модернизации энергетических установок, внедрения энергосберегающих материалов и технологий, а также повышения

энергоэффективности, обеспечение энергонезависимости удаленных малых населенных пунктов, разработку и реализацию проектов в области энергосбережения и энергоэффективности, в том числе в рамках международного сотрудничества.

Таким образом, эффективным решением проблем, связанных с энергоснабжением в изолированных и Арктических территориях является использование возобновляемых источников энергии, которые позволят повысить энергетическую безопасность за счет повышения самообеспеченности «местными» топливно-энергетическими ресурсами, снизить потери энергии на транспортировку и распределение энергии за счет приближения объектов производства энергии и потребителей, повысить надежность энергоснабжения и снизить себестоимость электроэнергии у конечного потребителя за счет уменьшения объемов дизельного топлива, повысить экологическую безопасность за счет снижения вредных выбросов в окружающую среду от работающих ДЭС и снижения объемов завоза дизельных бочек.

Заместителем Председателя Правительства Российской Федерации Д.Н. Козаком утвержден «План мероприятий по модернизации неэффективной дизельной (мазутной, угольной) генерации в изолированных и труднодоступных территориях» (от 15.08.2019 № 7456п-П9, План мероприятий), на основе которого должны быть определены механизмы по повышению эффективности генерации в изолированных и труднодоступных территориях с использованием решений на базе распределенной генерации, в том числе на базе возобновляемых источников энергии, автономных гибридных энергосистем, систем накопления энергии и прочее. Целью Плана мероприятий является снижение стоимости выработки электрической энергии на труднодоступных и изолированных территориях и, соответственно, объемов межтерриториального и бюджетного субсидирования данного направления [11].

Анализ литературы и мировой опыт показал, что наиболее целесообразным решением для данных условий является внедрение энергокомплексов на базе

ВИЭ, преимущественно ветродизельных энергокомплексов (ВДЭС), так как дизельные электростанции широко используются в районах децентрализованного энергоснабжения, а так же территории с изолированным энергоснабжением обладают следующими техническими ветроэнергетическими ресурсами (ВЭР): ВЭР России составляют  $6,2 \cdot 10^{15}$  кВт·ч /год, из которых большая часть сконцентрирована на Дальнем Востоке (около 30%), в Западной Сибири (около 16%) и в Восточной Сибири (около 16%) [1].

В настоящее время в России в изолированных и труднодоступных местах функционирует более 30 ЭК на базе ВИЭ (ВДЭС, СДЭС, ВЭС-СЭС-ДЭС) для автономного энергоснабжения удаленных потребителей. В таблице 1 представлен список ВДЭС мощностью более 100 кВт, функционирующих в РФ в изолированной системе энергоснабжения.

Таблица 1– ВДЭС в изолированной системе энергоснабжения (мощность более 0,1 МВт )

Станция	Регион	Кол-во и модель ВЭУ	Установленная единичная мощность, кВт	Полная мощность ВЭС, кВт	Полная мощность ВДЭС, кВт
Анадырская ВЭС	Чукотский АО	10 ВЭУ (АВЭ-250, Micon 530M)	250	2500	6500
ВЭС на о. Беринга (п. Никольское)	Камчатский край	2 ВЭУ Vergnet GEV-C	275	550	1426
ВЭС п. Новиково	Сахалинская область	2 ВЭУ реновированная Vestas V27	225	450	950
ВЭУ в п. Лабытнанги	ЯНАО	1 ВЭУ реновированная Micon 530M	250	250	
ВЭС в п. Тикси	Республика Саха (Якутия)	3 ВЭУ Komai KWT300	300	900	10500
ВЭС в п. Усть-Камчатск	Камчатский край	1 ВЭУ Vergnet GEV-C 3 ВЭУ Komai KWT300	275 300	275 900	9175
ВЭС в п. Амдерма	НАО	4 ВЭУ Ghrepower-50	50	200	1000
ВЭУ в п. Унчи	Хабаровский край	1 ВЭУ Ghrepower-100	100	100	220

В изолированной системе энергоснабжения в суровых климатических условиях на данный момент, согласно [11] эксплуатируется 26 ВЭУ, суммарная установленная мощность которых 6,15 МВт.

Потенциальный рынок ВДЭС с ВЭУ 50 – 100 кВт в северных регионах составляет от 9000 до 18500 модулей (для регионов с средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м и стоимостью электроэнергии более 15-20 руб/кВт·ч). По оценке Мособлгидропроекта (ПАО «РусГидро») перспективный объем генерации под применение ВДЭС в изолированных энергосистемах с учетом ВЭР может составить 1-2 ГВт. При этом по оценкам РАВИ и WWEA, целесообразный объем мощности ВЭС в изолированных регионах ограничен и составляет от 1 до 5 ГВт в перспективе до 2030 года, и 10 ГВт в долгосрочной перспективе. В настоящее время реализовано восемь проектов ВДЭС в децентрализованной зоне энергоснабжения с различной долей замещения дизельного топлива [11].

Эффективность использования ресурсов возобновляемой энергетики при создании систем энергоснабжения, объединяющих установки на топливе и возобновляемой энергии, определяется долей энергии, выработанной от установки ВИЭ, которая замещает выработку генерации на органическом топливе и экономит дорогое топливо. Внедрение таких систем энергоснабжения позволяет достичь следующих системных эффектов [1]:

1. Повысить энергетическую безопасности за счет повышения самообеспеченности «местными» топливно-энергетическими ресурсами;
2. Снизить на 15-20% потери энергии на транспортировку и распределение энергии за счет приближения объектов производства энергии и потребителей;
3. Повысить надежность энергоснабжения;
4. Снизить стоимость энергии у конечного потребителя за счет уменьшения объемов ДТ;



5. Повысить экологическую безопасность за счет снижения вредных выбросов в окружающую среду от работающих ДЭС и снижения объемов завоза дизельных бочек.

## **2.4 Выводы ко второй главе**

Проведен анализ состояния энергоснабжения изолированных и труднодоступных регионов РФ. Согласно данному анализу, 95% территорий энергозависимо от ДЭС, количество которых составляет 634 шт. Наибольшее количество объектов сосредоточено в Республике Саха. В настоящее время в России в изолированных и труднодоступных местах функционирует более 30 ЭК на базе ВИЭ (ВДЭС, СДЭС, ВЭС-СЭС-ДЭС) для автономного энергоснабжения удаленных потребителей, из которых 8 ВДЭС мощностью более 100 кВт.

Суммарная выработка электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных регионах около 1161 МВтч за год, установленная мощность - более 770 МВт.

В изолированной системе энергоснабжения в суровых климатических условиях эксплуатируется 26 ВЭУ, суммарная установленная мощность которых 6,15 МВт.

## **ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ВДЭС**

### **3.1 Методика проектирования ВДЭС для условий Арктики с использованием геоинформационных технологий**

При создании ВДЭС в соответствии с ГОСТ Р 15.201 и ГОСТ 2.103 должны быть выполнены следующие виды работ:

- технико-экономическое обоснование проекта строительства ВЭУ, ВЭС, ВДЭС;
- разработка, согласование и утверждение технического задания;
- разработка конструкторской и технологической документации;
- проведение предварительных и приемочных испытаний, включая корректировку технической документации по результатам испытаний.

Основным проектным документом на строительство ВДЭС является технико-экономическое обоснование строительства. На основании утвержденного в установленном порядке ТЭО строительства разрабатывается рабочая документация. При разработке ВДЭС должны быть выполнены инженерные изыскания на площадках строительства, осуществлен сбор метеорологических данных (минимум на двух альтернативных площадках), выполнена оценка воздействия будущей ВДЭС на окружающую среду, проведены все необходимые расчеты, выбраны основные технические характеристики объекта, намечена схема размещения ВЭУ на площадках, определен прогнозируемый объем годовой выработки энергии, определены предварительные эксплуатационные и капитальные затраты на строительство, стоимость 1 кВтч, объем инвестиций, период окупаемости, а также выявлены условия подключения к сети (для ВДЭС сетевого назначения), уточнены технические требования, а при строительстве ВДЭС в особых условиях, к которым относятся и особенности Арктической зоны, необходимы дополнительные меры, согласно [21] - должны быть разработаны специальные технические условия, отражающие специфику проектирования, строительства и эксплуатации данных объектов, в технических условиях должны быть отражены:

данные о рельефе площадки и примыкающей местности; ветровые и климатические особенности площадки размещения; геологическое строение, сейсмичность, геодинамические и инженерно-геологические процессы взаимодействия объектов строительства с геологической средой и прогноз их возможного изменения в процессе строительства и эксплуатации, специфические требования к качеству и количеству вырабатываемой энергии, требования, накладываемые электрической сетью (для ВДЭС, подключаемых к сети) или потребителем, требования, связанные с прохождением электромагнитных сигналов, требования, связанные с визуальными и шумовыми эффектами, требования природоохранных мероприятий, требования, накладываемые движением воздушных и морских судов.

На рисунке 25 представлена созданная методика разработки ВДЭС.

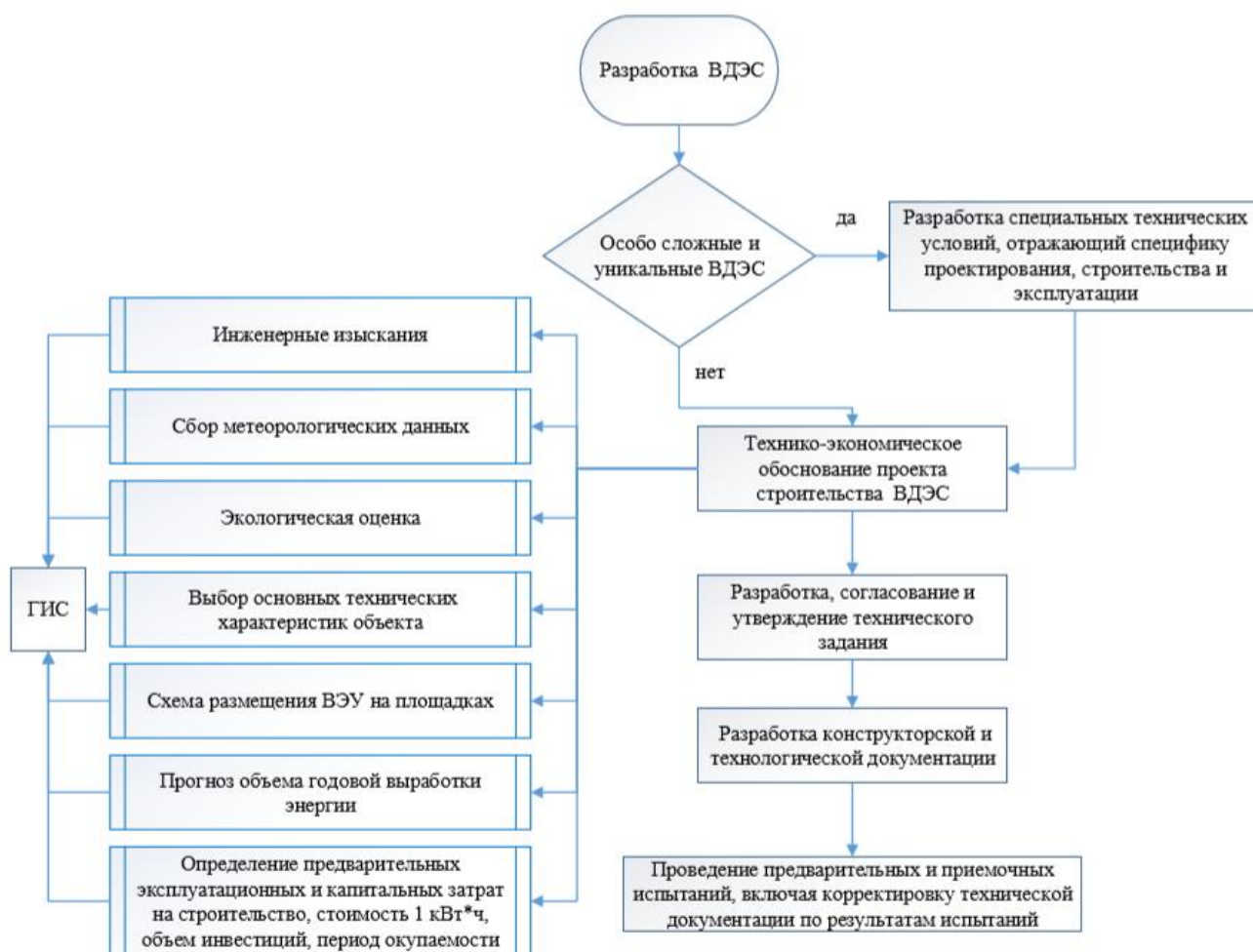


Рисунок 25 – Методика разработки ВДЭС

Одна из основных задач на этапе ТЭО, это определение достоверных ветроэнергетических ресурсов (ВЭР). В результате редкого расположения сети метеорологических станций возникает проблема получения информации об необходимых для проектирования данных: точных температурных, скорости ветрового потока и ветрового потенциала в районах предполагаемого размещения ветроэлектрических станций. В НОЦ «ВИЭ» в Санкт-Петербургском политехническом университете Петра Великого предложена методика трех уровневой оценки ветроэнергетических ресурсов в условиях недостаточных климатических данных. На рисунке 26 показана достоверная трех уровневая методика оценки ВЭР на примере Ненецкого Автономного Округа (НАО).

На первом уровне анализ метеорологических данных осуществляется на основе справочных данных гидрометеорологической сети и атласов ветров со средними значениями скорости и направления ветра, а также мощности ветрового потока и иных данных. Это позволяет дать крупномасштабную оценку данных. При мезомасштабной оценке ВЭР производится численное моделирование ветрового потока на произвольной высоте над уровнем земли. При моделировании используются: спутниковые данные о скорости и направлении ветра, цифровая модель рельефа с разрешением до 10 км, цифровая модель шероховатости с разрешением 0,5-10 км. При микромасштабной оценке ВЭР производится моделирование и оценки ВЭР в конкретном месте размещения ЭК с использованием данных реанализа из баз данных MERRA, CFSR, спутниковых наблюдений NCAR/NCEP в программном комплексе WindPRO. Таким образом, достоверность данных будет достигать 90-95% [1].

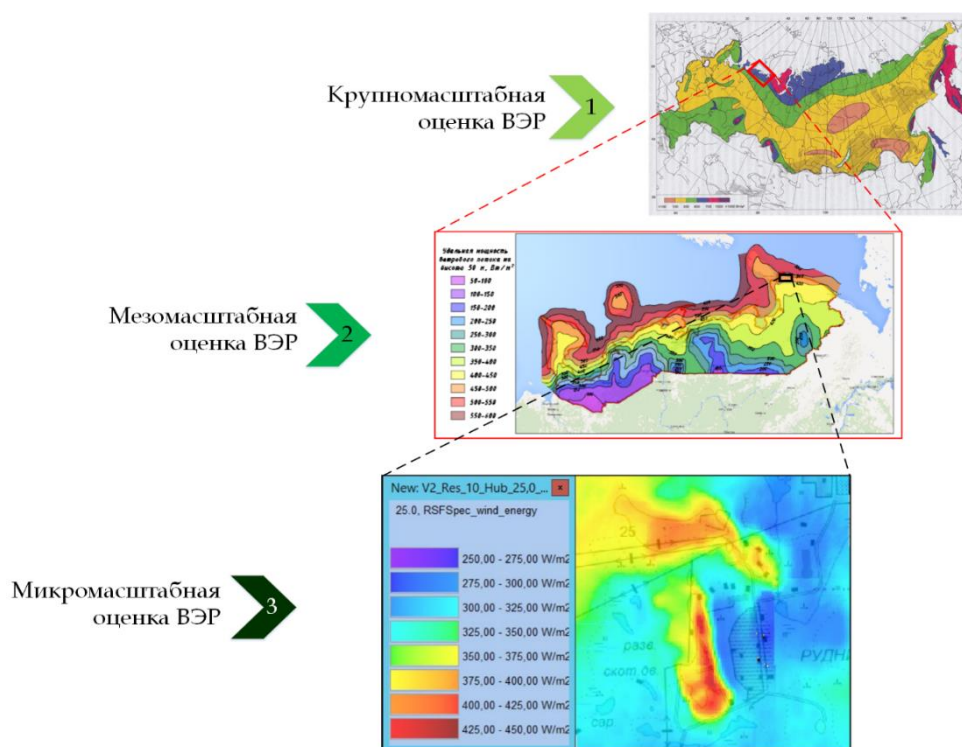


Рисунок 26 – Трехуровневая методика оценки ВЭР

Экономический блок предпроектного исследования или проекта в ветроэнергетике состоит из трех основных разделов:

1. изучение энергетического рынка проекта;
2. оптимизация (выбор основных параметров) проекта;
3. обоснование эффективности и финансовый анализ проекта при оптимальном способе его реализации.

Объекты ветроэнергетики из-за зависимости от природных условий, например, характеристика ветропотенциала, топография местности, инженерно-геологические условия, также от многообразия компоновок, состава сооружений, способа производства работ, влияния на окружающую среду, являются уникальными объектами в большинстве случаев, а не типовыми. Это требует обязательного выбора основных параметров ВДЭС в каждом конкретном проекте с многократной последовательной проверкой и уточнением на разных стадиях принятия решений в процессе прединвестиционных исследований.

При экономическом анализе определить основные экономические характеристики, такие как ожидаемые затраты, срок окупаемости, чистый дисконтируемый доход, индекс доходности.

В качестве основного, применяемого для большинства проектов при выборе их параметров используется метод определения общественной (экономической) эффективности капитальных вложений в сравнении с альтернативным способом покрытия спроса, позволяющий объективно определить уровень затрат в параметры проектируемой ВДЭС с точки зрения отраслевых, национальных или региональных интересов, а также учесть не имеющие коммерческой оценки сопутствующие эффекты и ущербы. При оценке расходов подлежат учету: капвложения в строительство ВДЭС, текущие эксплуатационные расходы, reinvestиции в будущую замену оборудования, сопутствующие расходы в энергетике. Доходы оцениваются суммой затрат в альтернативном варианте организации электроснабжения, постоянные издержки, затраты на топливо и др. Если рассматриваемый проект не имеет реальной альтернативы в зоне его влияния (частный случай - ВДЭС в изолированном энергоузле), доходы должны рассчитываться, исходя из цен реализации или, в порядке исключения, параметры ВДЭС назначаются без экономического обоснования в соответствии с потребностью. На рисунке 27 представлена разработанная методика экономического обоснования.

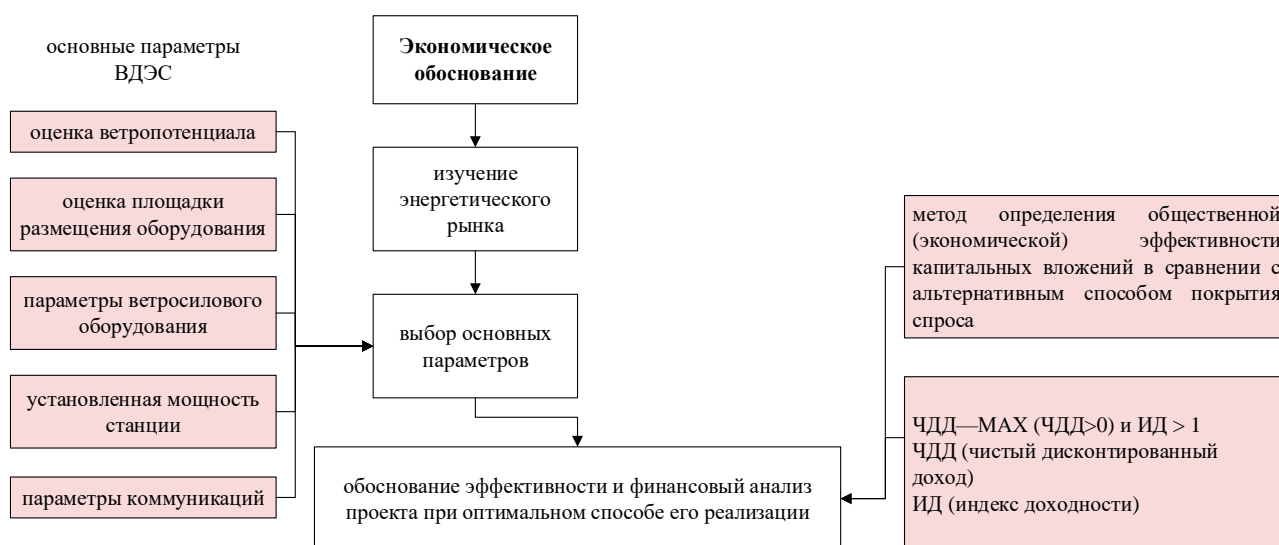


Рисунок 27- Методика экономического обоснования строительства ВДЭС

### 3.2 Состав и особенности ВДЭС для условий Арктики

Для охвата большинства потребителей районов изолированных регионов России, где наблюдаются арктические условия, слаборазвитая инфраструктура, ограниченная транспортная доступность, особая экономическая ситуация и суровые климатические условия эксплуатации оборудования, целесообразно использовать ВДЭС. Данные станции должны быть адаптированы для работы в суровом арктическом климате, учитывать сложные условия доставки, короткий навигационный период, быстрый монтаж и строительство без использования тяжелой подъемно-транспортной техники в условиях отсутствия дорог, обслуживание без привлечения высококвалифицированных специалистов, иметь высокую степень автоматизации (включая адаптивные алгоритмы) и систему удаленного контроля и диагностики в условиях существенных ограничений средств связи для минимизации технологических и эксплуатационных затрат. Таким образом, применение ветродизельных энергокомплексов средней мощности в РФ имеет хорошую перспективу внедрения и коммерциализации в районах децентрализованного электроснабжения с достаточным ветроэнергетическим потенциалом.

В состав сооружений ВДЭС входят: ВЭУ (ВЭС), метеорологические мачты с метеорологическим оборудованием, объекты выдачи мощности, здания и сооружения, в том числе подъездные дороги к ВЭУ.

При проектировании ВДЭС должны быть обеспечены и предусмотрены:

- надежность сооружений на всех стадиях их строительства и эксплуатации;
- максимальная экономическая эффективность строительства;
- постоянный инструментальный и визуальный контроль за состоянием несущих конструкций и грунтов, а также природными и техногенными воздействиями на них;
- сохранность животного и растительного мира.

В состав оборудования ВДЭС входят:

- энергетическое оборудование - ветроагрегат с ветроколесом и дизельгенератор (оборудование, входящее в состав ВДЭС, должно соответствовать требованиям безопасности - по ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТР 51991, для ВЭУ, входящих в состав ВЭС, ВДЭС и работающих в автономном режиме, характеристики должны быть представлены в соответствии с ГОСТ Р 51991, для ВДЭС оборудование, входящее в комплект ДЭС, должно быть в соответствии с СТО 70238424.27.100.054-2009);
- электротехническое оборудование;
- механическое и грузоподъемное оборудование;
- устройства системы безопасности;
- вспомогательное оборудование;
- средства автоматизации, управления и связи;
- средства эксплуатации и ремонта, мастерские и лаборатории, необходимые для обслуживания оборудования и сооружений;
- системы жизнеобеспечения объекта.

Для ВДЭС соотношение установленных мощностей ветроустановок и дизельных агрегатов определяется при разработке проектных решений с учетом возможных рисков, особенностей ветропотенциала, назначения станции и требований потребителя энергии. Мощность дизельной электростанции, входящей в состав ВДЭС, определяется по расчетной нагрузке потребителей с учетом результатов исследований ветропотенциала на площадке размещения ветроустановок. Выбор числа и единичной мощности ветроагрегатов ВЭС, ВДЭС производится на основе технико-экономического сравнения вариантов.

На рисунке 28 представлена структурная схема ВДЭС, созданная на основании [21], данная схема подходит для ВДЭС, размещенных в изолированной системе энергоснабжения.



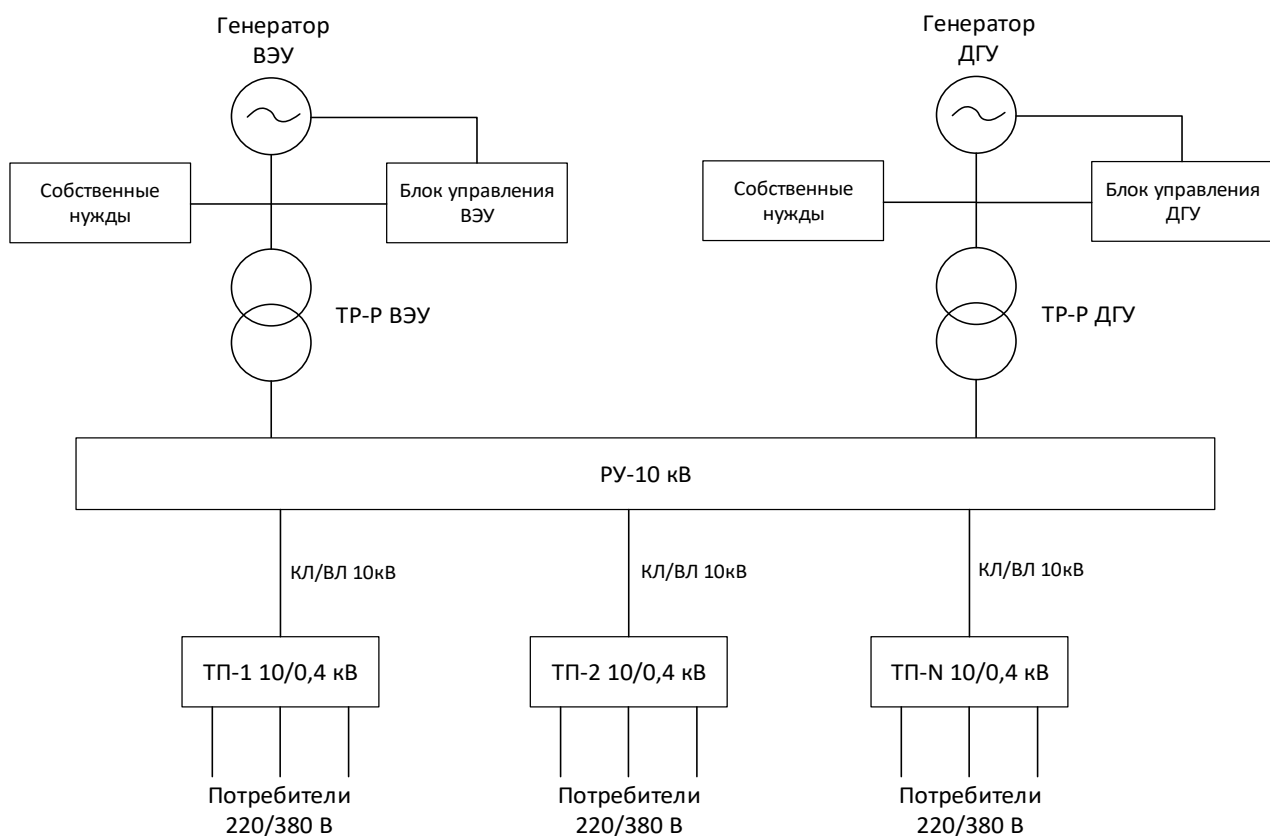


Рисунок 28 – Структурная схема ВДЭС

Конструкция ВЭУ должна отвечать требованиям в соответствии с ГОСТ Р 51991. На ВЭУ воздействуют факторы окружающей среды и электрические нагрузки, которые, соответственно, влияют на процессы нагружения элементов конструкции и отражаются на сроке службы и процессе ее эксплуатации. Поэтому, для обеспечения надлежащего уровня надежности и безопасности в процессе проектирования необходимо учитывать факторы окружающей среды, режимы электрических нагрузок, а так же характеристики грунтов.

При работе в особых климатических условиях ветроэнергетические установки могут подвергаться обледенению из-за низких температур, которые зачастую находятся за пределами рабочих температур стандартных ВЭУ. Согласно [21], интервал нормальных рабочих температур составляет от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха до 95%. В некоторых изолированных регионах усредненная минимальная температура может составлять до  $-60^{\circ}\text{C}$  (рисунок 29) [22].

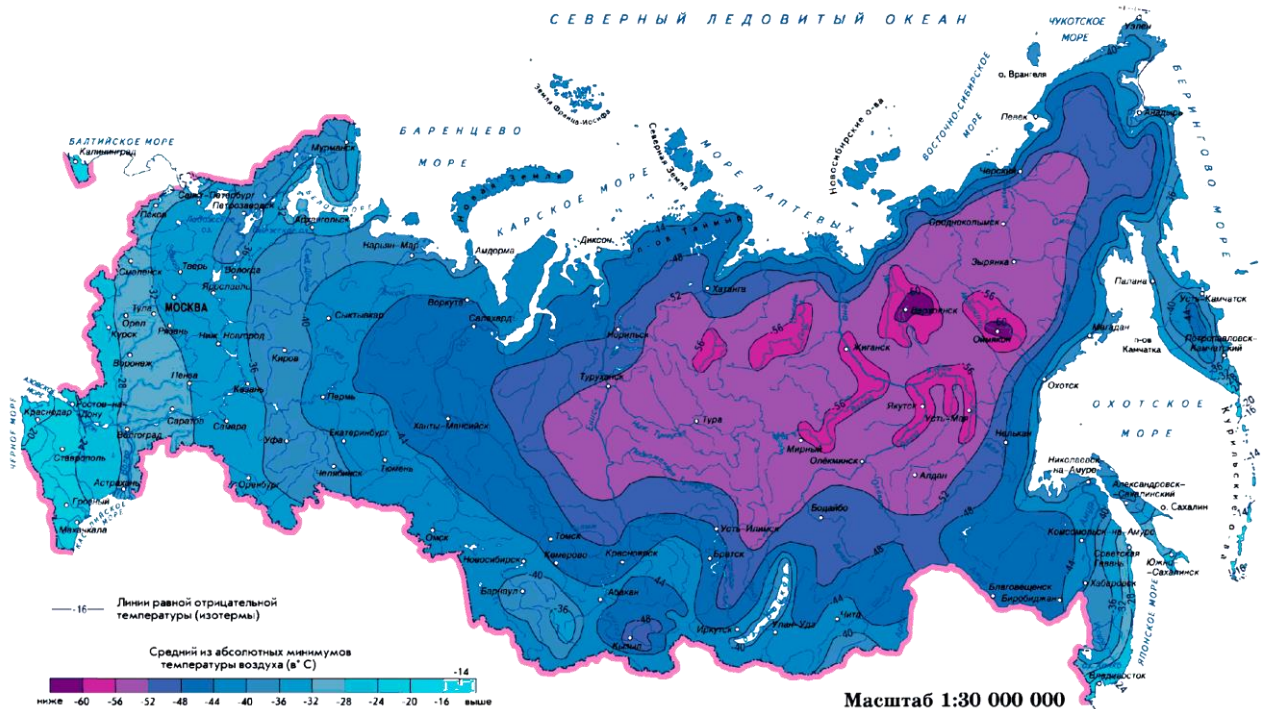


Рисунок 29 – Усредненные минимальные значения температуры РФ

В связи с особым температурным режимом, проектирование, строительство и эксплуатация ВЭУ и ВЭС должны рассматривать и прогнозировать работу установок в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) из-за экстремальных факторов (обледенение, экстремальные перепады температур и тд). Необходимо ВДЭС оснащать структурированными системами мониторинга и управления инженерными системами и системами мониторинга состояния сооружений (СМСС), как неотъемлемым элементом автоматизированных систем управления объектом. СМСС должны создаваться в целях обеспечения гарантированной устойчивости функционирования системы процессов жизнеобеспечения на контролируемых объектах и выступать как средство информационной поддержки принятия решения по предупреждению и ликвидации ЧС в условиях действия дестабилизирующих факторов в соответствии с [21].

При проектировании ВЭУ для работы в условиях низких температур необходимы адаптационные мероприятия (таблица 2) и ВЭУ арктического

исполнения, а также иметь автоматическое отключение и остановку ВЭУ при температурах, не соответствующих рабочему диапазону температур.

Таблица 2- Мероприятия для защиты ВЭУ от обледенения

Элемент	Пассивные мероприятия	Активные мероприятия
Гондола	Гидроизоляция, дополнительная герметизация и теплоизоляция, обогрев собственным теплом генератора, защитные кожухи, противoadгезионные покрытия, низкотемпературные сплавы, низкотемпературные масла, смазки и гидравлические жидкости.	Система обогрева подогретым воздухом, обогрев нагревательными элементами, система резервирования датчиков, измерительные системы, оснащенные датчиками с подогревом.
Башня	Низкотемпературные сплавы, герметизация и теплоизоляция.	Механическое удаление льда при помощи вертолета.
Ветроколесо	Борьба с налипанием льда и снега	
	Покрытия с противoadгезионными свойствами, окрашивание лопастей в чёрный цвет, химические реагенты.	Термический способ, аэродинамический метод, микроволновые импульсы.
	Удаление ледяного слоя с поверхности лопасти	
Гибкие характеристики лопасти, углеродное нанопокрытие, кремнийорганическое покрытие; шаговое регулирование (Pitch-control).	Электронагревательные элементы, нагретый воздух внутри лопасти, гибкие пневмочехлы, электрические импульс, механическое удаление льда.	

Пассивные мероприятия устанавливаются при изготовлении ВЭУ и не требуют дополнительных затрат при эксплуатации установки в течении ее времени работы. Активные мероприятия, наоборот, требуют дополнительных затрат при эксплуатации ВЭУ. Прирост выработки энергии ВЭУ в год за счет использования адаптационных мероприятий для российских условий в среднем составляет 10-20%.

Несущие конструкции ВЭУ состоят из башни и фундамента и являются ответственными частями сооружений. Несущие конструкции ВЭУ должны выдерживать нагрузки, создаваемые ветроагрегатом и действием внешних условий окружающей среды, в том числе включая обледенения. При проектировании также следует предусмотреть защиту от коррозии стальных элементов.

Специфика эксплуатации ВЭУ в северных условиях имеет ряд особенностей при проектировании башни ВЭУ: должна иметь минимально возможную площадь поверхности для сведения к минимуму обледенения её поверхности, построена по модульному (секционному) принципу для удобства доставки и монтажа, должна иметь минимально возможный вес, все основные узлы (болтовые соединения, система передачи мощности и информации) должны быть максимально защищены от внешних условий, материал исполнения основных узлов башни должен отвечать требованиям прочности и выносливости во всём диапазоне температур окружающей среды. Конструкцией, максимально отвечающей всем требованиям для северных условий является стальная трубчатая башня, состоящая из нескольких секций.

Конструкция фундаментов для установки башен ВЭУ определяется в процессе проектирования на основе свойств грунтов, несущей способности, заданных нагрузок и сейсмичности района. В зонах с вечномерзлым грунтом фундаменты должны быть выполнены в соответствии со строительными нормами и правилами [СНиП 2.02.04-88] и имеют ряд требований для работы в арктических условиях: возведение и эксплуатация фундамента в условиях вечной мерзлоты не должна приводить к её оттаиванию, конструкция фундамента должна обеспечивать устойчивость и надёжность конструкции ВЭУ в условиях вечной мерзлоты. ВЭУ при строительстве станции в арктических условиях могут иметь фундаменты: монолитный железобетонный, свайный или модульный.

К конструкции гондолы для ВЭУ в арктических условиях предъявлены следующие специальные требования: необходимо обеспечивать оптимальный температурный режим внутри гондолы за счет утепления и герметичности, для обогрева основных элементов гондолы рекомендовано в зонах I класса и S класса, согласно международной классификации ВЭУ (IEC 61400-1), применять дополнительную (электрическую) систему обогрева, предусмотреть управляемую систему вентиляции гондолы и противопожарную автоматику, защиту от вибраций, независимую систему резервного (аварийного) питания гондолы, на всех датчиках внутри и снаружи гондолы использовать световую индикацию работоспособности, для улучшения планового технического обслуживания в гондоле должен быть обеспечен доступ для быстрых замены датчиков; необходимо измерения параметров ветра проводить с помощью обогреваемых датчиков, для датчиков направления скорости ветра использовать резервирование, для более точных измерений ветра в суровых условиях, необходимо использовать адаптированные системы мониторинга параметров ветра. Для оперативного ремонта внутри гондолы должен быть обеспечен доступ персоналу или необходимо предусматривать съёмную техническую площадку вокруг гондолы.

Выбор дизельных электроагрегатов ВДЭС должен производиться с учетом возможности их работы в широком диапазоне скоростей, автоматического пуска и приема нагрузки за минимально короткое время и способности агрегатов работать длительное время без обслуживающего персонала в соответствии с 3 степенью автоматизации - по ГОСТ 14228.

Для арктических условий наилучший вариант исполнения ДЭС - в низкотемпературном блок-контейнере. В данных контейнерах осуществляется надежный запуск и работа станции при температурах до - 50°C, защита ДЭС от осадков и надежность при эксплуатации ДЭС, проведении ТО и ремонта. Конструктивные решения электростанций контейнерного исполнения должны отвечать требованиям - по ГОСТ 13822, ГОСТ 18477, ГОСТ Р 50783.

### **3.3 Выводы к третьей главе**

В связи с особыми климатическими условиями на территориях изолированного энергоснабжения необходимо при проектировании ЭК ВДЭС детально прорабатывать адаптационные мероприятия для бесперебойной и долговечной работы оборудования, осуществлять индивидуальный подход. При составлении ТЭО необходимо при экономическом анализе использовать дополнительно метод определения экономической эффективности капитальных вложений в сравнении с альтернативным способом покрытия спроса.

В работе создана методика разработки ВДЭС и методика экономического обоснования строительства ВДЭС, а также сделана структурная схема ВДЭС для изолированных арктических условий и приведен анализ адаптационных мероприятий для работы арктической ВДЭС.

## **ГЛАВА 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**

### **4.1 Актуальность использования геоинформационных технологий**

Геоинформационные системы (ГИС) – одна из ключевых составляющих интеллектуальных технологий в энергетике, которые помогают в решении задач связанных с энергоэффективностью и энергосбережением, управлением активами и текущей деятельностью, в принятии инженерных и инвестиционных решений. В настоящее время, существует ряд энергетических задач, в том числе связанных с ВИЭ в автономных системах энергоснабжения, согласно Распоряжению Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года». ГИС охватывают все этапы производственного цикла в топливно-энергетическом комплексе: разведка, добыча полезных ископаемых, переработка, транспортировка, генерация распределение энергии и сбыт [23].

Таким образом, ГИС для решения энергетических задач должна представлять собой интеграционную платформу, объединяющую и предоставляющую данные, необходимые для анализа и принятия решений информацию, система создает структуру общего видения. Из-за данных возможностей, крупные зарубежные энергетические компании рассматривают ГИС не только как одну из базовых инфраструктурных технологий, необходимую для решения стратегических вопросов планирования сети и помогающую в управлении, но и для аналитики, необходимой для поддержки проектов по использованию солнечной и ветровой энергии – одной из основных тенденций развития мировой электроэнергетики.

В связи с развитием геоинформационных технологий и их возможностью в помощи решения энергетических задач, в РФ стали развивать ГИС для модернизации возобновляемой энергетики. Проведен анализ существующих

ГИС в области ВИЭ в РФ, согласно данному анализу, успешно функционируют две ГИС:

1. ГИС разработана в 2014 г ОАО «РАО ЭС Востока» и ООО «ДАТА+» на базе программного обеспечения «ArcGIS for Desktop» с дополнительным модулем «Data Interoperability» и веб-приложением для расчёта эффективности проектов и отображения результатов совместно с вспомогательными данными. Расчёты в веб-приложении выполняются с использованием сервисов геообработки, которые были созданы с помощью приложения для управления рабочими процессами «ArcGIS ModelBuilder». ГИС позволяет отображать на карте полную и достоверную информацию о расположении и характеристиках проектов ВИЭ, находящихся в разной степени реализации: проектов объектов ветрогенерации, солнечной генерации, проектов генерации на биомассе и проектов строительства ЛЭП, а также проектов объектов, на которых экономически оправдана замена дизель-генераторов. Система позволяет выполнять предварительную оценку эффективности проектов путем расчета их экономических показателей и параметров. Расчет производится исходя из географического расположения объектов, планируемой мощности, технических параметров. Данная система находится в закрытом доступе [23,24]
2. ГИС разработана в проекте «Геоинформационная система «Возобновляемые источники энергии России» (ГИС ВИЭР), выполненном географическим факультетом МГУ (лаборатория возобновляемых источников энергии (НИЛ ВИЭ)) и Объединенным институтом высоких температур РАН (лаборатория возобновляемых источников энергии). Проект осуществлен в рамках выполнения Государственного контракта № 14.740.11.0096 по Федеральной целевой программе «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы. В качестве информационной основы



использовались данные NASA SSE, а также средние многолетние данные актинометрических и метеорологических наблюдений на метеостанциях РФ. Главной целью данного проекта является сбор, анализ, обработка и визуализация в виде тематических карт существующих и проектируемых возобновляемых источников энергии, а также ветровых и солнечных данных на территории РФ. Данная ГИС представлена в свободном доступе [25].

В рамках проекта предложена ГИС для разработки энергетических проектов в изолированной системе энергоснабжения, в частности в Арктической зоне РФ, где целесообразным решением для обеспечения электроэнергией удаленных потребителей является создание ЭК на основе совместного использования возобновляемых и традиционных источников энергии, которые позволят сэкономить десятки миллиардов рублей в год за счет снижения потребления дизельного топлива. С помощью ВДЭС, обеспечивающих замещение дорогостоящего дизельного топлива, может эффективно проводиться оптимизация и модернизация существующих систем энергоснабжения арктических территорий. При проектировании ВДЭС необходимо учитывать ряд климатических, энергетических, экологических, экономических геологических, ресурсных и иных факторов. Данные факторы необходимы для технико-экономического обоснования строительства (ТЭО) - основного проектного документа на строительство ВДЭС.

#### **4.2 Формирования слоев ГИС при проектировании ВДЭС в сложных климатических условиях**

Основная задача геоинформационных систем для проектирования ветродизельных энергокомплексов в сложных климатических условиях - создать геоинформационное пространство, которое является продуктом ГИС, способное хранить заложенные в него базы данных, структурировать информацию и интерпретировать ее в слои для определения необходимых показателей проекта,

определения места строительства, проведения сравнительных характеристик и тд. Функции ГИС для создания ЭК ВДЭС представлены на рисунке 30.

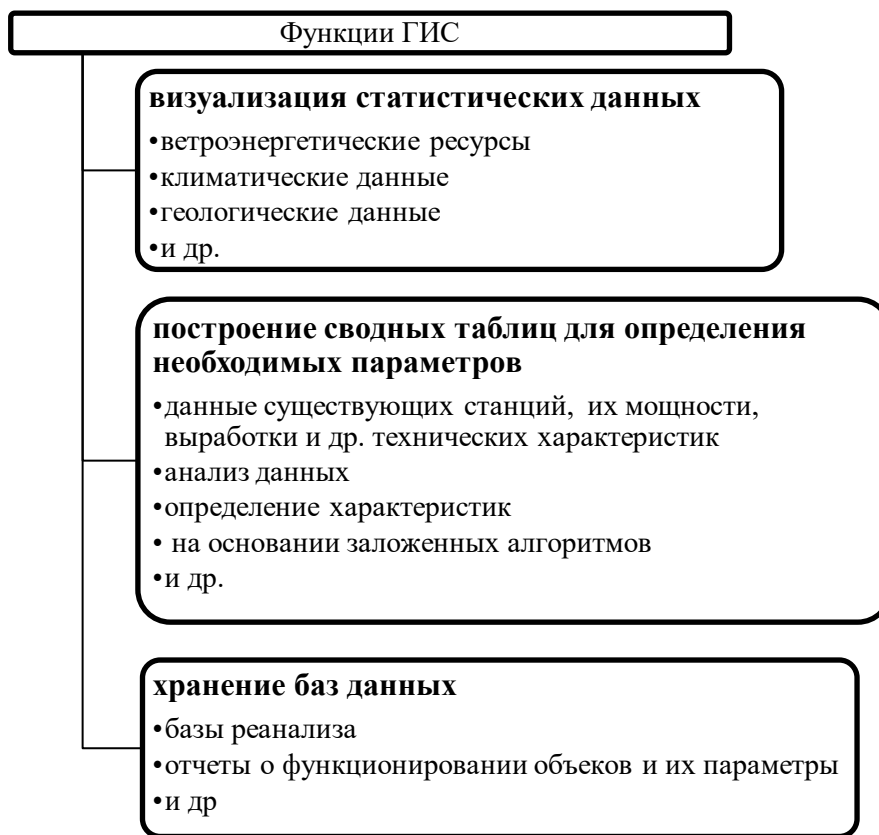


Рисунок 30 – Функции ГИС

С помощью данной модели, для выбранной точки показаны результирующие данные, можно определять климатические, геологические, топографические, экономические и др. параметры, а также характеристики, влияющие на расчет мощности, выработки, потерь электроэнергии и другие конечные показатели расчета энергокомплексов благодаря многослойности продукта. Модель полезна для предпроектных решений за счет возможности сравнительного анализа и для ТЭО.

Многослойность продукта заключается в создании слоев - создание картографической основы для тематической карты, то есть оцифровка раstra с учетом требующейся подробности и точности географических объектов для поставленной задачи. Определены слои пространства, необходимые для проектирования ЭК ВДЭС в северных условиях:

1. Административный слой, содержит информацию о дорогах, административно-территориальном делении, включает данные о населении регионов, площади территорий и тд. Данный слой необходим для принятия предпроектных решений и целесообразности строительства ЭК в выбранном месте с учетом социального развития региона, так же для разработки логистической составляющей проекта, определения необходимых габаритов башни ВЭУ, способа транспортировки, для определения «северного завоза» и тп.
2. Экономический слой, хранит информацию о стоимости завоза дизельного топлива в северные регионы, основываясь на данные из открытых источников, годовых отчетов регионов об энергетическом состоянии и экономическом состоянии, а также включает данные о стоимости электроэнергии и себестоимости электроэнергии в арктических регионах. Слой необходим для экономического обоснования проекта ЭК ВДЭС в указанном регионе, с учетом текущей экономической ситуации.
3. Геологический слой, включает в себя информацию о типе почвы и глубине промерзания грунтов северных регионов, о шероховатости местности. Слой необходим для определения данных о почве и вечной мерзлоте для расчета фундамента и определения его параметров.
4. Энергетический слой, содержит информацию о системе энергоснабжения регионов, о действующих дизельных энергоустановках, их мощности, выработки и информацию о линиях электропередач. Слой необходим для оценки текущего состояния энергоснабжения выбранного региона, для принятия решений о модернизации изношенных ЭК, актуальности строительства новых ЭК в указанной точке, о возможности оптимизации энергоснабжения регионов.
5. Климатический слой, включает информацию о температуре, максимальные, минимальные, среднегодовые, среднесезонные значения, об осадках, и др. Необходим для принятия верных решений о выборе оборудования с учетом низких температур, для принятия решений о дополнительных мероприятиях по защите ЭК от обледенения, для определения потерь в выработке сложных климатических условий и тп.
6. Ресурсный слой, состоит из ветроэнергетических данных, скорости, мощности ветрового потока на высотах 10 м, 50 м, 100 м, а также о направлениях данных потоков. Слой необходим для разработки проектов ВЭС, определения выработки ЭК, оптимальности выбора места строительства, является одним из наиболее важных слоев в разрабатываемом ГИС-пространстве.

На рисунке 31 представлена схема слоев пространства.

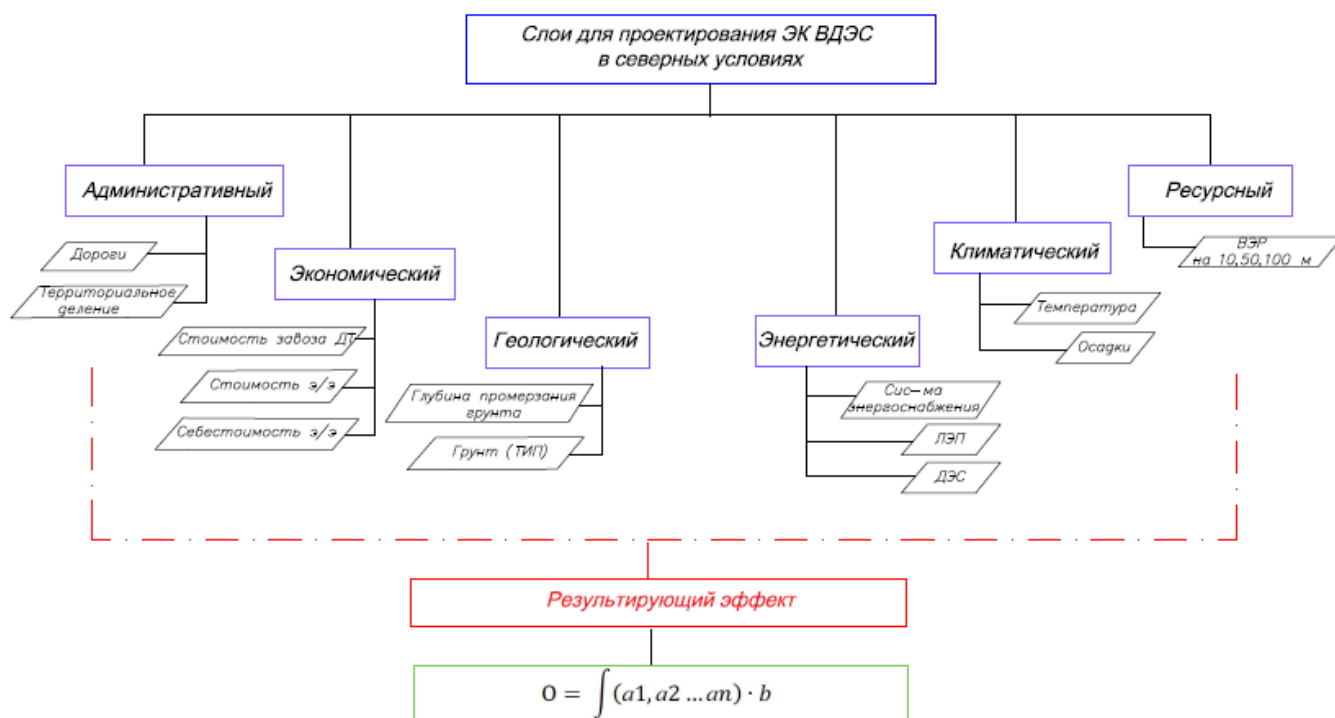


Рисунок 31 – Схема многослойности ГИС – пространства, где O – обобщенный параметр, определяемый в ГИС-системе

Последовательность проектирования энергокомплексов ВДЭС представляет многоуровневую методологию решения прикладных задач, исходные данные и решения которых формируют определенные слои геоинформационного пространства. Формирование слоев ГИС-пространства при проектировании ветродизельных энергокомплексов, позволяет интегрировать необходимые данные, определять параметры и экономическую эффективность проектов ветродизельных энергоустановок.

Таким образом, результирующий эффект –включает все созданные слои, но в зависимости от запрошенных параметров, визуализирует и выдает данные, необходимые для расчета или принятия решения определенного формата, например, если вместо обобщенного параметра из рисунка 32 использовать выработку ветроэнергетической установки, то она будет рассчитана в соответствии с:

$$\mathcal{E} = \int (a_1, a_2 \dots a_n) \cdot b,$$

где  $a_1, a_2 \dots a_n$  – параметры слоев, в указанной точке результирующего слоя, необходимые для расчета (климатические, ветроэнергетические, шероховатости поверхности и др),  $b$  – коэффициент, учитывающий параметры ВЭУ и рынок ветродизельных модулей, и время.

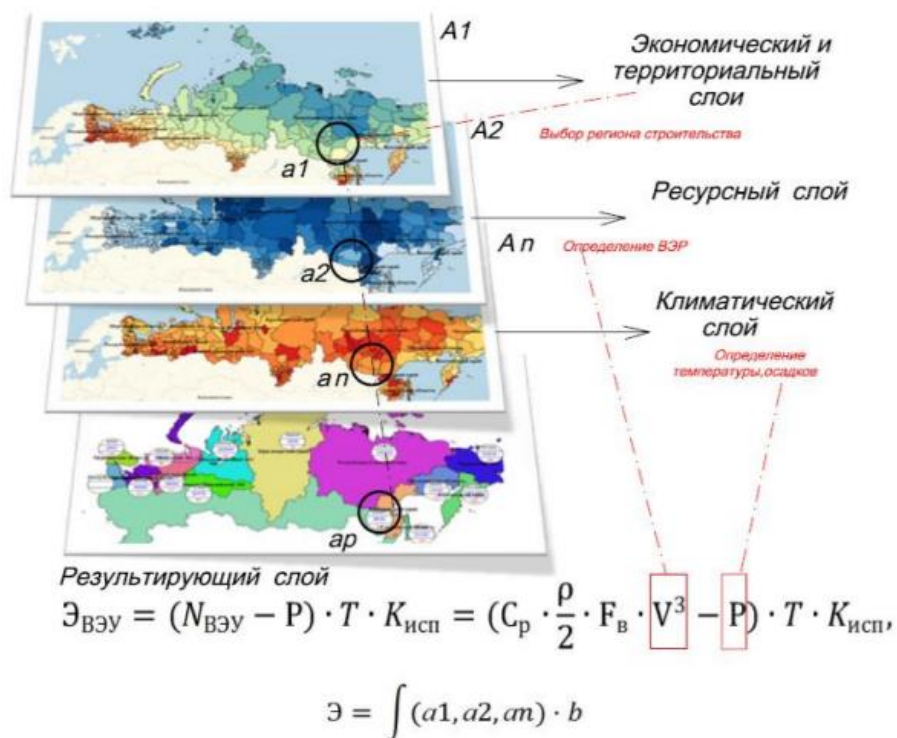


Рисунок 32 - Результирующий эффект многослойности пространства на примере расчета выработки ВЭУ, где  $P$  - потери из-за климатических особенностей Арктических зон (обледенение)

Таким образом, за счет многослойности учтены не только показатели скорости, но и параметры, которые влияют на потери выработки, такие как климатические данные. В результате чего, проектирование и принятие предпроектных решений становится более достоверным.

### 4.3 Методика проектирования ГИС слоев

Для создания ГИС- слоев необходимо определить программный комплекс для работы. Проведен анализ существующих геоинформационных систем на рынке программного обеспечения и определены три программы для сравнительного

анализа: MapInfo, ArcGIS и QGIS. Анализ проведен по следующим параметрам: доступности (коммерческое или свободное использование, преимущество в свободном доступе), языку программирования (выбран Python — высокоуровневый язык программирования, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода, это язык программирования, который позволяет работать быстро и осуществлять интеграцию систем более эффективно, является наиболее распространенным), по поддерживаемым форматам геоданных (существует два формата: WFS и WMS, WMS (Web Map Service)- стандартный протокол для трансляции через интернет географически привязанных изображений, генерируемых картографическим сервером на основе данных из произвольных хранилищ, WFS (Web Feature Service) – веб сервис пространственных объектов, интерфейс которых позволяет запрашивать и редактировать векторные пространственные данные, такие как дороги, береговые линии и тд., преимущество у ГИС, обладающей этими двумя форматами) и по формату экспортированных карт. Анализ представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительные характеристики ГИС

ГИС	Доступ	Язык программирования	Формат файла проекта	Поддерживаемые форматы геоданных		Экспорт карты в графический формат рисунка
				WFS, WMS	WMS	
MapInfo	Коммерческий	среда разработки (IDE) MapBasic.	текст, можно смотреть в текстовом редакторе.	WFS, WMS		bmp, emf, gif, jp2, jpg, png, psd, tiff, wmf. Векторный экспорт ограничен
ArcGIS	Коммерческий	консоль Python, графические среды разработки (IDE) для VBA, .Net.	двоичный файл, нельзя просматривать.	WMS	Контроль за целостностью и топологичностью данных, особенно с использованием базы геоданных (GDB – Geodatabase).	ai, bmp, emf, eps, gif, jpg, pdf, png, svg, tiff. Полноценный экспорт в вектор.
QGIS	Свободный	консоль Python, QT Designer для создания интерфейса.	XML, можно смотреть в текстовом редакторе.	WFS, WMS	Большое кол-во поддерживаемых форматов в меню, контроль кодировки таблицы векторного слоя.	dxg, ico, pdf, ppm, svg, tiff. Экспорт в растровые и некоторые векторные форматы.

Таким образом, существующие геоинформационные системы, как в открытом доступе, так и коммерческие, позволяют выполнять практически любые исследования и работы в картографировании. Главное – определить точную структуру и разработать методику по созданию ГИС-пространства, включающую в себя определение баз данных и способ их задания. Для разработки ГИС-пространства для проектирования ЭК ВДЭС в северных условиях на основе анализа выбран ПК QGIS.

При создании ГИС для проектирования ЭК ВДЭС в Арктических условиях необходимо:

1. Подготовить исходные данные;
2. Импортировать данных в ГИС пространство и определить систему координат;
3. Редактировать импортированные данные и определить их визуализацию;
4. Произвести анализ данных с последующим их отображением за счет заданных алгоритмов.

Проведен анализ баз данных для подготовки исходных данных при создании климатического, ресурсного и геологического слоев, примеры представлены на рисунке 33.

<b>Базы данных</b>	КЛИМАТИЧЕСКИЕ	<i>RP5</i>
		<i>ISH</i>
		<i>ECMWF</i>
	РЕСУРСНЫЕ	<i>MERRA</i>
		<i>CFSR-E</i>
		<i>NASA SSE</i>
	ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ	<i>Всероссийский Научно-Исследовательский Геологический Институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ)</i>

Рисунок 33 – Базы данных

В работе представлена ГИС территории РФ с данными о скорости ветра на высоте 50 м и 100 м, показаны энергетические сети и ДЭС в ряде субъектов с изолированной системой энергоснабжения (рисунок 34).

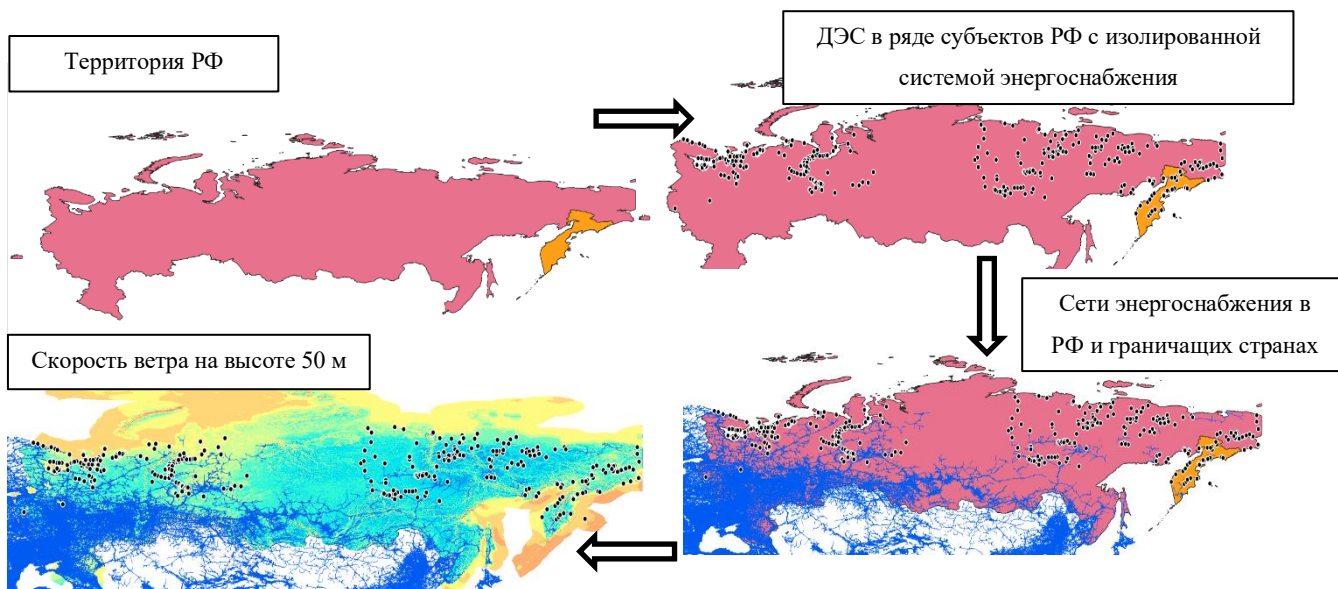


Рисунок 34 – Сделанные слои в QGIS

Визуализированные данные демонстрируют, что большая часть РФ – изолированная система, где энергоснабжение происходит преимущественно от ДЭС.

В работе создана база данных ДЭС с данными о мощности, выработке, себестоимости электроэнергии и тд, проведен анализ этих данных. Для создания базы данных использовались данные из ежегодных отчетов энергетических компаний в изолированной системе энергоснабжения и сводные (общие) отчеты, представленные Министерством энергетики. Таким образом в ГИС заложена информация по станциям в девяти регионах (349 ДЭС): Республика Саха (Якутия), Архангельская область, Ненецкий Автономный Округ, Ханты-Мансийский Автономный Округ, Мурманская область, Камчатский край, Ямало-Ненецкий Автономный Округ, Чукотский Автономный Округ и Магаданская область. Данные в ГИС импортированы из MS Excel по алгоритму, представленному на рисунке 35.



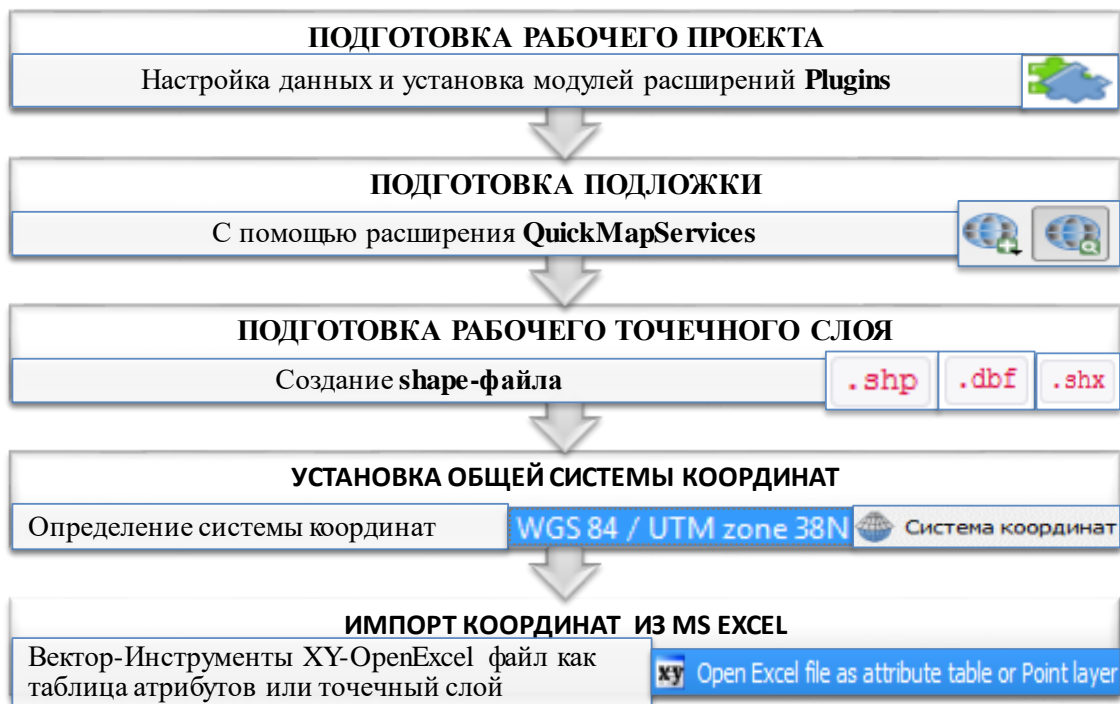


Рисунок 35 – Алгоритм создания слоя в QGIS

На рисунке 36 представлены ДЭС Камчатского края и энергетические сети. Данные об энергетических сетях получены из открытой платформы данных, представляющей доступ к наборам данных и аналитике, которые имеют отношение к энергетическому [44].

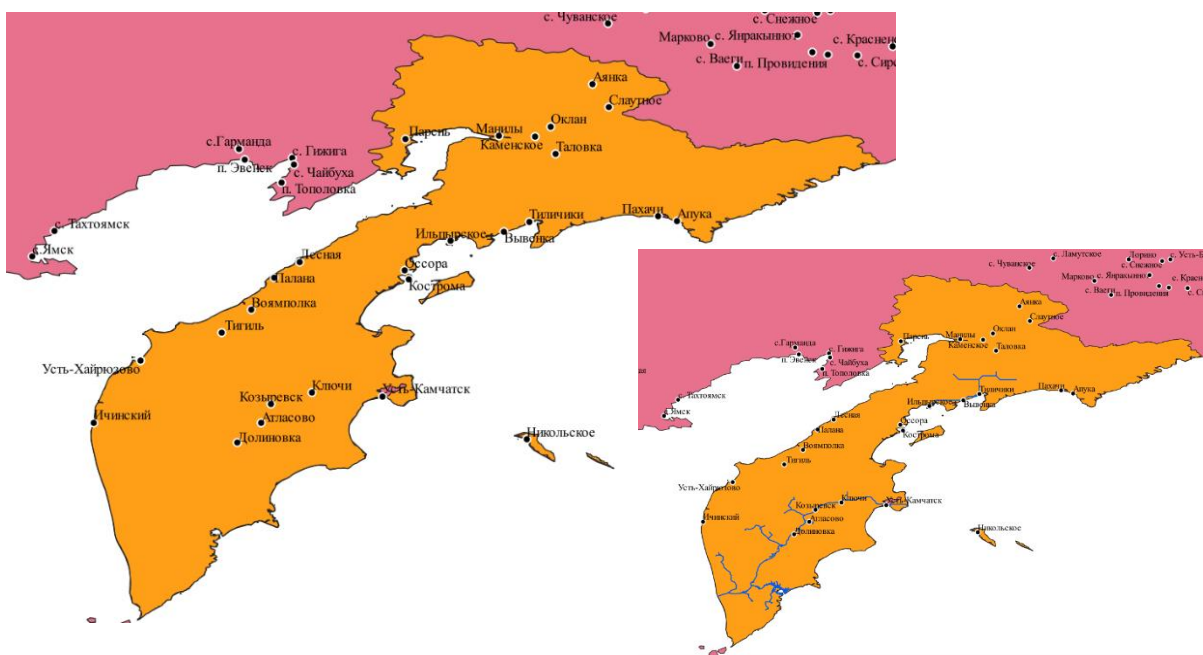


Рисунок 36 – ДЭС на территории Камчатки и сети

Данные о скорости ветрового потока на высоте 50 м и 100 м получены из данных [43]. Используя эти данные получены слои с ветровыми показателями (рисунок 37).

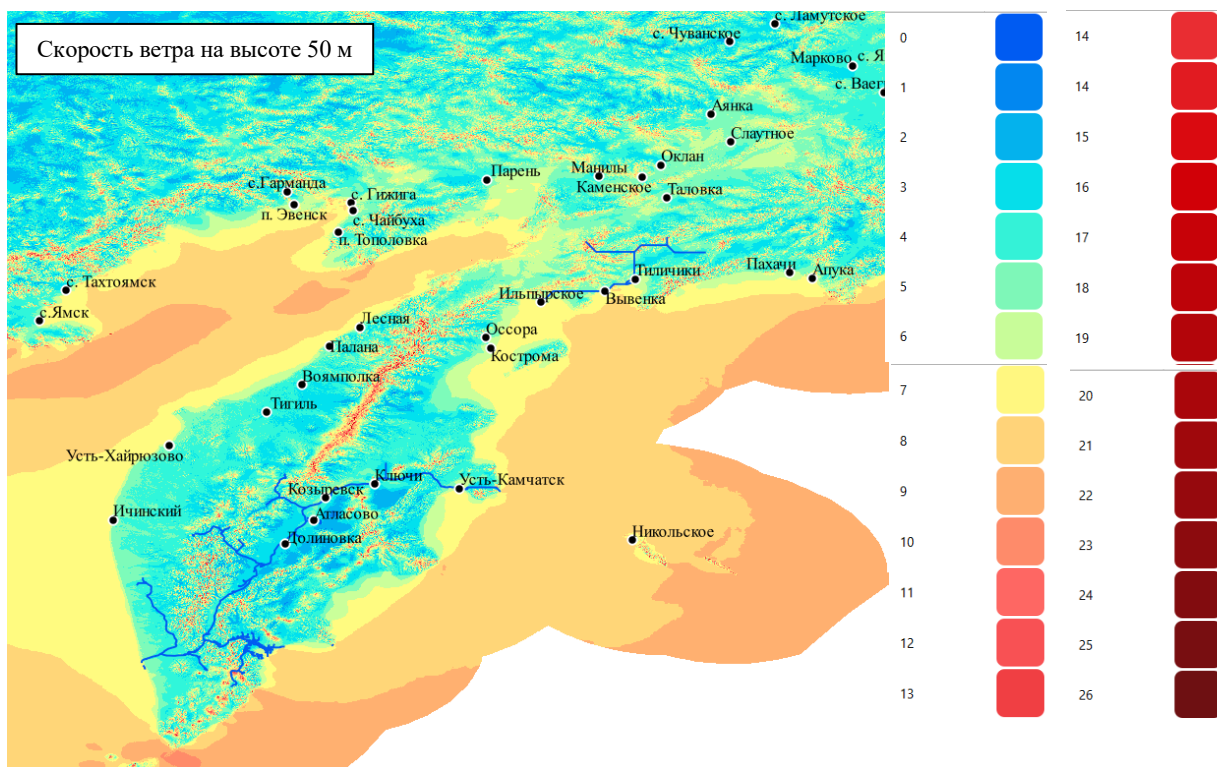


Рисунок 37 – Слой с данными ветра на высоте 50 м на территории Камчатки, с ДЭС и сетью

#### 4.4 Выводы к четвертой главе

В работе представлен анализ геоинформационных систем для энергетической сферы, а также представлены базы данных для создания климатических, ветроэнергетических и геологических слоев. Представлен алгоритм создания слоя в QGIS и созданы слои в данном программном комплексе содержащие информацию о ветровом потоке на высоте 50 м и 100 м, данные ДЭС в изолированной системе энергоснабжения в девяти регионах (349 ДЭС) и представлены энергетические сети. Представлена структура ГИС для проектирования ВДЭС в изолированной системе энергоснабжения с суровыми климатическими условиями. Изучены существующие ГИС для области ветроэнергетики, разработанные в РФ.

## ГЛАВА 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВДЭС В КАМЧАТСКОМ КРАЕ В ПОСЕЛКЕ ТИЛИЧИКИ

### 5.1 Анализ энергоснабжения Камчатского края

Камчатский край относится к изолированной системе энергоснабжения РФ, на территории края отсутствует оптовый рынок электроэнергии и мощности.

Камчатская энергосистема состоит из Центрального энергоузла и тринадцати изолированных энергоузлов. Доля центрального энергоузла в потреблении электрической энергии в 2018 году составила 82,2 %, изолированных энергоузлов – 17,8 %.

В структуре установленной электрической мощности на территории Камчатского края по данным на 2018 год преобладают ТЭЦ центрального энергорайона - 55,87% от суммарной мощности электростанций, а также ГеоЭС - 11,36 %, доля ДЭС и ГЭС составила 24,69 % и 7,23 % соответственно. Доля ВЭС составила 0,85 %, общая мощность генерирующих объектов по данным 2019 года – 651,5 МВт (рисунок 38), общая выработка по данным 2018 года – 1816 млн кВт·ч.

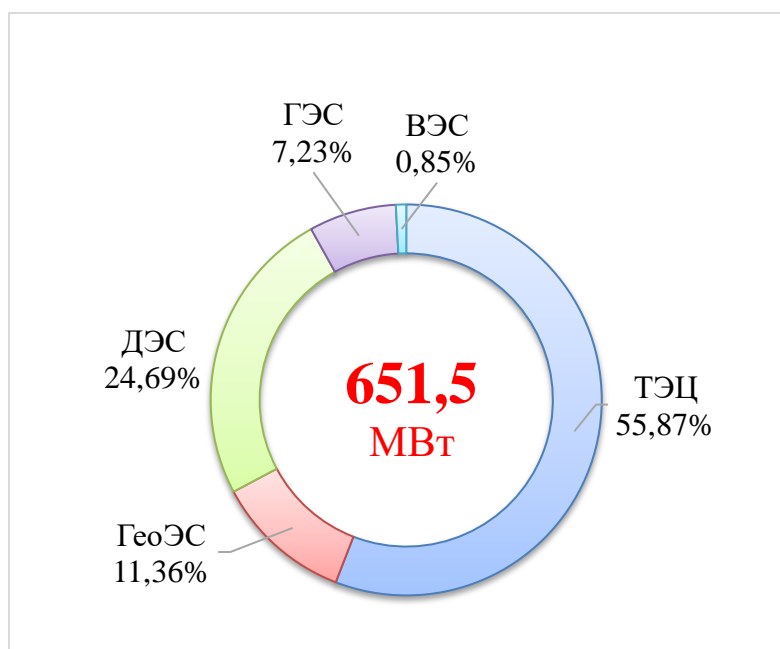


Рисунок 38 – Структура установленной мощности по объектам генерации в процентном соотношении

В Камчатском крае с 2014 по 2018 год произошел прирост электропотребления на 6,2 %, что обусловлено ростом электропотребления в изолированных энергоузлах (рисунок 39). Потребление электроэнергии на душу населения в Камчатском крае за период 2013-2017 годах выросло на 4,3 %.

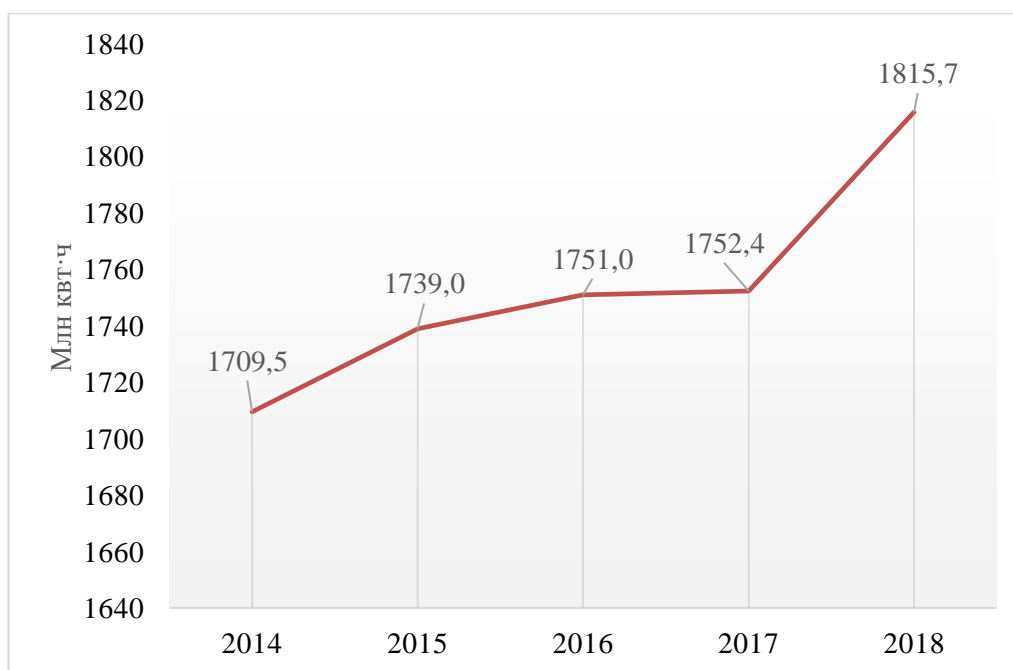


Рисунок 39 – Динамика потребления электрической энергии за 2014-2018 г

Основные особенности функционирования энергосистемы Камчатского края:

- изолированность и децентрализация выраженная в наличии в южной части полуострова относительно крупной для Камчатского края центральной энергосистемы и большого количества энергоузлов, изолированных друг от друга и от центрального энергоузла;
- высокая себестоимость производства и поставки электрической и тепловой энергии;
- функционирование всех элементов энергетической системы в активной сейсмической зоне со сложными климатическими условиями (циклоны, ветровые нагрузки, обледенение);

- высокая доля бытовой нагрузки в балансе потребления электрической и тепловой энергии, отсутствие промышленного производства на территории края;
- отсутствие возможности максимального использования выгодных режимов когенерации Камчатских ТЭЦ из-за дисбаланса электрической и тепловой нагрузок потребителей.

В Камчатском крае высокий потенциал местных ВИЭ, но в данный момент преимущественно используется привозное топливо (мазут, дизельное топливо, уголь) для производства электроэнергии и тепла. Значительные затраты на закупку и доставку привозного топлива приводят к тому, что экономически обоснованный тариф на Камчатке превышает предельные уровни тарифов, ежегодно устанавливаемые ФСТ России. Разница между сложившимся уровнем экономически обоснованного и устанавливаемого для конечного потребителя тарифа компенсируется энергокомпаниям за счет бюджетных субсидий.

Электрические сети Камчатского края неразвиты по сравнению с регионами центральной части России, это обусловлено большими расстояниями между населёнными пунктами при низкой плотности населения, сложным рельефом и климатическими условиями. В Камчатском крае отсутствует единая энергосистема и транзитные межрегиональные магистральные сети высокого напряжения.

Основные проблемы энергосистемы Камчатского края обусловлены особенностями её функционирования: из-за изолированности и удалённости Камчатской энергосистемы от ОЭС Дальнего Востока отсутствует возможность расширения сбыта электроэнергии за её границами, а также необходимость содержания значительного резерва, избыточность генерирующих мощностей в энергоузлах (до 50%), высокая степень физического износа основного энергооборудования (до 70% основного энергооборудования) и его низкий технический уровень, нерациональная структура генерирующих мощностей, в которой преобладают неэффективные энергетические мощности для работы в базовой части графика нагрузки, недостаточно маневренной мощности, высокая

доля населения, бюджетных организаций (61%) и незначительная доля (7%) промышленных потребителей в общей структуре энергопотребления, не смотря на газификацию основных генерирующих мощностей зависимость ряда объектов региональной энергетики от дальнепривозных дорогостоящих углеводородов - мазута, дизельного топлива и угля, а также высокие транспортные тарифы по их доставке в регион продолжает существенно влиять на тариф), из-за чего высокий уровень субсидирования энерготарифов, рост негативного экологического воздействия на природу изолированных энергоузлов из-за сжигания органического топлива и выделения CO<sub>2</sub>.

Согласно проведенному анализу по состоянию объектов генерации в изолированной зоне, 30% ДГУ были введены в эксплуатацию с 1970 г по 2005 г и не реконструировались по настоящий момент. В период за 2017 г и 2018 г была проведена реконструкция или введено новое оборудование у 18% ДГУ. 52 % ДГУ введены в эксплуатацию или реконструировались в период с 2005 по 2017 года (рисунок 40, 41). Таким образом, требуется масштабная модернизация большого количества установок, либо замена их на новое современное оборудование и строительство объектов генерации на возобновляемых источниках энергии с развитием сетевой инфраструктуры для подключения потребителей, за последние несколько лет ситуация улучшилась.

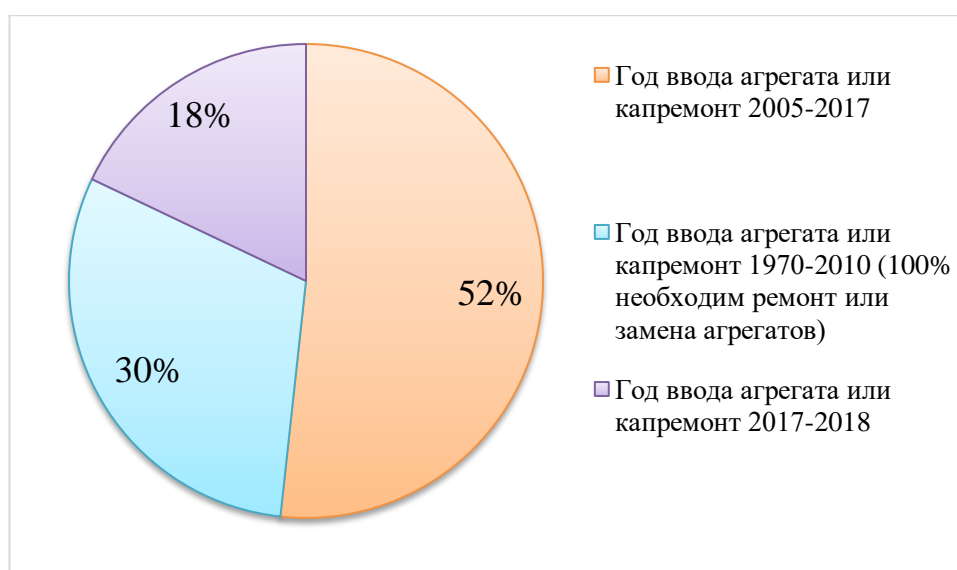


Рисунок 40 – Год ввода или реконструкции генерирующего оборудования в изолированной зоне по годам

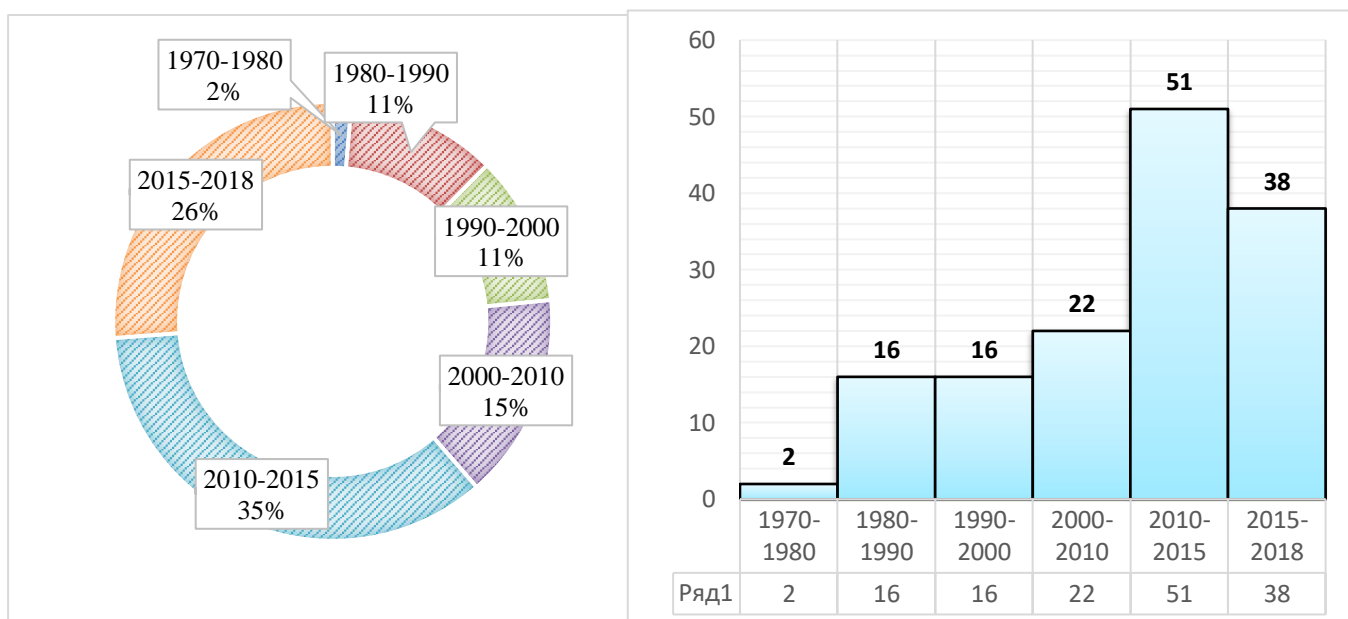


Рисунок 41 – Год ввода или реконструкции генерирующего оборудования в изолированной зоне по годам

Высокий тариф на электрическую и тепловую энергию одна из основных социально-экономических проблем Камчатского края. Цена топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов за 1т дизельного топлива в среднем по краю составляет 54 тыс. руб. (рисунок 42).

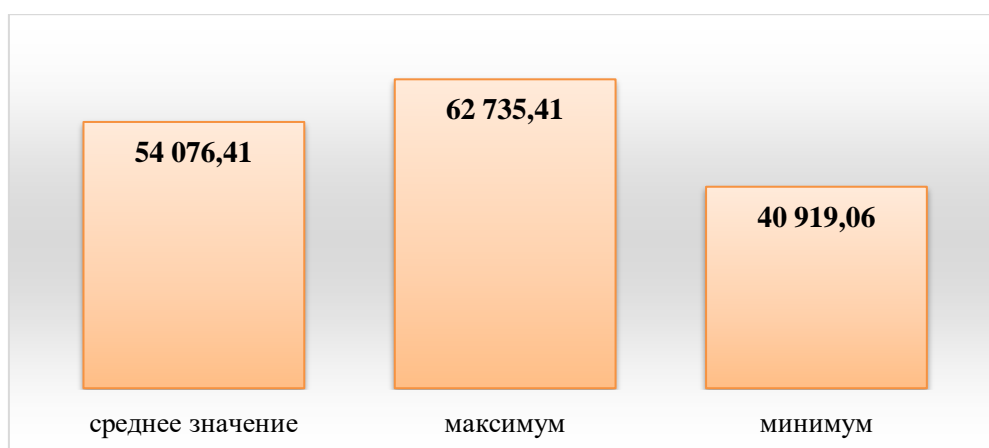


Рисунок 42 – Цена топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов за 1т без НДС, руб., средняя за год

Выделяются следующие факторы, негативно влияющие на стоимость электрической энергии:

1. высокая стоимость топлива из-за удалённости и ограниченной транспортной доступности Камчатского края как для доставки грузов из других регионов России или из-за рубежа, так и при их транспортировке по территории самого края;
2. отсутствует железнодорожное, автомобильное и трубопроводное сообщение Камчатского края с районами производства топлива;
3. энергопотребление ограничено потреблением внутреннего рынка;
4. наличие избыточности генерирующих мощностей (50 %) в центральном энергоузле и изолированных энергоузлах требует дополнительных издержек;
5. недостаточное использование потенциала возобновляемых источников энергии, при отсутствии топливной составляющей в производстве электроэнергии.

### ***5.1.1 Ветроэнергетика Камчатского края***

В изолированных энергоузлах Камчатского края электроснабжение осуществляется от ДЭС, ГеоЭС (Паужетская – в Озерновском энергоузле), малой ГЭС (Быстринской ГЭС), а также ВЭС и ЭКВДЭС.

В таблице 4 приведен анализ объектов генерации за счет ветроэнергетических ресурсов Камчатского края.



Таблица 4 – ВЭС и ВДЭС Камчатского края [26, 27,28]

	Населенный пункт	Собственник	Объект генерации	ДГУ				ВЭУ				Суммарная мощность	Выработка	КИУМ	Себестоимость электроэнергии
				Марка	Кол-во	Выработка, тыс. кВт*ч за год	Мощность, кВт	Марка	Кол-во	Выработка, тыс. кВт*ч за год	мощность ВЭС, кВт				
1	с. Усть-Камчатск	АО «ЮЭСК» ПАО «Передвижная энергетика»	ВДЭС	ДГ72	9	21522	8200	Komaihaltec (KWT)300	3	1490	1175	9375	23012	18,9	
				LB8250ZLD	1			Vergnet 275	1						
2	с. Никольское	АО «ЮЭСК» ПАО «Передвижная энергетика»	ВДЭС	Caterpillar 3406	5	3248	2260	Micon 250	2	457	1050	3310	3705	7	25
								Vergnet 275	2						
3	п. Октябрьский	АО «Камчатские электрические сети им. И. А. Пискунова»	ВЭС	-	-	-	-	MICON (VESTAS, Дания) 300	3	7813	3300	3300	7813	27	7,71
								MICON (VESTAS, Дания) 600	4						

В с. Усть-Камчатск три ветроэнергетические установки Komaihaltec (KWT) 300, общей мощностью 900 кВт введены в эксплуатацию с 2014-2015 годов, ВЭУ французской фирмы Vergnet введена в эксплуатацию в 2014 году. ВЭС обладает автоматизированной системой управления технологическим процессом и комплексом программно-аппаратных средств стабилизации параметров сети и утилизации излишков электроэнергии. Выработка энергокомплекса (с учётом собственных нужд ВДЭС) – 5,9% потребления энергоузла. По данным ТЭП АО «ЮЭСК» за 2016 год у ВЭС в 6,35 раза собственные нужды выше, чем у ДЭС, так как электроэнергия необходима на обогрев оборудования ВЭУ. ВЭУ Vergnet 275 адаптирована к работе в условиях Севера (до –40 градусов). Для этого ПАО «Передвижная энергетика» совместно с производителем произвели комплексную доработку оборудования. Стоимость трёх ВЭУ KWT 300 составила более 301 млн. руб., амортизационная составляющая при сроке службы 20 лет составляет 11,36 руб./кВт\*ч (согласно данным ПАО «Передвижная энергетика»). В себестоимость электроэнергии от ВЭС так же входят иные расходы, такие как: налог на имущество 2,2% - 6,6 млн. руб. или 5 руб./кВт\*ч, зарплата персоналу, расходы на материалы при текущем обслуживании, накопительные расходы на капитальный ремонт, который производится через 8-10 лет после ввода в эксплуатацию, 25-40% от первоначальных капвложений. В 2017 г. В п. Усть-Камчатск ВЭС выработали 1445,95 тыс. кВт\*ч, собственные нужды ВЭС составили 140,6 тыс. кВт\*ч, около 10%. Согласно подсчетам проектировщиков ЭК, экономия от работы трех ВЭУ Komaihaltec 300 составляет более 550 тонн дизельного топлива в год.

В 2013 году завершено строительство и введён в эксплуатацию ЭК ВДЭС в с. Никольское. ВЭУ Mison 250 были введены в 1994 году и не работают на данный момент, поэтому фактически ВДЭС состоит только из двух ВЭУ Vergnet суммарной мощностью 550 кВт и ДЭС - 2260 кВт. ЭК ВДЭС обеспечил около 10% выработки энергоузла с учетом собственных нужд по данным ТЭП АО

«ЮЭСК» за 2016 год. Себестоимость электроэнергии составляет более 25 руб./кВт\*ч. Срок окупаемости ВЭС составляет 10,7 лет.

ВЭС в п. Октябрьский введена в эксплуатацию в 2014 году и функционирует в Центральном энергорайоне. Ветропарк строился в две очереди и состоит из четырех ВЭУ мощностью по 600 кВт каждая и трех ВЭУ – 300 кВт, суммарная мощность ВЭС составляет 3,3 МВт. ВЭС находится в собственности и эксплуатируется АО «КЭС им. И.А. Пискунова». ВЭС построена для повышения энергоэффективности и модернизации объектов энергоснабжения районов Камчатского края в рамках инвестиционного проекта «Обеспечение энергоснабжения изолированных территорий Камчатского края на основе возобновляемых источников энергии», реализуемого с 2011 года.

Таким образом, согласно изученным отчетам о работе ВЭС в Камчатском крае, при проектировании аналогичных объектов генерации, необходима комплексная оценка эффективности уже введенных в строй объектов и детальный расчёт эффективности энергетических комплексов для развития энергетики района.

Характеристики эксплуатирующих ВЭУ в Камчатском крае представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики ВЭУ

Характеристика		Vergnet	Komaihaltec (KWT)
Мощность	кВт	275	300
Высота башни	м	55	41,5
Диаметр ВК	м	30	33
Количество лопастей	шт	2	3
Минимальная скорость ветра	м/с	3,5	3
Максимальная скорость ветра	м/с	25	25
Буревая скорость ветра	м/с	42,5	70

## 5.2 Характеристика дизельных станций с. Тилички

Село Тилички – административный центр Олюторского района, расположено в северо-восточной части полуострова Камчатка на берегу залива Корфа Берингова моря. В структуру Олюторского энергоузла входят: ДЭС (АО «ЮЭСК») и МДЭС (АО «Корякэнерго»), находящиеся в с. Тилички, а также воздушные и кабельные ЛЭП (рисунок 43). Характеристики генерирующих объектов по данным 2018 года приведены в таблице 5.



Рисунок 43 – Расположение ДЭС и МДЭС в с. Тилички

Дизельная электростанция принята в состав АО «ЮЭСК» в 1965 году. После землетрясения в апреле 2006 года была построена модульная станция, которая совместно с существующей ДЭС обеспечивает электроэнергией потребителей с.Тилички и нового посёлка Тилички (Верхние Тилички). В 2017 году АО «Корякэнерго» осуществило полную замену Модульной ДЭС путем замены 3-х основных ДГУ мощностью 1,0 МВт каждая, а также установлен дополнительный блок с двумя ДГУ мощностью 1,0 МВт каждая, таем самым увеличив установленную мощность МДЭС с 3,0 до 5,0 МВт.

Таблица 5 – Характеристики ДЭС и МДЭС по данным 2018 г

Генерирующий объект	Марка генерирующего оборудования	Транспортная доступность		Собственник	Установленная мощность	Выработка	Фактическая электрическая нагрузка потребителей				Расход топлива на выработку электроэнергии	Удельный расход у.т. на выработку 1 кВт·ч	Цена топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов за 1 т без НДС	Удельные фактические расходы на производство 1 кВт·ч электроэнергии
		расстояние от административного центра, км	Сезонность поставок				кВт	тыс. кВт·ч за год	максимум (Зима) кВт	минимум (Зима) кВт				
ДЭС	ДГ72 (4 шт); Perkins4012TWG2	1200	да	АО «ЮЭСК»	4200	11103	2325,460	2217,38	878,86	814,56	2,823	376	51 277	39,37
МДЭС	DA-C1250PHV (1000 кВт), 5 шт.		нет	АО «Корякэнерго»	5000	9167	3250	730	710	500	2,154	354	58 650	23,84

Согласно [26], необходима модернизация существующих ДЭС из-за увеличения максимума нагрузки потребителей в изолированных системах энергоснабжения. В связи с этим, увеличена мощность ДЭС до 6 МВт в период с 2019-2020 гг, актуальный состав ДЭС представлен на рисунке 44. Суммарная мощность генерирующих объектов в с. Тилички составляет 11 МВт.



Рисунок 44 – ДЭС в с. Тиличках

На рисунке 45 представлена МДЭС с. Тилички. Согласно данным АО «Корякэнерго» [32], выработка электроэнергии за 2019 год – 7645,809 тыс. кВтч, удельный расход дизельного топлива на выработку электрической энергии за 2019 год – 364,7 г/кВт\*ч на 1 кВт\*ч,





Рисунок 45 – МДЭС в с. Тиличихах

Характеристика установленных ДГУ на ДЭС и МДЭС представлены в таблице 6 [30, 31].

Качественные характеристики поставляемого топлива для МДЭС в 2018 году представлены в таблице для летнего и зимнего периода, данное топливо (вид – топливо ТС-1 (ГОСТ 10227-86)) поставлялось на все ДЭС АО «Корякэнерго» (таблица 7).

Таблица 6 – Характеристика установленных ДГУ на ДЭС и МДЭС

Характеристика		DA-C1250PHV	ДГ72	Perkins4012T WG2	ДГ99
Номинальная мощность	кВт	1000	800	1000	1000
Максимальная мощность	кВт	нд	880	1166	1100
Объем двигателя	л	нд	нд	45,8	нд
Объем масляной системы	л	нд	нд	177	нд
Частота вращения	об/мин	нд	1500	1500	1500
Удельный расход топлива	л/кВт*ч	нд	0,204	0,263	0,194
Расход топлива при 50% нагрузке	л/час	нд	нд	132,1	нд
Расход топлива при 75% нагрузке	л/час	нд	нд	198	нд
Расход топлива при 100% нагрузке	л/час	нд	204,7	263,9	194
Тип генератора		нд	Синхронный	Синхронный	Синхронный
Стоимость	руб	нд	нд	13 028 062	нд

Таблица 7 – Характеристика топлива для дизельных электростанций

№	Наименование показателя	Значение (зимний период)	Значение (летний период)
1	Температура застывания, °С	-37	-17
2	Предельная температура фильтруемости, °С	-30	-12
3	Цетановое число, при температуре ниже 0°С	45	52,4
4	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	47	55,5
5	Массовая доля серы, %	0,13	6,0
6	Массовая доля воды, %	отсутствие	44
7	Коксуемость 10%-ного остатка разгонки, %	0,20	0,014
8	Зольность, %	0,01	отсутствие
9	Общее загрязнение, мг/кг	отсутствие	7
10	Плотность при 15 °С, кг/м³	0,838,7	0,823,9



### 5.3 Логистика и доставка оборудования в с. Тилички

В Камчатском крае развиты морской, воздушный, трубопроводный и автомобильный виды транспорта. Расстояние до ближайших крупных морских и аэропортов составляет соответственно 2500 км (Владивосток) и 1700 км (Хабаровск). Морским транспортом осуществляется перевозка всех видов продовольствия, материально-технического снабжения, топлива. Авиационный транспорт обеспечивает межмуниципальные и межрегиональные перевозки. Автомобильный транспорт играет ведущую роль в перевозках грузов в Камчатском крае, общая протяжённость автомобильных дорог – 3014,04 км, 47,5 км из них – федерального значения (А401 «Морской порт–Аэропорт»), 1875,82 км – регионального значения, 1090,72 км – местного значения. Сеть автодорог отличается высокой степенью износа (дороги регионального значения изношены на 70,9 %), имеет незавершенный характер и не обеспечивает круглогодичного автотранспортного сообщения экономически развитых южных и центральных районов с севером.

Доставка грузов в с.Тилички осуществляется авиатранспортом, морским транспортом и зимниками. Авиатранспорт актуален на протяжении всего года. Доставка в Тилички с помощью авиационного транспорта осуществляется через Петропавловск-Камчатский. Аэропорт краевого центра принимает самолеты из Москвы, Петербурга, Хабаровска, а также других городов страны, затем груз переправляется в Тилички. Морская доставка грузов в Тилички – достаточно удобный способ перевозки, к нему прибегают многие компании, предприниматели и частные лица. Однако здесь имеются определенные ограничения: данный вид доступен только в период с июня по октябрь. В 2019 году дополнительно введена самоходная баржа с аппарелью предназначена для перевозки 25 пассажиров, 40 тонн грузов, с длина судна – 25,8 м, шириной – 6 м, осадка 1,2 м и развивает скорость до 10 узлов. До села Тилички возможна перевозка груза по зимней дороге. Здесь тоже существуют определенные ограничения. Они связаны с погодными условиями и выбором конкретного

маршрута, период навигации: декабрь-февраль. В этот период, например, через залив Корфа автодороги Тилички – Корф толщина льда составляет 80 см, грузоподъемность — до 20 тонн.

Таким образом, доставка грузов (массогабаритные элементы ВЭУ и техника) до с. Тилички осуществляется через Петропавловск-Камчатский морским путем. На рисунке 46 представлен Северный морской путь по которому осуществляется доставка груза до Петропавловска-Камчатского.



Рисунок 46– Маршрут доставки грузов до с. Тилички

## 5.4 Анализ графиков нагрузки

На основании данных о фактической максимальной летней и зимней, а также минимальной летней и зимней электрической нагрузки потребителей составлен годовой график потребления электроэнергии в п. Тилички. На рисунке 47 представлен годовой, сезонный и дневной профили нагрузки, построенный в ПК Номер.

В суточном графике нагрузки определены два пика – утренний, с 9:00 до 11:00 и вечерний с 17:00 до 19:00. На рисунке 48 представлены два графика, зимний и летний.

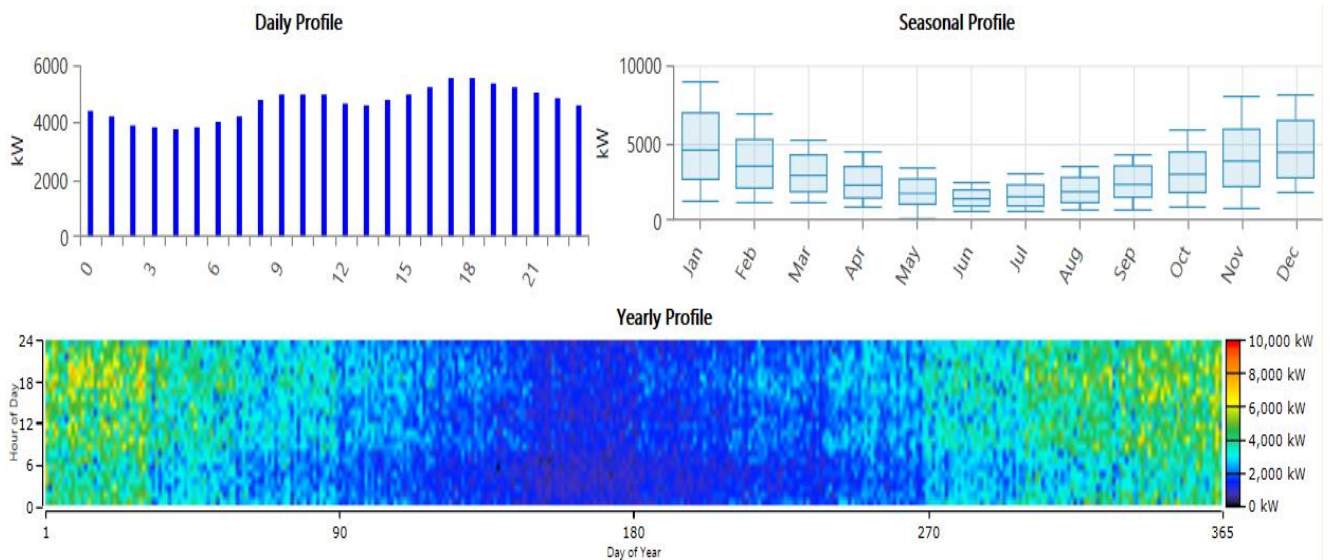


Рисунок 47 – Профили нагрузки (годовой, сезонный и дневной)

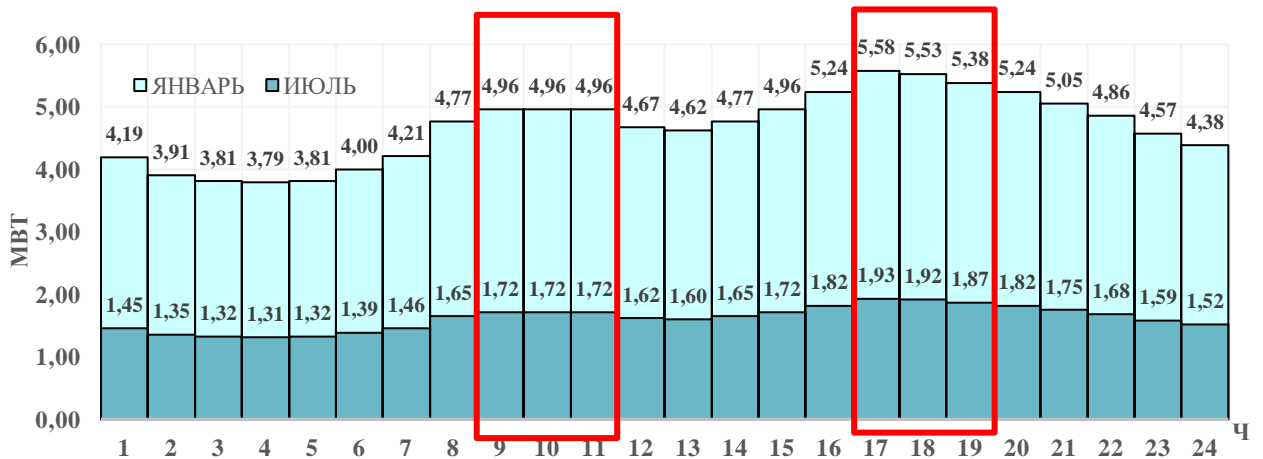


Рисунок 48 – Суточный график нагрузки

## 5.5 Определение площадки строительства ВЭС

### 5.5.1 Природно-климатические особенности региона строительства

Территория Олюторского района расположена на северо-восточном побережье полуострова Камчатка. На севере граничит с Чукотским автономным округом; на западе — с Пенжинским районом Корякского автономного округа; на юго-западе — с Карагинским районом Корякского автономного округа. С юга и востока омывается водами Берингова моря. В районе протекают крупные реки: Вывенка, Пахача, Апука, Укэляят.

Энергетическая система Камчатского края функционирует в сложных природно-климатических условиях (сейсмичность территории, ветровые нагрузки, циклоны, сложная транспортная доступность, длительный отопительный сезон (259 суток) и пр.).

Климат Камчатского края отличается разнообразием и неустойчивостью погоды, что обусловлено географическим положением, влиянием окружающих морей и Тихого океана, движением воздушных масс, рельефом. Осредненные температуры для всех месяцев в году в с. Тилички представлены в таблице 8 и на рисунке 49, данные получены и проанализированы из [34, 35]. Согласно этим данным, в с. Тилички и в Камчатском край в целом суровые климатические условия на значительной площади территории, в течении года преобладают отрицательные температуры, в период с 2012 года по 2020 год, согласно данным [36] температурный минимум составил  $-31^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум был зафиксирован в период 1979-1994 годов и составил  $-44^{\circ}\text{C}$  [37] (рисунок 49). Округ с. Тилички относится к территориям, где суммарное количество дней со среднесуточной температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  не превышает в среднем 30 дней, а число безморозных дней 65-90, а число дней в году со снежным покровом от 160 до 240.

В этих регионах малая плотность населения (1310 человек по данным 2018 года), а поселки расположены на значительном расстоянии друг от друга, что обуславливает особую значимость энергетики в связи с повышенным расходом энергоресурсов на функционирование регионального экономического комплекса, поддержание приемлемого качества жизни населения.

Таблица 8 – Климатические характеристики с. Тилички

Характеристика	Ед.изм.	Тилички											
		Лето			Осень			Зима			Весна		
		Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Средняя месячная температура	°С	9,4	13,2	13	8,6	1,4	-9,2	-14,6	-15,7	-13,1	-12,9	-6,2	1,6
Средняя минимальная температура	°С	4,4	8,3	8,1	2,7	-3,4	-16,7	-23,3	-25,1	-20,9	-21	-12,5	-2,3
Средняя максимальная температура	°С	16,5	19,8	18,1	12,9	5,8	-2,8	-6,8	-7	-5,6	-6,3	-2,3	6
Давление	Мм рт. Ст.	757	762	760	754	758	754	754	757	760	757	761	756
Влажность	%	85	83	85	85	78	89	91	89	89	90	94	87
Облачность	%	78	66	80	48	40	81	60	73	67	69	45	74
Скорость ветра	М/с	2,9	2,4	3,2	3,8	4,6	5,1	4,7	4,9	5	5,9	4,2	4,6



Рисунок 49 – Температурные данные по месяцам



Проведен анализ почв. В Камчатском крае в районе с. Тилички тундровая растительность, соответствующая покрову Крайнего Севера, основные черты: отсутствие древесного ресурса, в основном мелкодревесные растения (кустарники, стланики), широко распространены травянистые многолетники, мхи и лишайники, характерно наличие пятен обнаженного грунта – перфорированность растительного слоя. В районе с. Тилички метаморфические, магматические и осадочные породы. Преобладает торфяная и сухоторфяная почва. Температурный режим почв по средней температуре самого теплого месяца на глубине 20 см составляет от 0°С до +8°С. Согласно агроклиматической характеристике территории относится к горным. Вероятность заморозков в мае на поверхности почвы -3°С более 60%.

Территория вблизи с.Тилички относится к вечной мерзлоте с глубиной до 100 м (рисунок 50) [38].

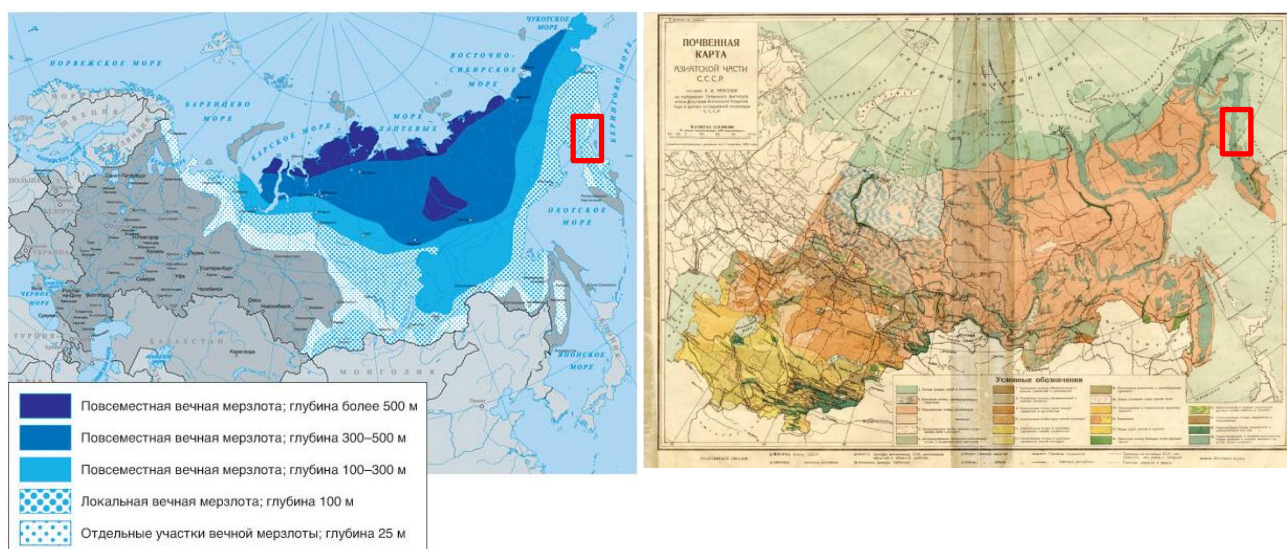


Рисунок 50 – Карта вечной мерзлоты

Территория Камчатского полуострова более чем на три четвертых занята горами. Наиболее сильные землетрясения, до 8 баллов, отмечены на восточном побережье, слабее, до 6 – 7 баллов, - в центральной части и самые слабые, до 5 баллов, - на западном побережье области.

Сейсмическая деятельность у тихоокеанского побережья Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии достигает наивысшего на Земле уровня. На рисунке 51 представлена карта общего сейсмического районирования территории Российской Федерации, согласно которой в округе с. Тилички наблюдается вероятность появления 8-9 балльного землетрясения по шкале MSK – 64.

Таким образом, проектирование ВДЭС в с. Тилички требует детальной проработки адаптационных мер в связи с особенностями региона: суровыми климатическими условиями и сейсмической активностью.

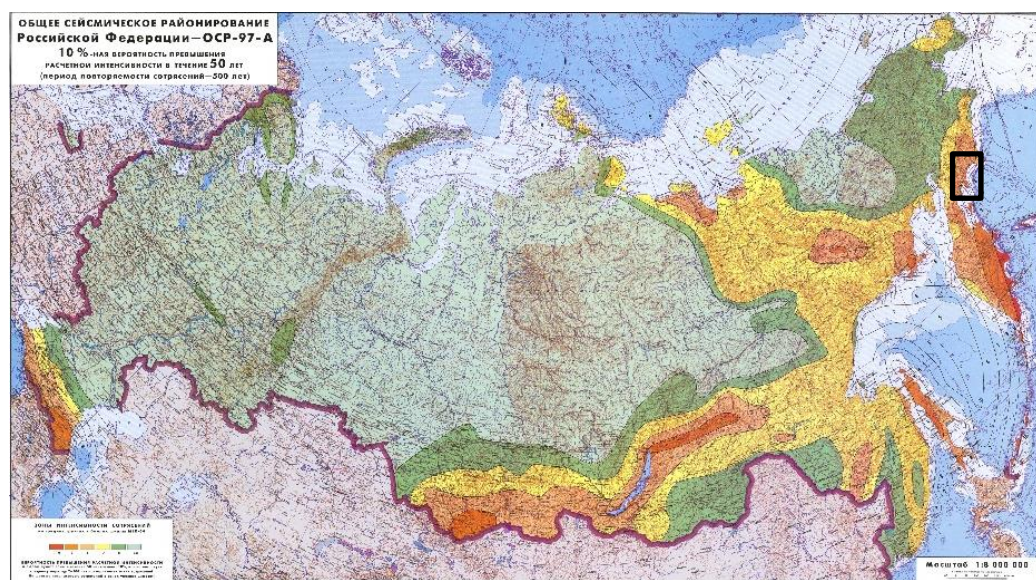


Рисунок 51 – Общее сейсмическое районирование РФ – ОСР-97-А. 10% вероятность превышения расчетной интенсивности в течение 50 лет (период повторяемости сотрясений – 500 лет)

### 5.5.2 Определение ВЭР

Одна из основных задач при проектировании ЭК ВДЭС и ВЭС, это определение достоверных ветроэнергетических ресурсов. Однако, одна из основных проблем при определении ВЭР и достоверных климатических данных является низкая плотность метеостанций в РФ, 454 реперных гидрометеостанции (ГМС) , что в среднем соответствует тому, что 1 реперная ГМС приходится на



37661 км<sup>2</sup> территории, а для районов Крайнего Севера и Дальнего Востока территория охвата еще больше. Поэтому точность и достоверность оценок ВЭР весьма низкая (рисунок 52). Определение ВЭР подразумевает систематизированный свод сведений, характеризующий ветровые условия местности, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений и дающий возможность количественной оценки энергии ветра и расчета ожидаемой выработки ветроэнергетическими установками.

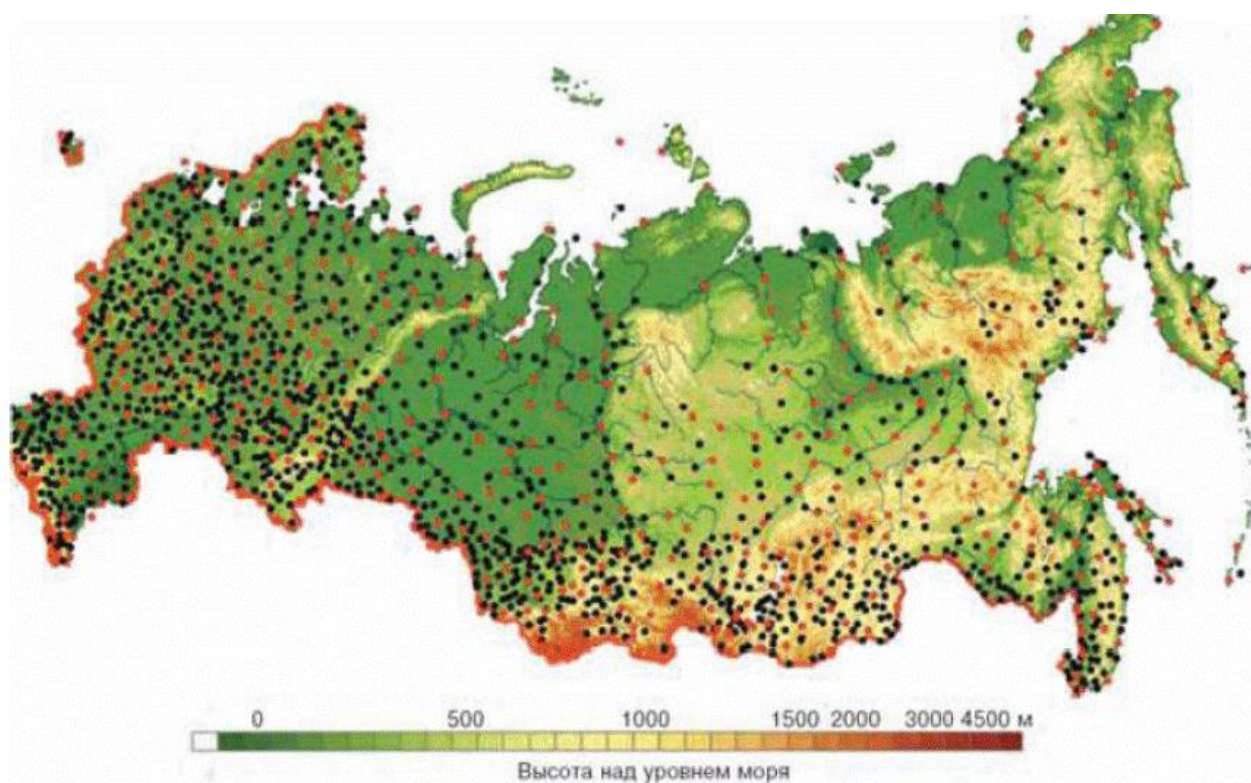


Рисунок 52 – Плотность метеостанций

В связи с отсутствием натуральных наблюдений, недостатком климатических данных, в работе использована трехуровневая методика, описанная в пункте 3.1. Проведен анализ метеорологических данных на основе справочных данных гидрометеорологической сети и атласов ветров со средними значениями скорости и направления ветра, а также мощности ветрового потока для крупномасштабной оценки ВЭР. Используются три источника для крупномасштабной оценки: годовой климатический отчет Камчатского края



[33]; геоинформационная система, разработанная в РФ «ГИС ВИЭ» [25]; ГИС «GWA» (Global Wind Atlas) [40], которая использует процесс уменьшения масштаба, аналогично разработанной методике в НОЦ «ВИЭ»-трехуровневой методике оценки ветроэнергетических ресурсов при недостаточной климатической информации.

Согласно анализу [33], для составления которого использовались данные с метеорологических станций Российской Федерации и данные архивов Госфонда, а также оперативного потока, собираемые с каналов связи ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», в 2018 году территория Камчатского края имеет одни из максимальных показателей по скорости ветра, особенно вблизи с. Тиличики (до 20 м/с), а также по количеству дней со скоростью ветра более 15 м/с (15-20 дней) (рисунок 53).

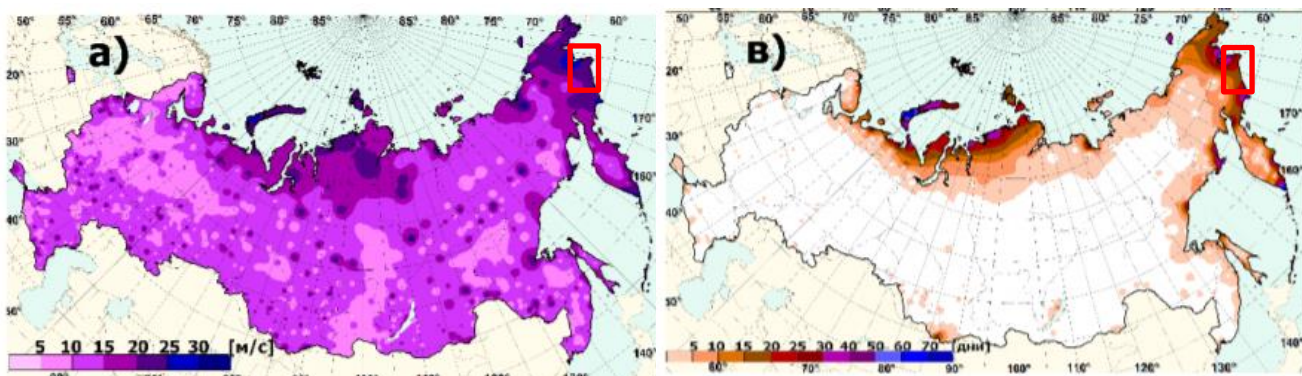


Рисунок 53 – а) Максимальная скорость ветра за 2018 год (без учета порывов); в) Число дней со скоростью ветра более или равной 15 м/с в 2018 году [33]

По данным из [25], представленным на рисунке 54 определено, что среднегодовая скорость ветра на высоте 30м в районе с. Тиличики составляет 3,6 – 4,2 м/с, на высоте 50 м – 4,2 – 5,2 м/с. Согласно этим данным, полуостров Камчатка обладает одними из наибольших показателей среднегодовой скорости ветрового потока. Для округа с. Тиличики повторяемость скорости ветра 6-10 м/с на высоте 50 м составляет 10-30%, 0-2 м/с -10-20%, 10-14 м/с – до 12%, 14-18 м/с – до 5%. Плотность энергии ветрового потока на высоте 30 м составляет 80-220 Вт/м<sup>2</sup>, на высоте 50 м – 150-300 Вт/м<sup>2</sup>.

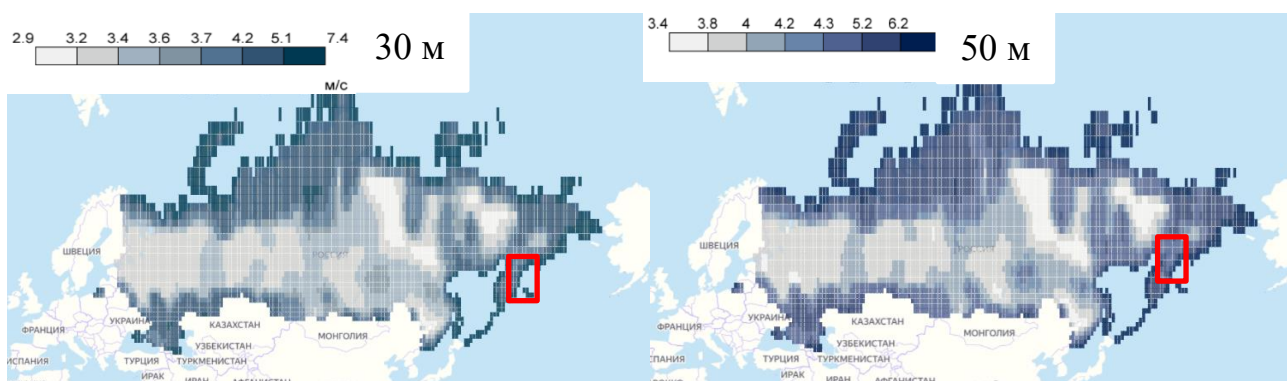


Рисунок 54 – Среднегодовая скорость ветра на высоте 30 м и 50 м

Анализ ветровых характеристик с помощью «GWA» дал более детализированные данные о скорости ветрового потока в округе с. Тилички, представленные на рисунке 55 на высоте 30 м, 50 м и 100 м. В связи с этим данный анализ относится не только к первому уровню трех-уровневой методики, но и ко второму. На высоте 10 м в округе с. Тилички в радиусе около 20 км отмечена зона с наибольшими показателями скорости ветрового потока, представлены на рисунке 55. Максимальная скорость ветра в данной зоне составляет порядка 9-10 м/с в зависимости от высоты. Максимальная плотность энергии ветрового потока в выбранной зоне составляет 1000-1300 Вт/м<sup>2</sup>, зависит от высоты.

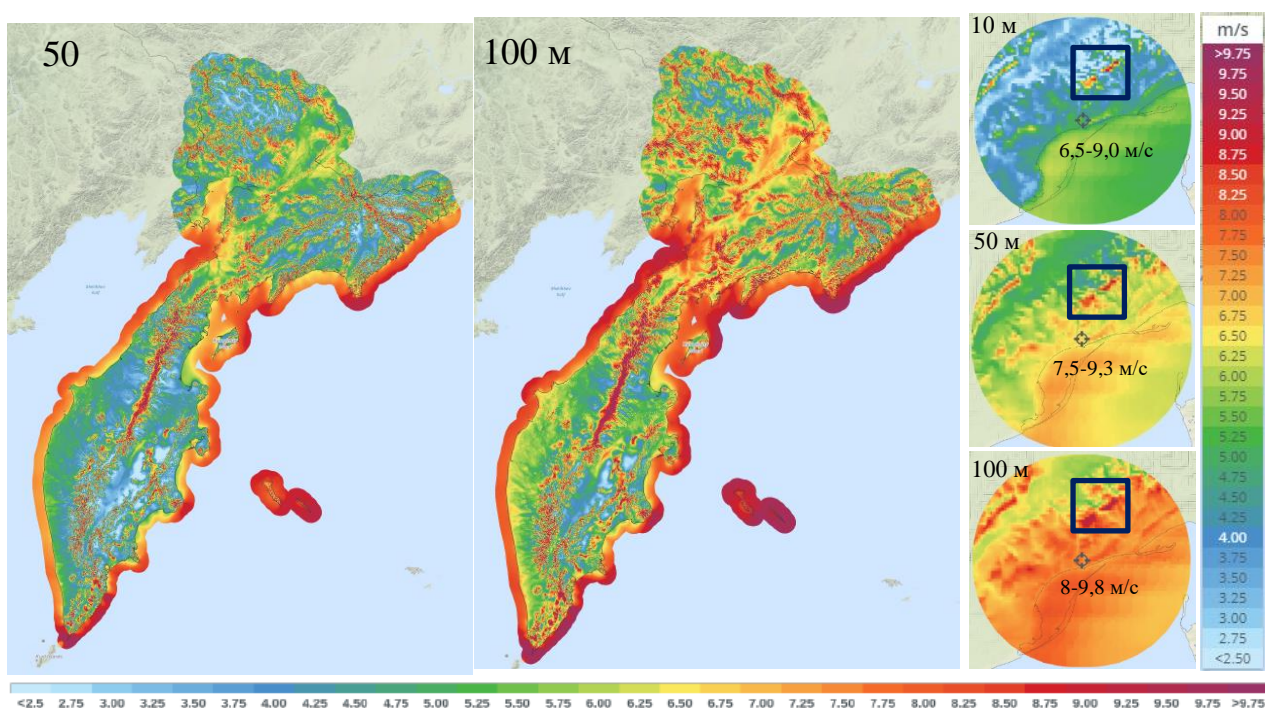


Рисунок 55 – Скорость ветрового потока по данным «GWA»

На третьем уровне трех-уровневой методики произведено моделирование и определение ВЭР в предполагаемом месте размещения ВЭС для ЭК ВДЭС с использованием программного комплекса WindPRO в НОЦ «ВИЭ». Использование данного программного комплекса позволяет достаточно точно и достоверно определять ветроэнергетические ресурсы, оптимизировать компоновочные решения ВЭС, их технические, энергетические и технико-экономические показатели, в том числе в условиях недостаточной природно-климатической информации.

При расчете природного и технического ветроэнергетического потенциала данный программный продукт позволяет учесть рельеф местности, шероховатость подстилающей поверхности, отдельные препятствия и др особенности. Последовательность расчета ВЭР в WindPRO представлена на рисунке 56 .

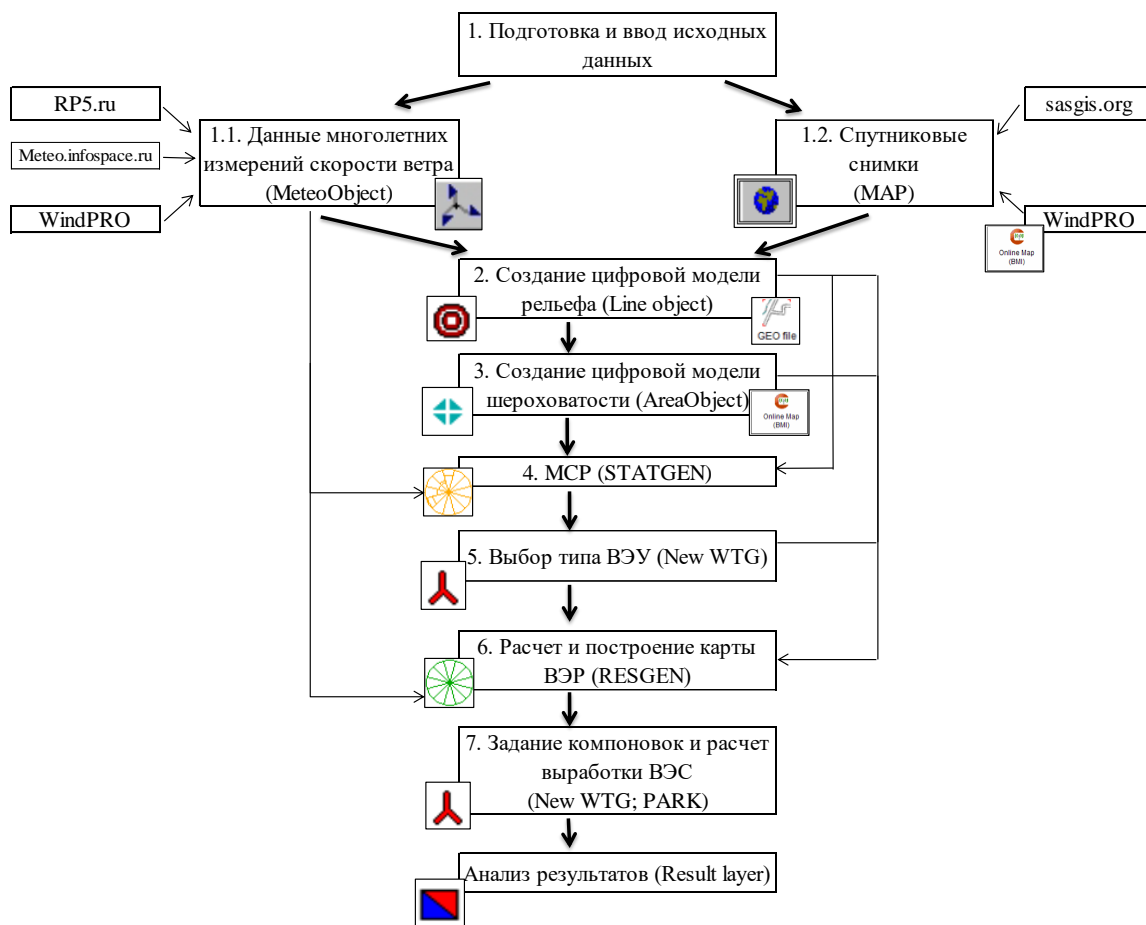


Рисунок 56 – Последовательность использования программного продукта WindPRO для проведения ветроэнергетических расчетов.



Данные о скорости ветра, направлении и температуре воздуха получены из архива [36] за период 01.08.2012 – 06.05.2020 и обработаны в WindPRO (рисунок 57). Согласно этим данным, максимальная скорость ветра за указанный период была 57 м/с в северном направлении, минимальная температура воздуха составила – 31°С, средняя скорость ветра была 4,5 м/с, средняя температура воздуха равна – 1,8 °С.

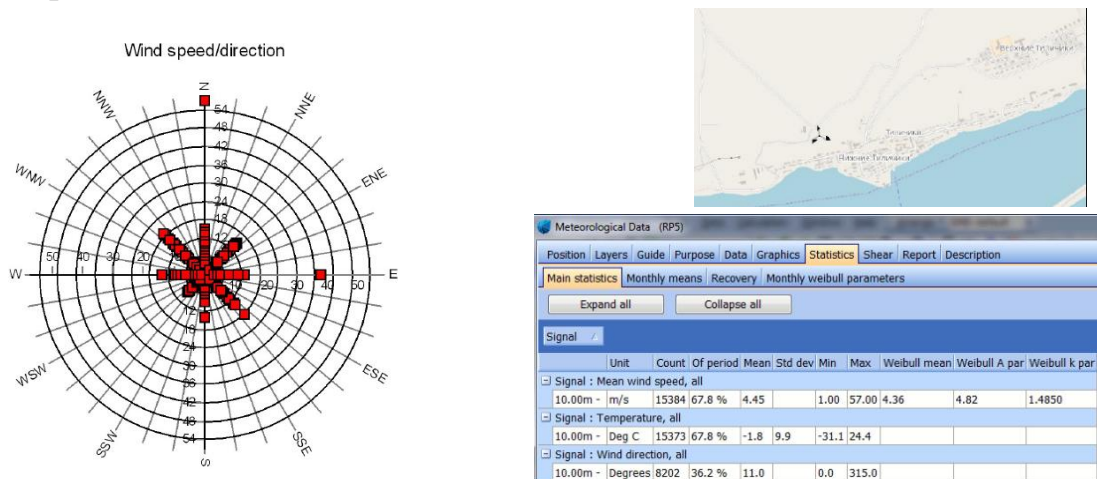


Рисунок 57 – Статистика данных о скорости ветра, направлении и температуре, обработанная в WindPRO. Расположение метеостанции

По полученным данным построены розы ветров для каждого месяца для определения наиболее частого направления ветрового потока (рисунок 58). Преимущественное направление ветрового потока – северное, за исключением июня, преобладает южное направление ветра. Преобладают ветра со скоростью 5-10 м/с, в мае и июне наиболее слабый ветровой поток, преимущественно менее 5 м/с.

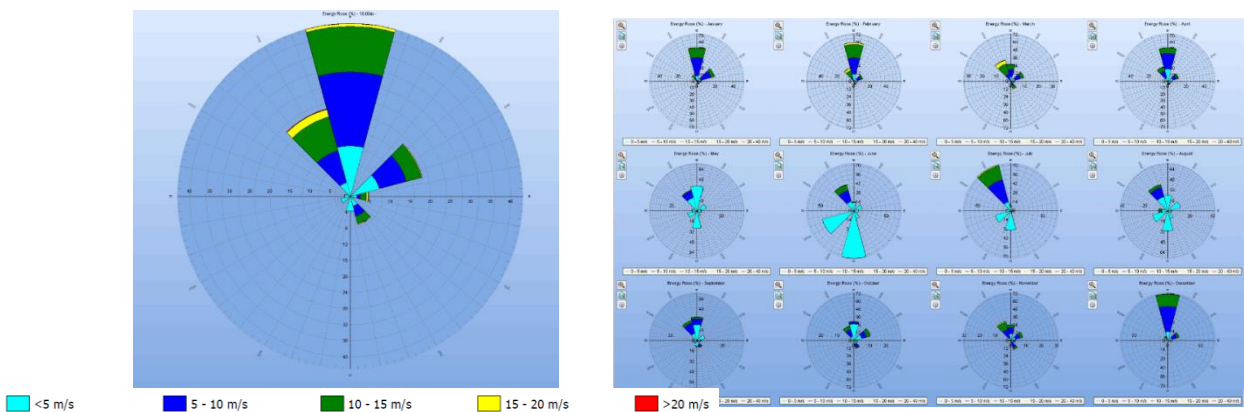


Рисунок 58 – Роза ветров данных метеостанции, осредненная и осредненные за каждый месяц наблюдений

Проведена статистическая взаимосвязь данных из архива [36] с базами данных реанализа MERRA-2 и CFSR-E для увеличения периода наблюдений. Для дальнейших расчетов выбран ряд данных MERRA-2, значение корреляции примерно равные у двух баз реанализа, однако у MERRA-2 больше показаний, база CFSR-E не имеет данных за последние два года, последнее данное 01.02.2018 года, параметры представлены на рисунке 59.

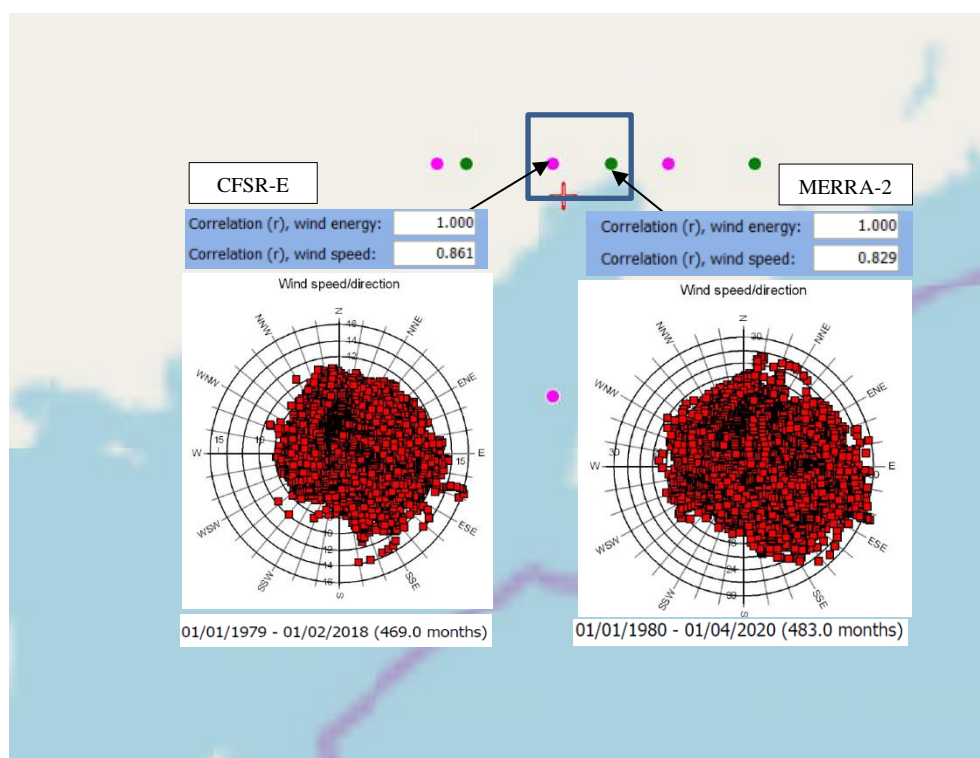


Рисунок 59– Корреляция ветровых характеристик с базами MERRA-2 и CFSR-E

Для определения ВЭР созданы слои цифровой модели шероховатости подстилающей поверхности и рельефа (орография). Шероховатость поверхности необходима для определения зависимости изменения скорости ветра от высоты (рисунок 60).

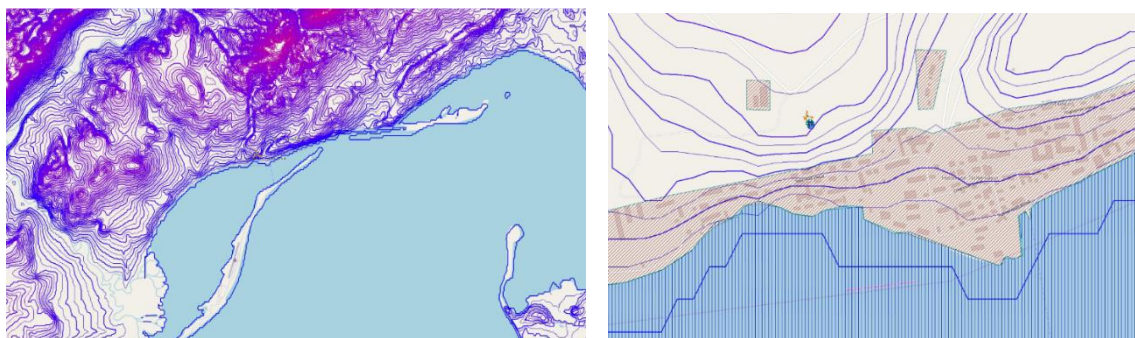


Рисунок 60 – Слой модели шероховатости подстилающей поверхности и рельефа

Созданы карты ВЭР на территории примерно 14 км на 16 км на высоте 30 м, 50 м, и 100 м на которых отражены скорость ветрового потока в рассматриваемой зоне в районе с. Тилички, плотность энергии ветрового потока, удельная энергия ветрового потока. Данные представлены в таблице 9, на рисунке 61 представлена скорость ветра на различных высотах.

Таблица 9– Рассчитанные данные ВЭР

Высота	Осредненная скорость ветрового потока		Осредненная плотность энергии ветрового потока		Осредненная удельная энергия ветрового потока	
	Минимальная	Максимальная	Минимальная	Максимальная	Минимальная	Максимальная
30 м	м/с	м/с	Вт/м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	кВтч/м <sup>2</sup> в год	кВтч/м <sup>2</sup> в год
30	3,4	Более 11,0	53	Более 2000	470	Более 16000
50	4,5		127		1114	
100	6,1		277		2430	

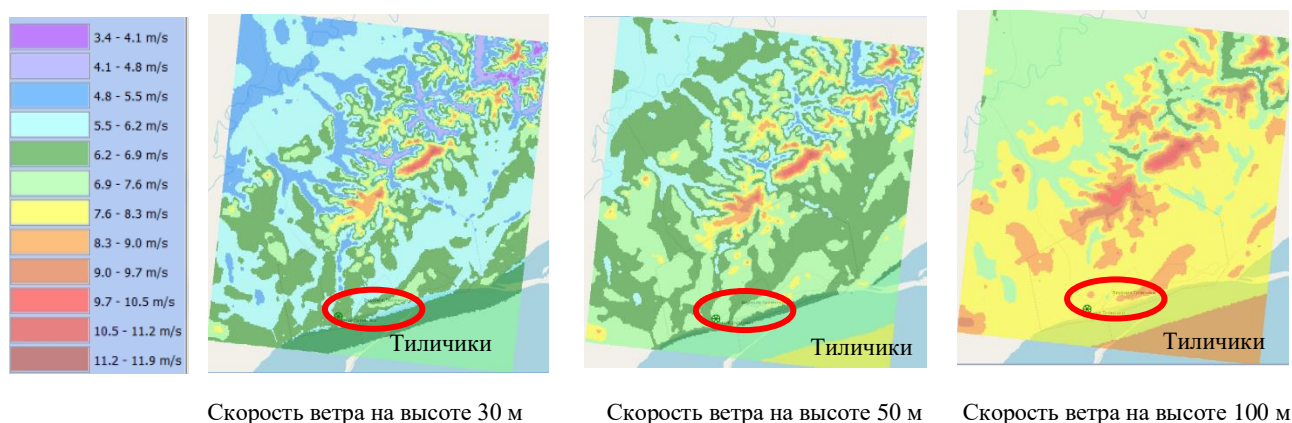


Рисунок 61 – Карта скорости ветра на высоте 30 м, 50 м, 100 м

Рассчитанные в WindPRO ветроэнергетические ресурсы имеют схожий характер с данными «GWA», выделены одинаковые площадки с максимальной скоростью ветрового потока, что свидетельствует о достоверности данных, однако «GWA» предоставляет менее детальную характеристику региона.

### 5.5.3 Определение зоны строительства ВЭС

Основной фактор выбора площадки строительства ВЭС– экономический, который отражает ВЭР, транспортную доступность, климатические особенности

и тд. Критерий в существенной степени отличающийся по своим характеристикам в рассмотренной территории – ВЭР. Площадки, имеющие на высоте 50 м среднегодовые скорости ветра не менее 6 м/с, могут рассматриваться как перспективные для размещения ВЭУ любого назначения в широком диапазоне мощностей. В работе рассмотрен участок размером 13,6 км на 16,2 км, на данном участке выделено 4 зоны с максимальными расчетными показателями ВЭР на высоте 30 м (рисунок 63). Характеристика выделенных участков представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Характеристика зон строительства

№ зоны	Осредненная скорость ветрового потока			Осредненная плотность энергии ветрового потока			Осредненная удельная энергия ветрового потока		
	30 м	50 м	100 м	30 м	50 м	100 м	30 м	50 м	100 м
	м/с	м/с	м/с	Вт/м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	Вт/м <sup>2</sup>	кВтч/ м <sup>2</sup> в год	кВтч/ м <sup>2</sup> в год	кВтч/ м <sup>2</sup> в год
<b>1</b>	4,8-8,3	5,5-8,3	5,5-10,5	127-470	242-880	242-950	470-3679	786-5876	1114-8651
<b>2</b>	4,8-10,5	5,5-10,5	6,9- более 11	191-1293	242-1248	462-1292	2334-13514	2672-13574	3679-13670
<b>3</b>	4,1-более 11	4,8-более 11	6,2-более 11	53-2000	242-более 2000	462-более 2000	470-более 20000	2672-более 20000	3679-более 20000
<b>4</b>	4,1-9,7	4,8-9,7	6,2-10,5	53-880	127-932	370-1200	470-11658	1114-12016	2430-12421
<b>5</b>	3,4-9,7	4,1-9,7	6,2-10,5	53-1017	127-1048	370-1292	470-13518	1114-13574	2430-13670

Таким образом, для проектирования ВЭС определены 3 участка с наилучшими показателями (№1, №2, №3), окончательный выбор площадки определяется технико-экономическим обоснованием. Данные площадки достаточно удалены от населенного пункта, что обеспечивает снижение уровня шума создаваемого работающей ВЭУ, не более 45 Дб. Так же данные площадки, за счет того, что находятся не вдоль побережья, не препятствуют миграции перелетных птиц (рисунок 62).

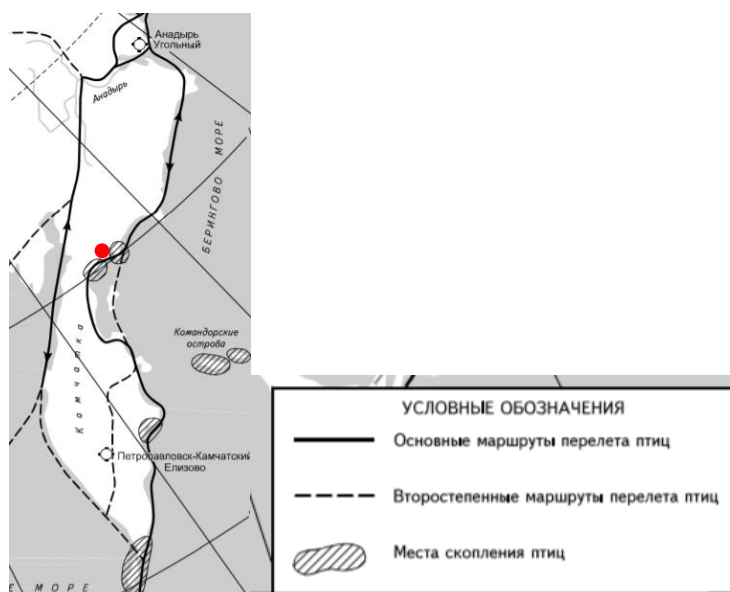


Рисунок 62– Миграция перелетных птиц на территории Камчатского края

Для окончательного выбора зоны строительства проведен расчет ВЭС с ВЭУ Ghtrepower FD25-100 арктического исполнения (выбор ВЭУ представлен в п. 5.6), по данному расчету определена окончательна зона строительства, зона №3 (рисунок 64). Критериями расчета было необходимое количество ВЭУ для замещения 50% выработки электроэнергии от ДЭС для замещения ДТ и расстояние от населенного пункта до ветропарка. Параметры ВЭС представлены в таблице 11.



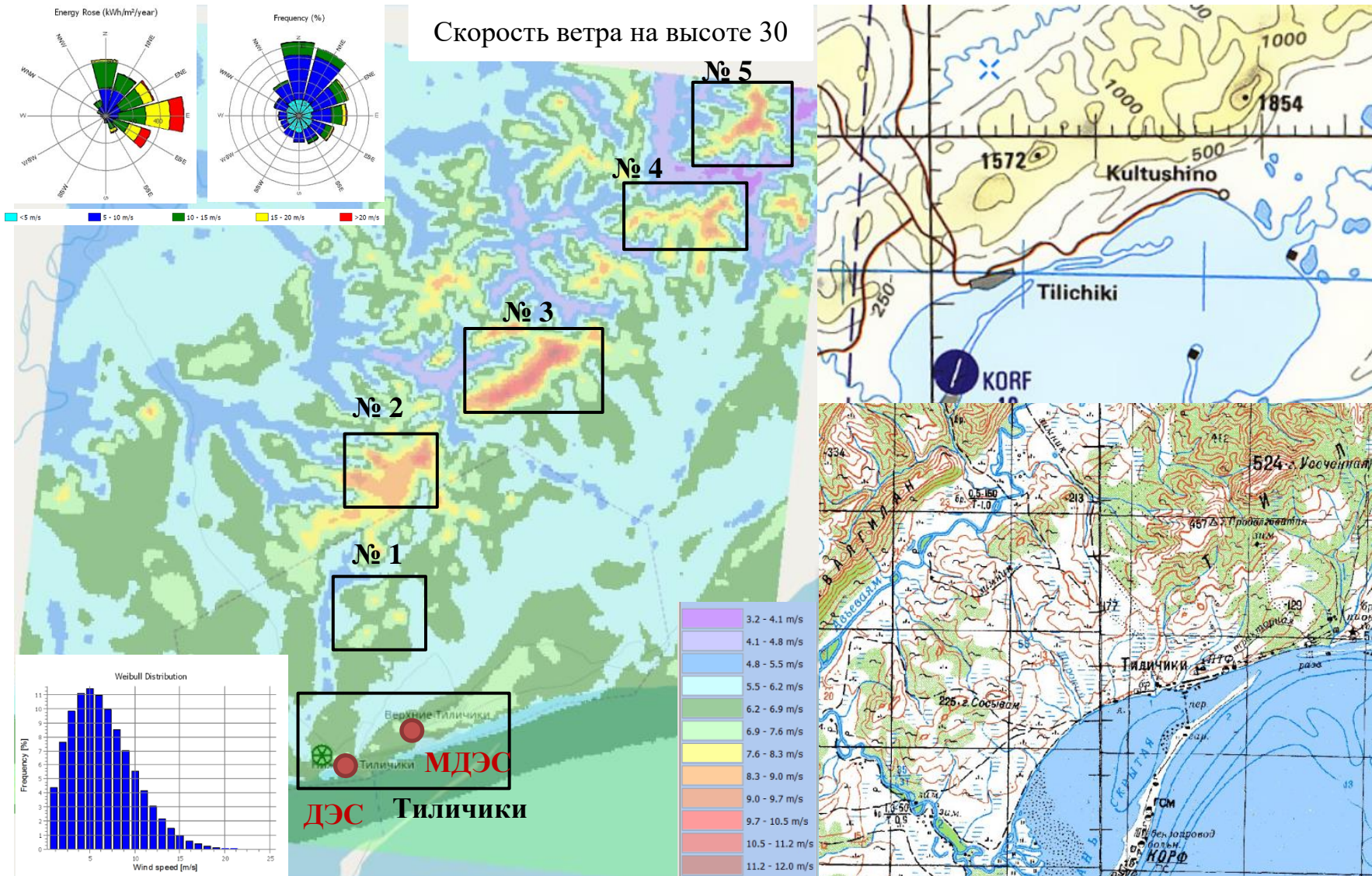


Рисунок 63 – Зоны для строительства ВЭС

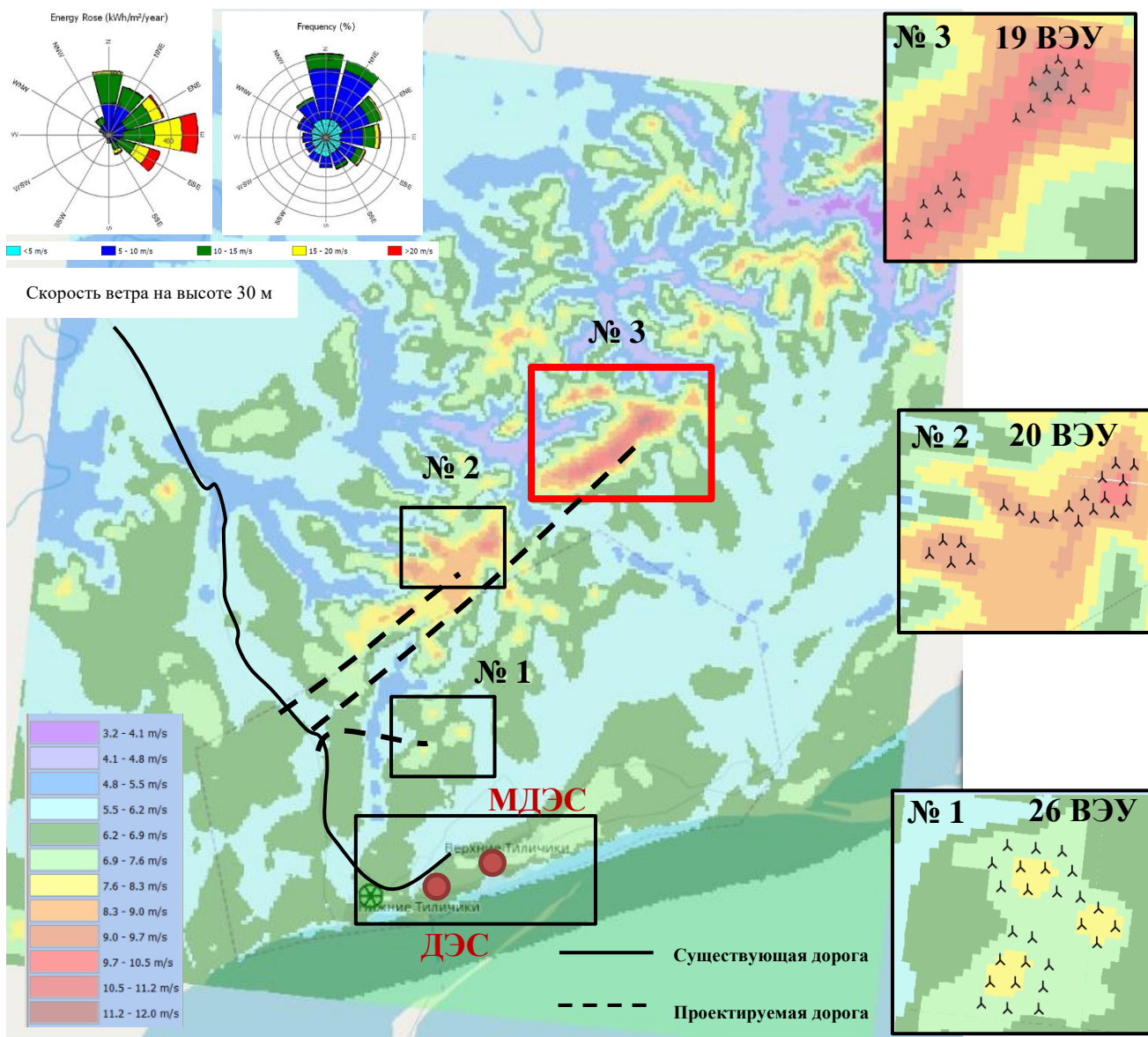


Рисунок 64 – Размещение ВЭС на площадках при 50% замещении выработки ДЭС

Таблица 11 – Параметры ВЭС в рассматриваемых зонах строительства

Параметр	Зона №1	Зона №2	Зона №3
<b>Количество ВЭУ для замещения 50% выработки ДЭС, шт</b>	26	20	19
<b>Мощность ВЭС, кВт</b>	3120	2400	2280
<b>Средняя скорость ветра на высоте ВК, м/с</b>	7,4	9,3	10,8
<b>Длина проектируемой дороги до ВЭС, км</b>	2,0	3,3	6,0
<b>Осредненная выработка одной ВЭУ, МВтч в год</b>	436	569	605



На графиках рисунка 65 представлена зависимость КИУМ от количества ВЭУ в каждой из рассматриваемых площадок, а также уровень расхода топлива.

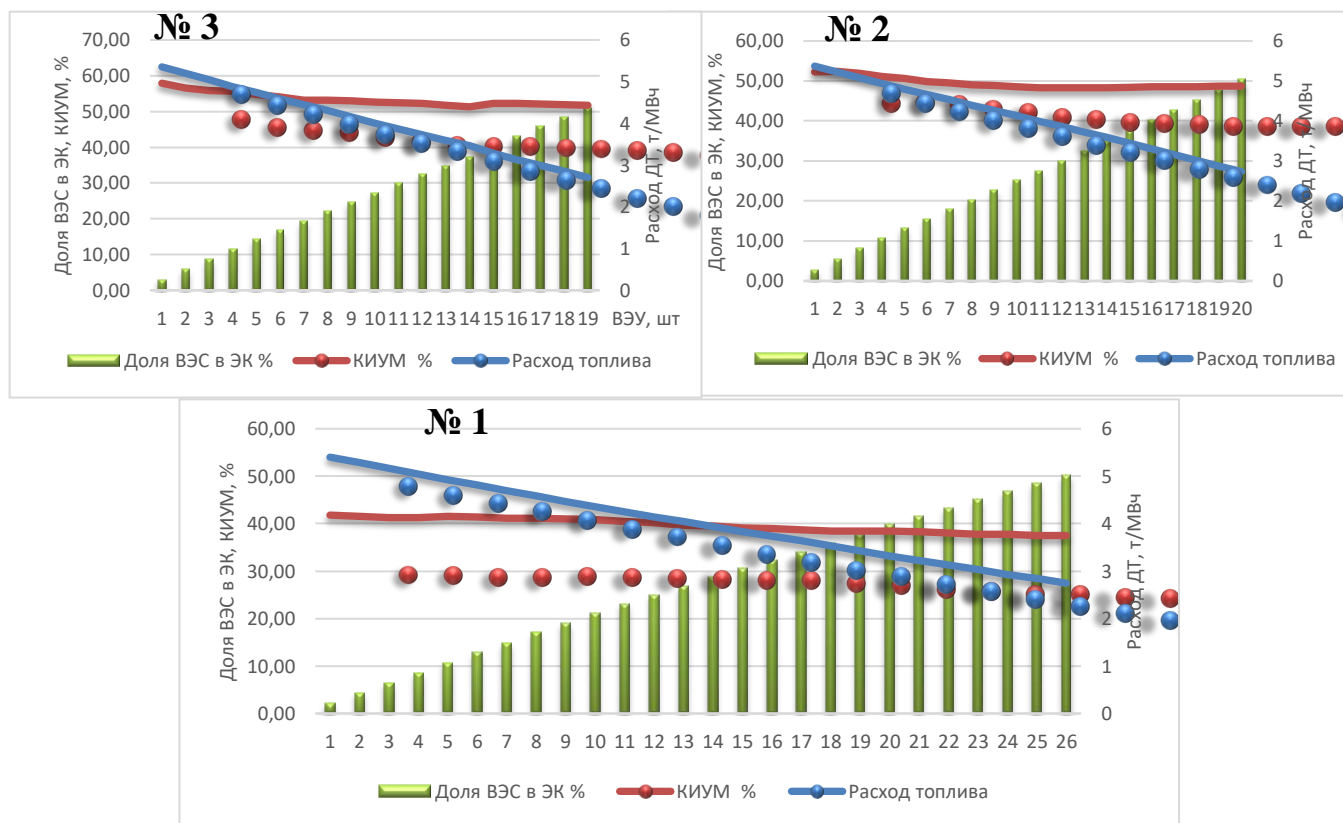


Рисунок 65 – Зависимость КИУМ и расхода ДТ на ДЭС от количества ВЭУ

## 5.6 Определение ВЭУ для ВДЭС с. Тилички

### 5.6.1 Параметры ВЭУ

ВЭУ, работающие совместно с дизель-электрическими агрегатами и электроисточниками других типов, а также входящие в состав ветроэлектрических станций, работающих на стационарную электрическую сеть, должны иметь следующий минимальный объем дополнительной автоматизации:

- автоматическое включение на параллельную работу при достижении минимальной рабочей скорости ветра при соблюдении ограничений по току включения; автоматическое отключение и останов ВЭУ при снижении скорости ветра ниже минимальной, выходе из строя токосъемного устройства или при предельно допустимом закручивании кабеля;

- возможность дистанционного управления ВЭУ мощностью выше 30 кВт;
- автоматическое отключение и останов ВЭУ при скорости ветра выше максимальной рабочей скорости, а также при возникновении недопустимо высокого уровня вибраций основных частей ветроагрегата;
- автоматическое отключение и останов ВЭУ при температурах, не соответствующих рабочему диапазону температур;
- автоматический пуск в работу (страгивание и разгон до синхронной частоты вращения).

Проведен анализ рынка модульных ВДЭС с ВЭУ 50-100 кВт в северных регионах РФ, согласно которому потенциальный рынок может составить от 9000 до 18500 модулей (таблица 12), данный анализ проведен для районов со средней скоростью ветра более 4,5 м/с на высоте 10 м и стоимостью электроэнергии более 15-20 руб/кВтч.

Таблица 12 – Модульные ВДЭС с ВЭУ 50-100 кВт

<b>Регион</b>	<b>Количество модулей с ВЭУ 50-100 кВт, шт</b>
<b>Республика Саха</b>	531-926
<b>Архангельская область</b>	71-147
<b>Ханты-Мансийский автономный округ</b>	13-27
<b>Ненецкий автономный округ</b>	168-442
<b>Мурманская область</b>	13-27
<b>Камчатский край</b>	542-1090
<b>Ямало-Ненецкий автономный округ</b>	672-1350
<b>Чукотский автономный округ</b>	171-421
<b>Магаданская область</b>	37-159

В проекте принята ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения, характеристика представлена в таблице 13. Чертеж ВЭУ представлен в приложении А.

Таблица 13 – Характеристика ВЭУ

Характеристика	ед. из-ния	Ghrepower FD25-100
Класс ВЭУ		IEC S
Мощность	кВт	120
Высота башни	м	24/30/42
Диаметр ВК	м	25
Количество лопастей	шт	3
Диапазон рабочих скоростей ветра	м/с	3-25
Номинальная скорость ветра	м/с	10
Буревая скорость	м/с	52,5
Рабочие температуры	°С	-30 ~ +50
Уровень шума	Дб	менее 60
Номинальная частота вращения	об/мин	48
Генератор		Трехфазный
Редуктор		Безредукторный, прямого привода
Номинальное напряжение		400 В, переменный ток, 50Гц/60Гц
Класс изоляции		F
Антикоррозийная защита		Горячее цинкование, пластиковый спрей
Молниезащита		есть
Вес башни	кг	14000
Вес гондолы	кг	9500

Рабочая характеристика ВЭУ представлена на рисунке 66.

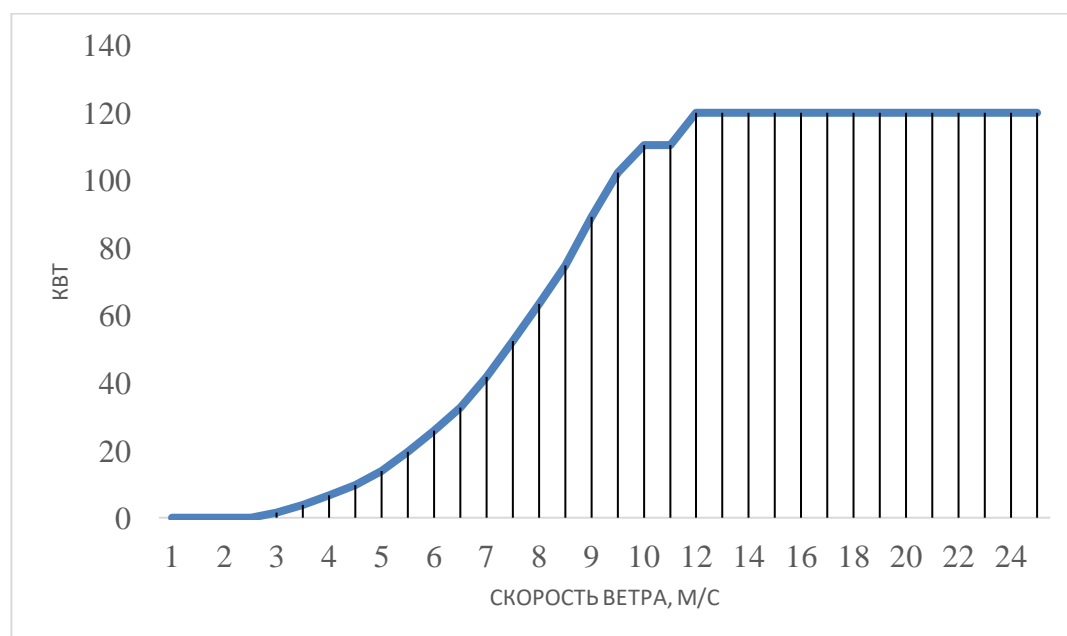


Рисунок 66 – Рабочая характеристика ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения

Опыт использования ВЭУ марки Ghrpower в РФ в изолированной системе энергоснабжения со сложными климатическими условиями: ВЭУ Ghrpower 50 Arctic (4 установки по 50 кВт каждая) установлена и успешно функционирует в п. Амдерма НАО, где средняя скорость ветра на высоте башни 7,4 м/с, средняя выработка ВЭС с учетом потерь составляет 677,2 МВтч в год, КИУМ составляет 38,6%.

### ***5.6.2 Компоновка ВДЭС и генеральный план объекта***

В проекте принято 10 ВЭУ Ghrpower FD25-100 арктического исполнения, расположенных в 7,5 км от п. Тиличики в зоне с наибольшими ветроэнергетическими параметрами. Ситуационный план представлен на рисунке 67. Расстояние между ВЭУ принято 100 м, диаметр ветроколеса составляет 25 м. ВЭУ расположены в шахматном порядке. Генеральный план ВЭС представлен в приложении Б. Электрическая схема представлена в приложении В.

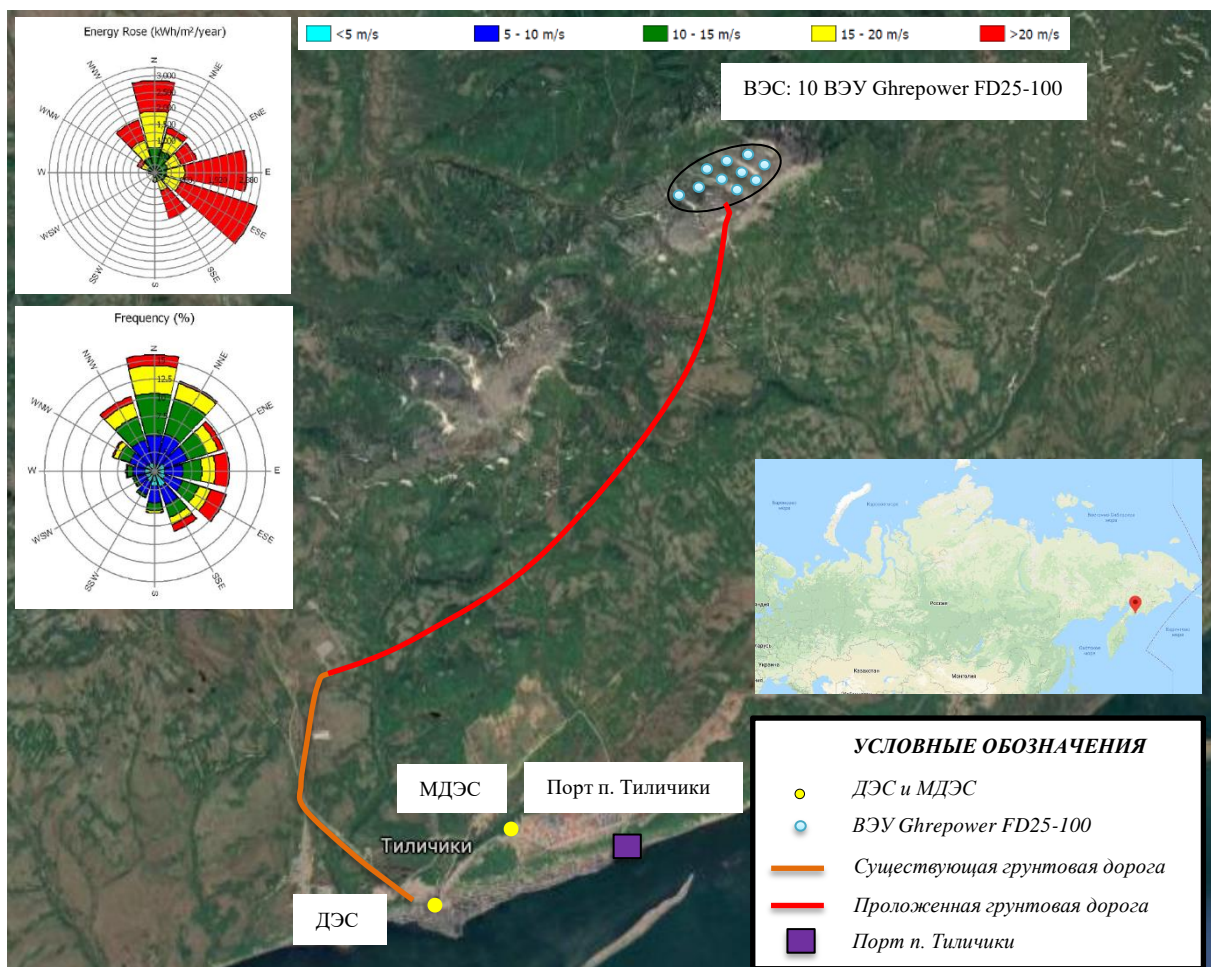


Рисунок 67– Ситуационный план ВДЭС п. Тиличики

## 5.7 Фундамент ВЭУ

В проекте принят модульный фундамент, разработанный в НОЦ «ВИЭ» СПбПУ Петра Великого и получивший патент РФ [14-16], данный фундамент отвечает требованиям, связанными со спецификой эксплуатации фундаментов в северных условиях:

- возведение и эксплуатация фундамента в условиях вечной мерзлоты не должна приводить к её оттаиванию;
- конструкция фундамента должна обеспечивать устойчивость и надёжность конструкции ВЭУ в условиях вечной мерзлоты;
- конструкция фундамента должна быть построена по модульному (секционному) принципу для удобства доставки и монтажа;

- модули фундамента должны иметь минимально возможную массу при сохранении несущей способности;
- основной вес фундамента должен набираться за счёт местных материалов в виде обратной засыпки.

Модульный фундамент предназначен для упрощения сборки и монтажа из готовых элементов фундамента мелкого заложения для ВЭУ, создаваемых в условиях дефицита транспортной инфраструктуры, строительной индустрии и квалифицированных кадров и эксплуатируемых в суровых климатических условиях, за счет того, что фундамент состоит из смежных модулей, размещенных вокруг центрального опорного модуля, и отличается тем, что указанные смежные модули, радиально установленные на основании, выполнены в виде тонкостенных железобетонных коробов в форме трапециевидных призм, которые по смежным граням соединены анкерными болтовыми связями друг с другом, а по торцевым граням – с внешними гранями центрального опорного модуля, выполненного в виде многогранной железобетонной полой призмы, на торце которого закреплена башня ветроэлектрической установки, причем для обеспечения жесткости и надежности все смежные и торцевые грани и болтовые соединения замоноличены, а полости коробов заполнены обратной засыпкой. Конструкция монтируется на месте установки ВЭУ на подготовленное основание из готовых модульных элементов, рассчитанных по своим массогабаритным параметрам к нагрузкам и адаптированных к условиям слабо развитой транспортной инфраструктуры.

Модульный фундамент состоит из трех основных частей: боковые модули, центральный модуль и внутренний модуль. Фундамент состоит из полых внешних модулей, прикреплённых к центральному модулю. В центральный модуль помещается внутренний модуль, который служит для соединения башни с фундаментом и скрепления всех элементов фундамента посредством анкерных болтов и болтовыми соединений (рисунок 68). Для



утяжеления конструкции используется балластная нагрузка из местных материалов. Все детали конструкции изготавливаются в заводских условиях и монтируются на месте строительства.

Основные параметры модульного фундамента представлены в таблице 14.

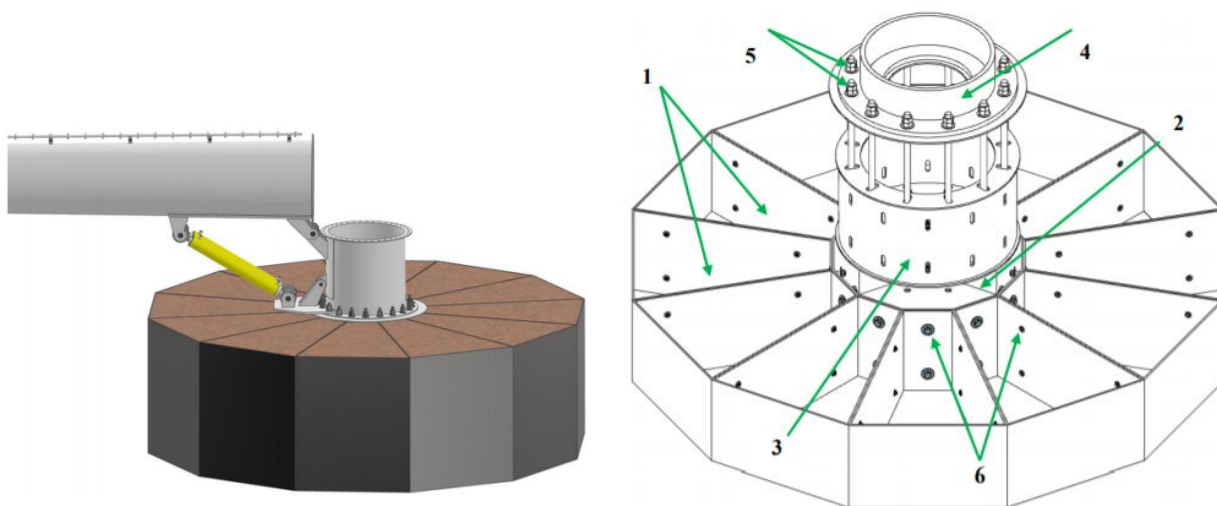


Рисунок 68 – Схема модульного фундамента ВЭУ для арктических условий, где: 1 – внешние модули, 2 – центральный модуль, 3 – внутренний модуль, 4 – опорный фланец башни ВЭУ, 5 – анкерные болты, 6 – болтовые соединения

Таблица 14 – Основные параметры модульного фундамента

Параметр	Величина	Описание
<b>Число модулей, шт</b>	10, 12, 14	Уменьшение количества приводит к увеличению геометрических размеров, что сокращает величину вмещаемых в контейнер модулей или совсем не позволяет осуществить транспортировку. Большее количество модулей требует увеличения числа контейнеров для перевозки и усложняет сборку, делает конструкцию менее прочной
<b>Толщина стенки, мм</b>	10-40	Уменьшение толщины стенки делает конструкцию непрочной и неустойчивой. Толщина стенки свыше 40 мм способствует значительному увеличению веса модуля и расхода материала, что затрудняет транспортировку, установку и сборку
<b>Высота фундамента, м</b>	1 – 2,3	Увеличение высоты фундамента не позволит размещать модули в контейнер для перевозки, а фундамент высотой до 1 м может оказаться неустойчивым и не выдержать действующих нагрузок
<b>Радиус описанной</b>	1,0 – 1,2	Параметр напрямую зависит от нижнего радиуса башни. Величина радиуса центрального модуля больше 1,2 м

<b>окружности центрального и внутреннего модуля, м</b>		исключает возможность его транспортировки. Величина радиуса самого фундамента должна быть не более чем на 2,33 м больше радиуса центрального модуля, чтобы не превышать размеры контейнера
--	--	--

Параметры модульного фундамента для условий Арктики рассчитаны для ВЭУ 100 кВт в НОЦ «ВИЭ» [14, 15], весовые характеристики представлены в таблице 15, число модулей – 12 шт., высота – 2,3 м, радиус описанной окружности опорного модуля – 1,15 м, радиус описанной окружности фундамента – 4,4 м, толщина стенки – 14 мм.

Таблица 15 – Весовые характеристики модульного фундамента для ВЭУ 100 кВт

№п/п	Название	Материал	Масса элемента, кг	шт.	Общая масса, кг
1	Боковой модуль	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	1 566	12	18 792
2	Опорное кольцо	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	1 703	1	1 703
3	Внутренний модуль	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	1 422	1	1 422
4	Болтовые соединения, 48мм	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	6,776	24	162
5	Болтовые соединения, 24мм	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	0,759	48	36
6	Анкера, 68мм	Сталь, 7,850 г/см <sup>3</sup>	53,023	12	636
7	Балластная нагрузка (модули)	Грунт, 1,500 г/см <sup>3</sup>	3 970	12	47 639
8	Балластная нагрузка (кольцо)	Грунт, 1,500 г/см <sup>3</sup>	4 355	1	4 355
Сумма			Балластная нагрузка		51 994
			Фундамент		22 751

Массогабаритные характеристики модулей фундамента позволяют размещать отдельные элементы в стандартный контейнер, параметры которого представлены в таблице 16. Варианты размещения модулей фундамента в контейнере представлены на рисунке 69.

Таблица 16 – Размеры стандартного контейнера

Характеристика	Контейнер 40' x 8' x 8'8»		
	Внешние размеры	Внутренние размеры	Дверной проём
Длина, м.	12,19	11,98	
Ширина, м.	2,44	2,33	2,28
Высота, м.	2,59	2,35	2,26
Тара, кг.	3 980		
Вес груза, кг.	26 500		
Объем, м <sup>3</sup>	65,5		

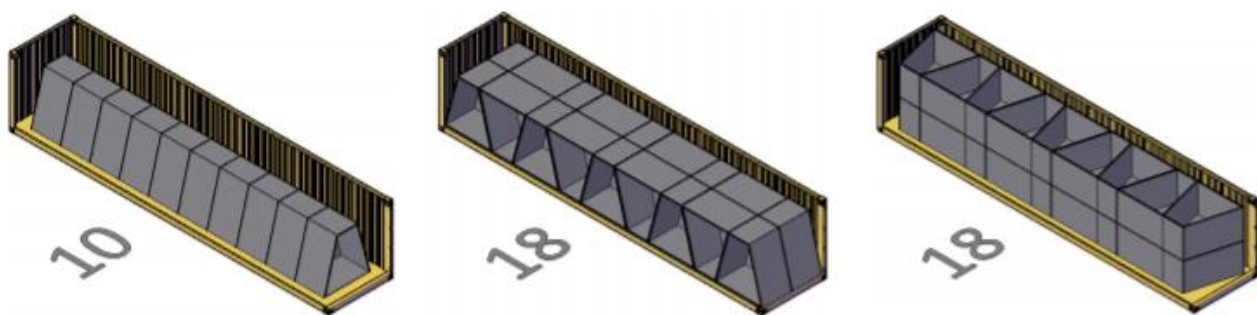


Рисунок 69 – Размещение модулей ВЭУ в контейнере

## 5.8 Вывод по пятой главе

В работе проведен анализ энергоснабжения Камчатского края, согласно данному анализу ТЭЦ центрального энергорайона составляют - 55,87% от суммарной мощности электростанций, ГеоЭС - 11,36 %, доля ДЭС и ГЭС составила 24,69 % и 7,23 % соответственно. Доля ВЭС составила 0,85 %, общая мощность генерирующих объектов по данным 2019 года – 651,5 МВт. Особенности энергоснабжения Камчатки являются: изолированность большей части территории, высокая себестоимость производства электроэнергии, сложность в эксплуатации объектов генерации в связи с особыми погодными условиями и сейсмоактивностью.

Представлена характеристика энергоснабжения п. Тилички, которое осуществляется от ДЭС и МДЭС (суммарная мощность 11 МВт), ДЭС включает в себя пять ДГ72 по 800 кВт, ДГ99 с мощностью 1000 кВт и Perkins4012TWG2 мощностью 1000 кВт, МДЭС состоит из пяти DA-C1250PHV, каждая мощностью по 1000 кВт. Представлена графики нагрузки (суточный, сезонный и годовой профили), на суточном графике представлены утренний и вечерний пики.

Изучена логистика и доставка оборудования в с. Тилички, она осуществляется авиатранспортом, морским транспортом и зимниками. Доставка крупных грузов осуществляется через Петропавловск-Камчатский морским путем.

Представлены природно-климатические особенности региона: абсолютный температурный минимум  $-44^{\circ}\text{C}$ ; суммарное количество дней со среднесуточной температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  не превышает в среднем 30 дней, а число безморозных дней 65-90, а число дней в году со снежным покровом от 160 до 240; преобладают вечномёрзлые грунты; наблюдается сейсмоактивность.

Рассчитаны ветроэнергетические ресурсы и выбрана зона строительства ВЭС. Средняя скорость ветрового потока на высоте ВК составляет 10,5-11 м/с.

В проекте принята ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения (10 установок), доля замещения ДТ составляет 27%, мощность ВЭС 1,2 МВт и годовая выработка 6165 МВтч в год. Представлены ситуационный план, генплан и электрическая схема.

## ГЛАВА 6. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЕКТА

### 6.1 Определение стоимостных показателей

Для экономического расчета принята структура капитальных затрат для определения экономически наиболее выгодного количества ВЭУ предоставленная в таблице 17. Удельная стоимость создания ВДЭС с высокой долей замещения составляет 5000\$/кВт (капитальные затраты по объекту ВДЭС рассчитаны исходя из стоимости 1\$ равного 75 рублей), наибольшая часть составляет ВЭУ с учетом доставки, контейнеры с системой сопряжения и АКБ (для вариантов ВДЭС с высокой долей замещения) и модульный фундамент.

Таблица 17 – Структура капитальных затрат

Параметр	Доля, %	Значение, \$/кВт
ВЭУ	52%	2600
Модульный фундамент	9%	450
Контейнеры с системой сопряжения и АКБ	16%	800
Система автоматического управления (САУ)	5%	250
Строительно-монтажные работы (СМР)	4%	200
Пуско-наладочные работы (ПНР)	2%	100
Логистика	7%	350
Проектно-изыскательные работы (ПИР)	5%	250

Стоимость дизельного топлива ежегодно увеличивается. Цена топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов осредненная за год представлена на рисунке 70.

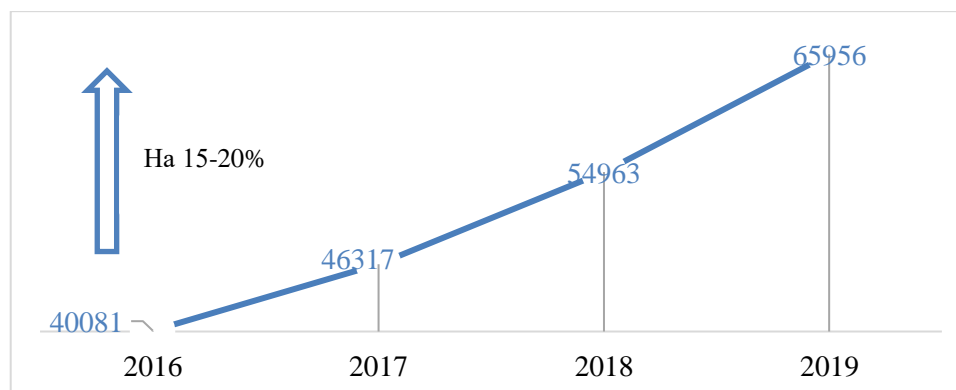


Рисунок 70 – Цена топлива с учетом транспортно-заготовительных расходов за 1 т без НДС, руб., средняя за год в п. Тилички

Для определения необходимого количества ВЭУ в составе ВДЭС, проведен расчет ветропарков с различным количеством ВЭУ (1-19 установок, максимальная доля ВЭС в ЭК ВДЭС 51%) в WindPRO, в результате данного расчета определена выработка для каждого варианта и КИУМ с учетом ветроэнергетических характеристик в выбранной зоне строительства. Данные расчета представлены на рисунке 71.

Согласно рассчитанным данным зависимость мощности и выработки от количества ВЭУ имеет линейный характер. КИУМ изменяется от 58% до 52% в зависимости от увеличения количества установок. Доля ВЭС в ЭК при различном количестве ВЭУ имеет различный характер: с низким уровнем замещения ДТ (1-7 ВЭУ), средним уровнем замещения ДТ (8-18 ВЭУ) и высоким уровнем замещения ДТ (19 ВЭУ и более).

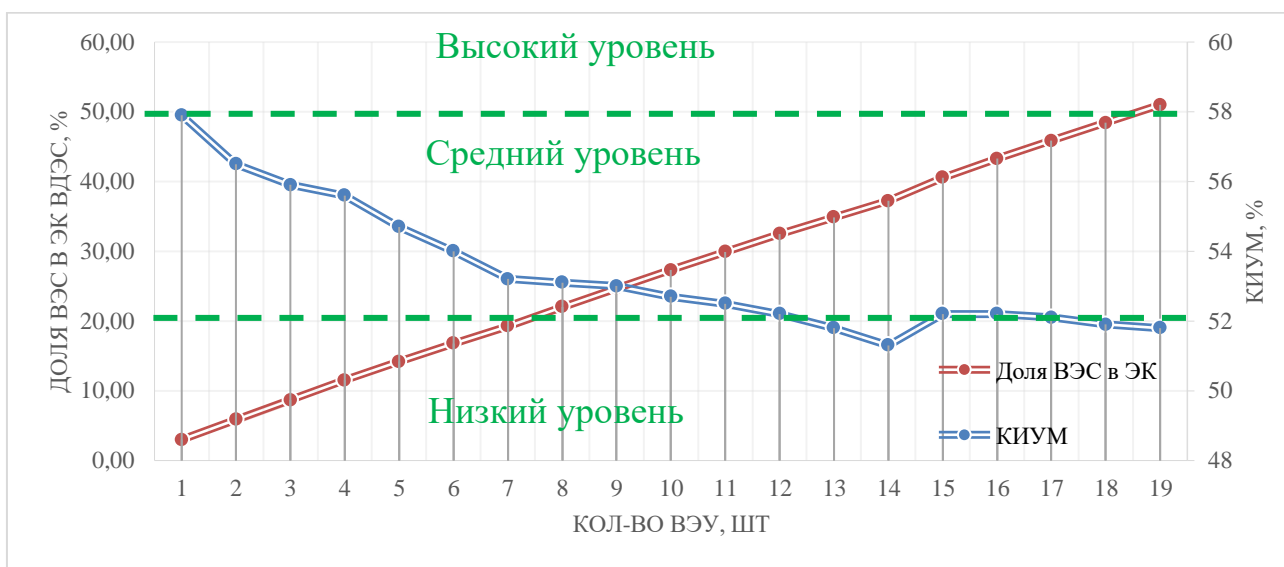


Рисунок 71 – Зависимость КИУМ и доли участия ВЭС в выработке ЭК ВДЭС от количества ВЭУ

Удельные фактические расходы на производство 1 кВтч электрической энергии на ДЭС увеличились с 22,52 руб./кВт·ч до 39,37 руб./кВт·ч (2016-2018 гг), на МДЭС – с 15,86 руб./кВт·ч до 23,84 руб./кВт·ч (2017-2018 гг).

В связи с долгосрочным расчетом в проекте учтена инфляция — устойчивое повышение общего уровня цен на товары и услуги в экономике.

Среднегодовые величины инфляции по годам представлены на рисунке 72. Данные получены из прогноза долгосрочного социально-экономического развития РФ, разработанного Минэкономразвития России.

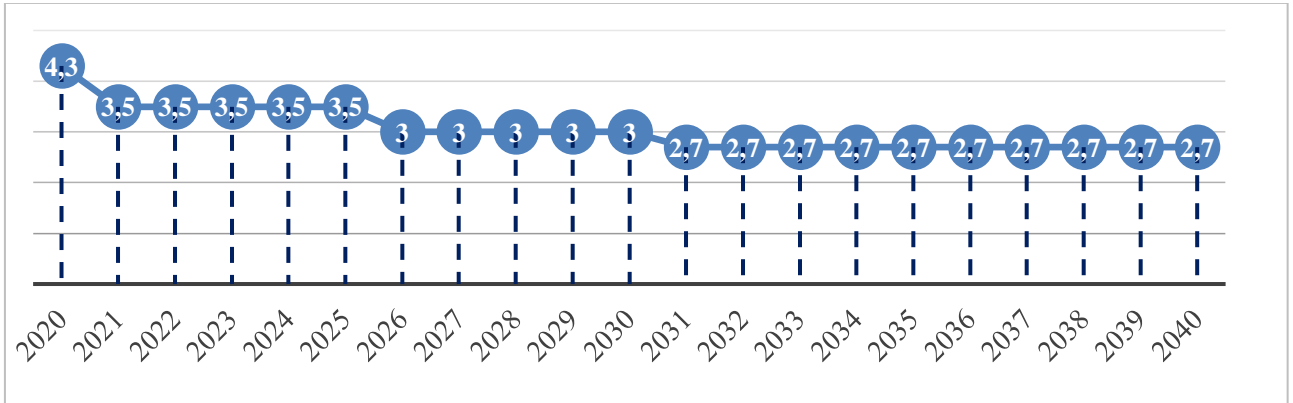


Рисунок 72 – Среднегодовые величины инфляции по годам в процентах

## 6.2 Расчет экономических показателей

На основании структуры капитальных затрат рассчитаны затраты на строительство ВЭС с количеством ВЭУ от 1 до 19 установок (рисунок 73).

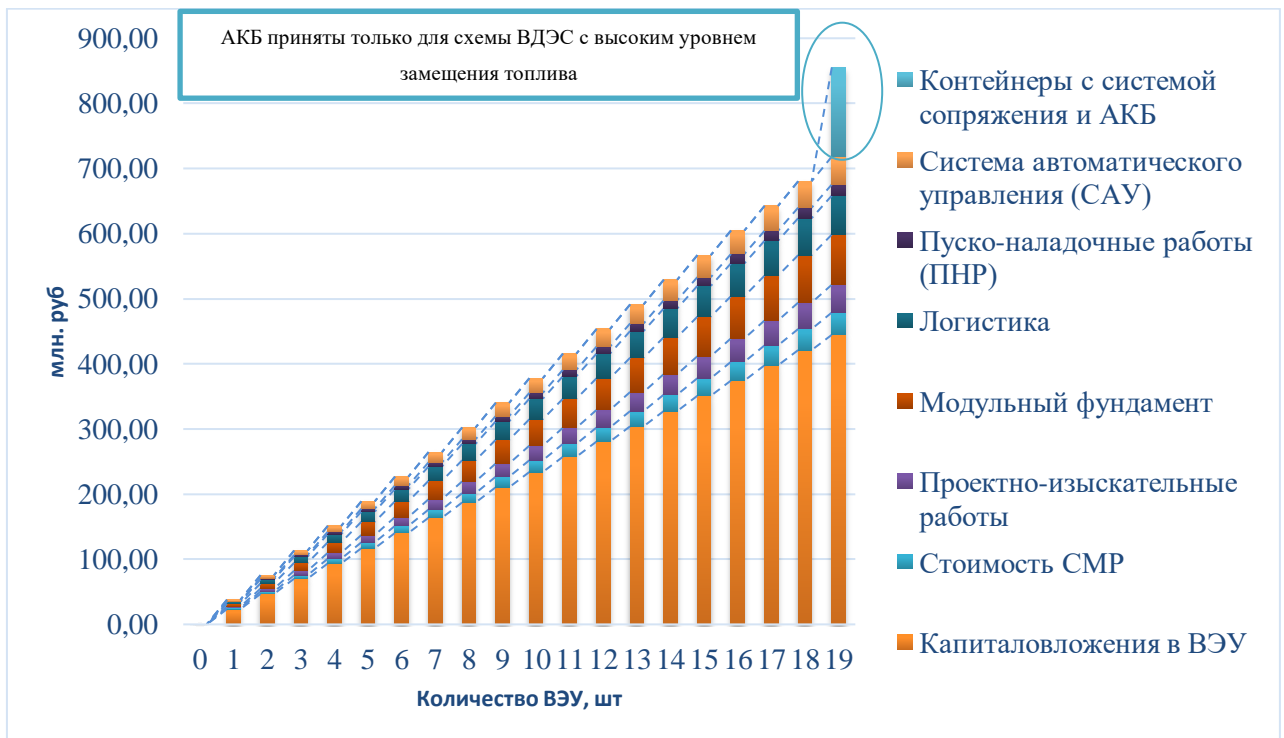


Рисунок 73 -Капитальные затраты на ВЭС

Определены этапы строительства ВЭС: в -1 год осуществляются проектно-изыскательные работы и оплата ветроэлектрического оборудования, строительство модульного фундамента, в 0 год осуществляются строительные – монтажные работы, оплата электротехнического оборудования, пуско-наладочные работы и доставки.

В проекте определены следующие экономические показатели для ВЭС с количеством ВЭУ 1-19 штук:

- Накопленный денежный поток (ACF) – разница между суммой чистого денежного потока за весь период реализации инвестиционного проекта и суммой инвестиционных затрат на его реализацию. Определен денежный поток по эксплуатации ВЭС в течение жизненного цикла, 20 лет. Издержки на ВЭС представлены в таблице 18. Денежный поток представлен в итоговой таблице экономических показателей (таблица 20), расчет приведен для всех рассматриваемых вариантов компоновки ВЭС (1-19 ВЭУ).

Таблица 18 – Издержки ВЭС, учтенные в проекте

Параметр	Значение
<b>Издержки на обслуживание ВЭС</b>	8000\$ в год за 1 ВЭУ (в расчете учтена инфляция)
<b>Рабочий персонал</b>	3 человека по 40000 рублей в месяц (в расчете учтена инфляция)
<b>Прочие издержки</b>	10% от остальных издержек (в расчете учтена инфляция)

- Денежный поток (CF) — совокупность распределенных во времени поступлений (притока) и выплат (оттока) денежных средств, генерируемых хозяйственной деятельностью предприятия, независимо от источников их образования. Денежный поток является одним из важнейших понятий финансового анализа, планирования и управления финансами. На рисунке 74 представлен денежный поток для ВЭС в составе десяти ВЭУ;



- Дисконтированный денежный поток (DCF) – это приведение стоимости будущих (ожидаемых) денежных платежей к текущему моменту времени (рисунок 74). Для этих целей используют коэффициент дисконтирования – показатель, который используется для приведения будущей цены денег к их сегодняшней или текущей стоимости;
- Принята доходность собственного капитала (WACC) равной 12,5% - ставка дисконтирования;
- Простой срок окупаемости проекта (PP) – это период времени, за который сумма чистого денежного потока от проекта покрывает сумму вложенных в него средств (рисунок 74);
- Дисконтированный срок окупаемости (DPP) позволяет учесть инфляционные процессы и рассчитать возврат инвестиций с учетом покупательской способности денежных средств (рисунок 74).

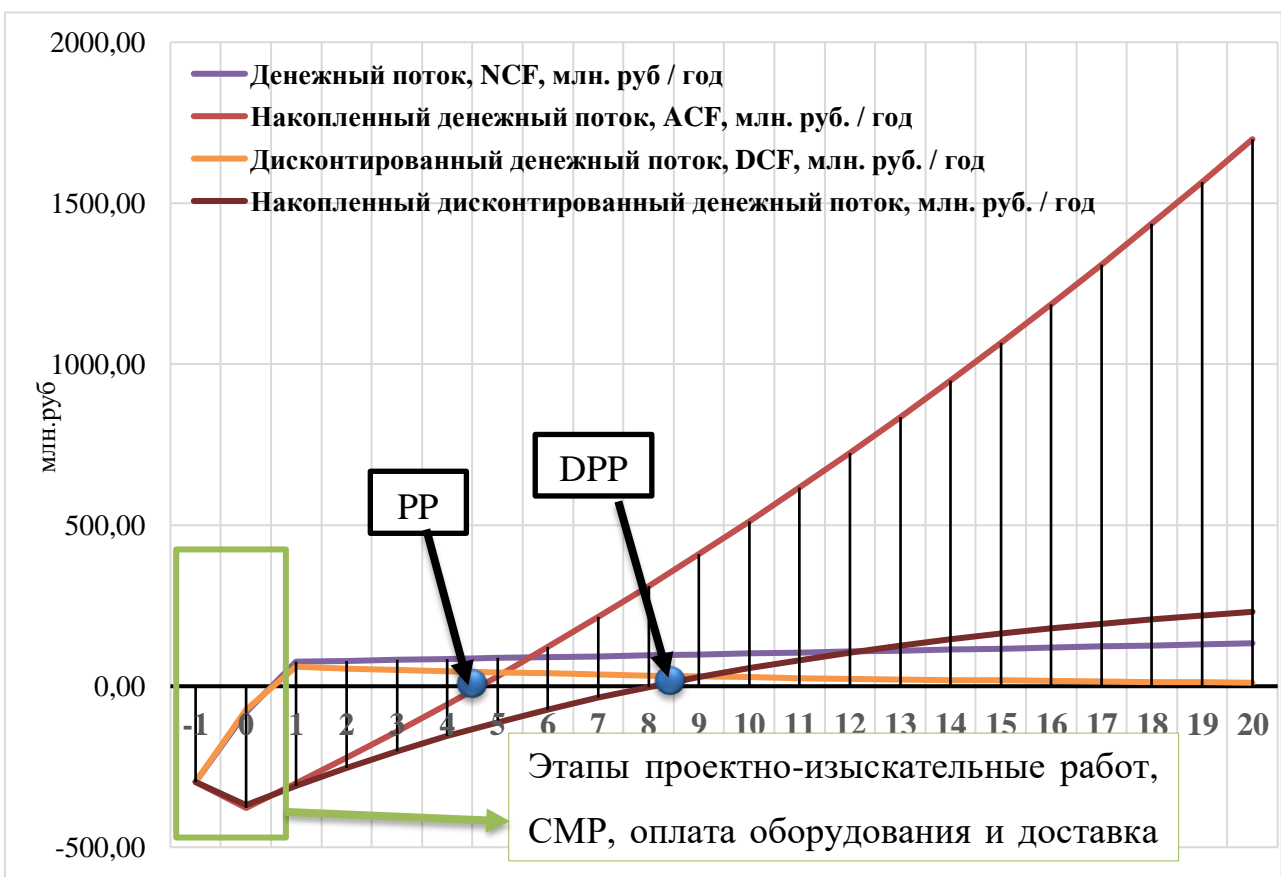


Рисунок 74 – Денежный поток, накопленный денежный поток, дисконтированный денежный поток и накопленный дисконтированный денежный поток при строительстве десяти ВЭУ за

20 лет

- Чистая приведённая стоимость (NPV, должен быть положительным) — это сумма дисконтированных значений потока платежей, приведённых к сегодняшнему дню. Показатель NPV представляет собой разницу между всеми денежными притоками и оттоками, приведёнными к текущему моменту времени (моменту оценки инвестиционного проекта). Он показывает величину денежных средств, которую инвестор ожидает получить от проекта, после того, как денежные притоки окупят его первоначальные инвестиционные затраты и периодические денежные оттоки, связанные с осуществлением проекта, в таблице 20 данный показатель приведен для всех рассматриваемых вариантов компоновки ВЭС;
- Внутренняя норма доходности (IRR, должен быть положительным и больше, либо равен ставке дисконтирования, 12,5 % в проекте) – процентная ставка инвестиционного проекта, при которой приведенная стоимость денежных потоков равняется нулю (таблица 20);
- Дисконтированный индекс доходности (DPI) – показывает эффективность использования капитала в инвестиционном проекте (таблица 19).

Таблица 19 – Оценка инвестиционного проекта в зависимости от значения показателя DPI

<b>Значение показателя</b>	<b>Оценка инвестиционного проекта</b>
DPI<1	Инвестиционный проект исключается из дальнейшего рассмотрения
DPI=1	Доходы инвестиционного проекта равны затратам, проект не приносит ни прибыли ни убытков. Необходима его модификация
DPI>1	Инвестиционный проект принимается для дальнейшего инвестиционного анализа
$DPI_1 > DPI_2$	Уровень эффективности управления капиталом в первом проекте выше, нежели во втором. Первый проект имеет большую инвестиционную привлекательность

Таким образом, экономические показатели представлены в итоговой таблице 20, критерий выбора экономически целесообразного состава ВЭС: наибольший NPV и DPI, так как данные критерии имеют разный характер, что зависит от ряда факторов, определены осредненные значения данных параметров,  $NPV_{ср} = 294$  млн. руб и  $DPI_{ср} = 1,85$ . Согласно осредненным данным, в проекте может быть рассмотрено 10 -11 ВЭУ, окончательно в проекте принято десять ВЭУ, показатель с большим DPI (рисунок 75).

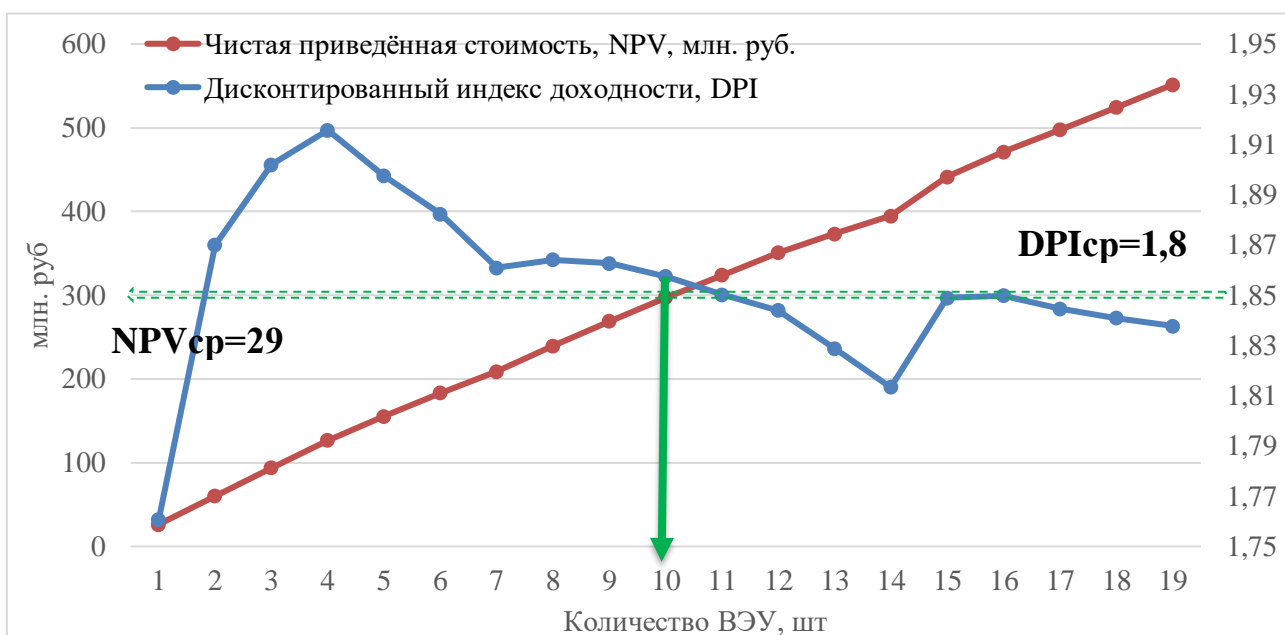


Рисунок 75 – NPV и DPI для ВЭС с количеством ВЭУ 1-19 установок

Таблица 20– Экономические показатели на ВЭС, итоговая таблица

Количество ВЭУ/Параметры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Годовая экономия ДТ, т	162	317	470	623	766	907	1044	1191	1336	<b>1478</b>	1617	1757	1886	2014	2195	2341	2479	2619	2759
Установленная мощность ВЭС, МВт	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	<b>1200</b>	1320	1440	1560	1680	1800	1920	2040	2160	2280
Годовая выработка ВЭС, МВтч/год	677	1321	1961	2598	3195	3786	4353	4969	5573	<b>6165</b>	6747	7328	7870	8401	9158	9766	677	1034 3	1092 5
Доля замещения, %	3,00	5,85	8,69	11,51	14,16	16,78	19,29	22,02	24,70	<b>27,32</b>	29,90	32,48	34,87	37,23	40,58	43,28	45,83	48,42	51,00
КИУМ, %	57,90	56,50	55,90	55,60	54,70	54,00	53,20	53,10	53,00	<b>52,70</b>	52,50	52,20	51,80	51,30	52,20	52,20	52,10	51,90	51,80
Чистая приведённая стоимость, NPV, млн. руб.	26	60	94	127	155	183	209	240	269	<b>297</b>	324	351	373	395	441	471	497	525	552
Внутренняя норма доходности, IRR, %	18,98 %	19,96 %	20,24 %	20,36 %	20,20 %	20,07 %	19,88 %	19,91 %	19,89 %	<b>19,85 %</b>	19,78 %	19,73 %	19,59 %	19,45 %	19,77 %	19,78 %	19,73 %	19,70 %	19,67 %
Дисконтированный индекс доходности, DPI	1,76	1,87	1,90	1,92	1,90	1,88	1,86	1,86	1,86	<b>1,86</b>	1,85	1,84	1,83	1,81	1,85	1,85	1,84	1,84	1,84
Дисконтированный срок окупаемости, DPP, лет	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	<b>8,00</b>	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Простой срок окупаемости, PP, лет	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	<b>4,00</b>	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

### **6.3 Вывод к шестой главе**

В проекте принято 10 ВЭУ Ghrepower FD25-100 арктического исполнения с долей замещения ДТ 27%, мощностью 1,2 МВт и годовой выработкой 6165 МВтч в год.

Капитальные затраты на проектно-изыскательные работы, оплату ветроэлектрического оборудования, строительно – монтажные работы, оплату оборудования, пуско-наладочные работы и доставку составили 346,5 млн. руб.

Простой срок окупаемости составляет 4 года, дисконтированный – 8 лет, дисконтированный индекс доходности 1,86, чистая приведенная стоимость 297 млн. руб, внутренняя норма доходности больше ставки дисконтирования и равна 19,85%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения ВКР «Методика проектирования ВДЭС на Камчатке с использованием геоинформационных технологий» получены следующие результаты:

1. Проведен анализ состояния энергоснабжения изолированных и труднодоступных регионов РФ. Суммарная выработка электрической энергии генерирующими объектами в изолированных и труднодоступных регионах - около 1161 МВт-ч за год, установленная мощность – более 770 МВт. В настоящее время в России в изолированных и труднодоступных местах функционирует более 30 ЭК на базе ВИЭ (ВДЭС, СДЭС, ВЭС-СЭС-ДЭС) для автономного энергоснабжения удаленных потребителей.
2. В Камчатском крае эксплуатируется более 25 ДЭС, мощностью 72,5 МВт и выработкой энергии 125 МВт-ч в год. На нужды энергоснабжения доставляется более 30 тыс. т дизельного топлива. Стоимость электроэнергии производимой от ДЭС колеблется от 38 до 63 руб/кВт-ч.
3. В работе выполнен анализ геоинформационных систем для проектирования систем энергоснабжения на основе ВИЭ в изолированных зонах и предложено использование комплекса QGIS.
4. Разработана структура ГИС для проектирования ВДЭС в изолированной системе энергоснабжения с суровыми климатическими условиями, необходимые слои: административный, экономический, геологический, энергетический, климатический и ресурсный. Созданы слои в данном программном комплексе содержащие информацию о ветровом потоке на высоте 50 м и 100 м, данные ДЭС в изолированной системе энергоснабжения в девяти регионах (349 ДЭС) и представлены энергетические сети.
5. На основе разработанной методики запроектирован ветро-дизельный ЭК в с. Тилички Камчатского края, состоящий из 12 ДГУ м суммарной

мощностью 11 МВт и 10 ВЭУ Ghpower FD25-100 арктического исполнения мощностью 1,2 МВт.

6. В результате внедрения ВЭС доля замещения ДТ составила 27%, годовая выработка 6165 МВт-ч в год, КИУМ – 52,6%; себестоимость производства электроэнергии снизилась с 54 до 37 руб/кВт-ч
7. Капитальные затраты по проекту, включая проектно-изыскательные работы, оплату ветроэлектрического оборудования, строительно – монтажные работы, пуско-наладочные работы и доставку составили 346,5 млн. руб;
8. Простой срок окупаемости проекта составляет 4 года, дисконтированный – 8 лет; дисконтированный индекс доходности 1,86, чистая приведенная стоимость 297 млн. руб, внутренняя норма доходности равна 19,85%.



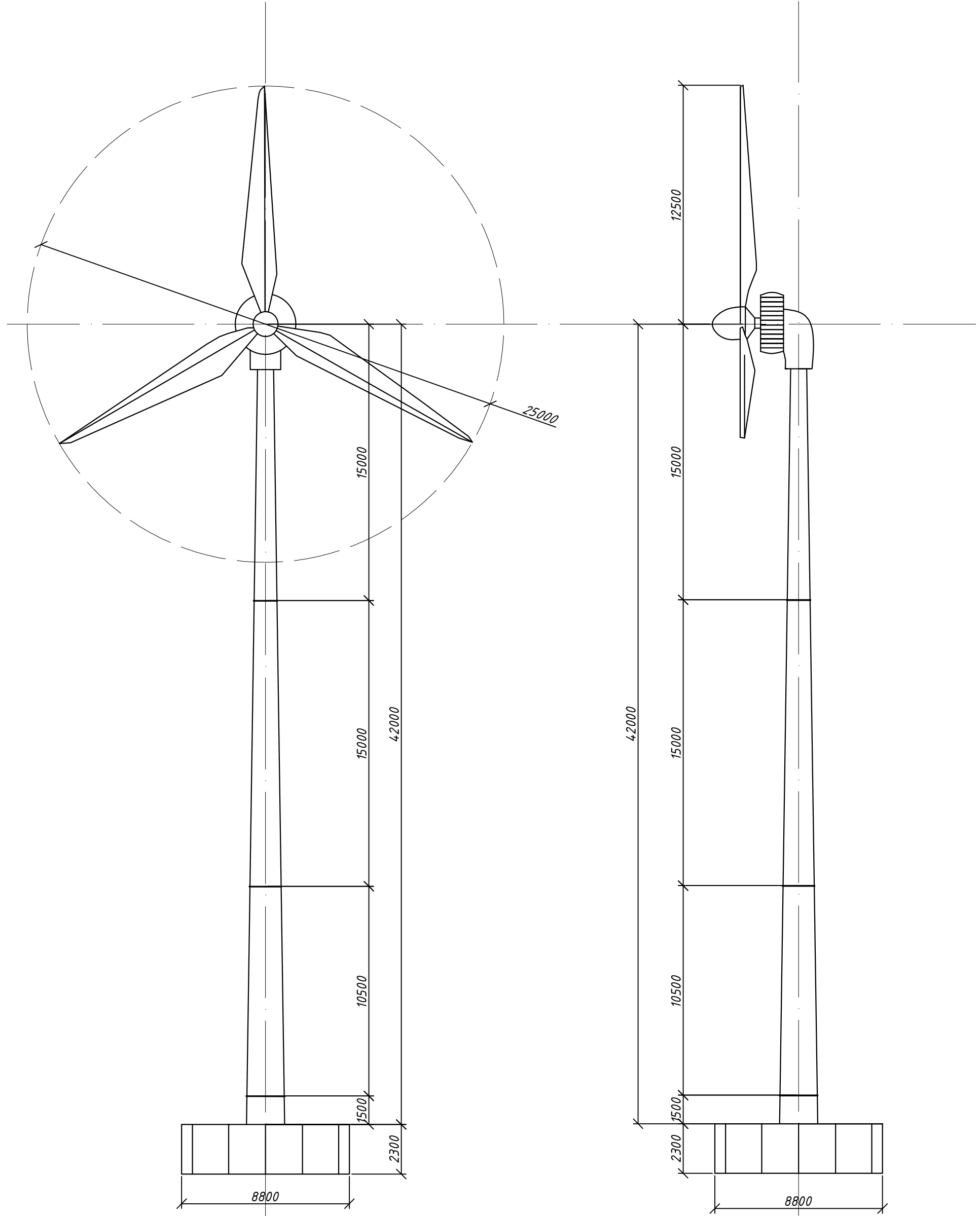
## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика. – СПб: Наука, 2016.
2. Power system 120rganizational structures for the renewable energy era- [электронный ресурс] URL: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA\\_A\\_Power\\_system\\_structures\\_2020.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_A_Power_system_structures_2020.pdf)
3. Постановление правительства РФ «О внесении изменений в перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза грузов (продукции) от 6 декабря 2016 г. № 1305- [Электронный ресурс] URL: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-06122016-n-1305-o-vnesenii/>
4. Министерство энергетики – [Электронный ресурс] URL: <https://minenergo.gov.ru/node/16540>
5. Power system 120rganizational structures for the renewable energy era- [электронный ресурс] URL: [https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA\\_A\\_Power\\_system\\_structures\\_2020.pdf](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jan/IRENA_A_Power_system_structures_2020.pdf)
6. Renewable capacity statistics 2019 – [электронный ресурс] URL: [https://irena.org//media/files/irena/agency/publication/2019/mar/irena\\_re\\_capacity\\_statistics\\_2019.pdf](https://irena.org//media/files/irena/agency/publication/2019/mar/irena_re_capacity_statistics_2019.pdf)
7. Макроэкономический обзор: Достигнет ли Россия мировых показателей по инвестициям в возобновляемую энергетику? – [электронный ресурс] URL: <https://investvitrina.ru/articles/makroekonomicheskii-obzor-dostignet-li-rossiya-mirovyh-pokazatelei-po-investitsiyam-v-vozobnovlyaemuu-energetiku-ecb5cc50-fe65-4ac4-b10a-46d15b3fdbcb9/>
8. Renewable power generation costs in 2018 – [электронный ресурс] URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA\\_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/May/IRENA_Renewable-Power-Generations-Costs-in-2018.pdf)
9. Перспективы глобального перехода к возобновляемой энергетике – [Электронный ресурс] URL: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916\\_GSR\\_2019\\_Perspectives\\_Russian.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916_GSR_2019_Perspectives_Russian.pdf)
10. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2019 году – [электронный ресурс] URL: [https://www.socdu.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups\\_rep2019.pdf](https://www.socdu.ru/fileadmin/files/company/reports/disclosure/2020/ups_rep2019.pdf)
11. Обзор российского ветроэнергетического рынка и рейтинг регионов России за 2019 год – [электронный ресурс] URL: <https://rawi.ru/windpower/market-report/report-2019/>
12. Анализ нынешнего положения изолированных систем энергоснабжения с высокими затратами на энергию – [Электронный ресурс] URL: [http://www.cenef.ru/file/Discussion\\_paper1.pdf](http://www.cenef.ru/file/Discussion_paper1.pdf)
13. Борисов Е. Указ «О схеме и программе развития электроэнергетики Республики Саха (Якутия) на 2018-2022 годы» 23 апреля 2018 года № 2515

14. Елистратов В.В., Панфилов А.А., Конищев М.А., Денисов Р.С., Модульный фундамент ветроэлектрической установки: патент на полезную модель RUS 167022 02.06.2016
15. Петров С.Г., Панфилов А.А. Конструктивно-технологические особенности строительства модульных ветроэнергетических установок арктического исполнения. В сборнике: Неделя науки СПбПУ Материалы научной конференции с международным участием, лучшие доклады. 2019. С. 36-41.
16. Elistratov Vasilievich, V., Knezevic, M., Konishchev, M.A., Konishchev, M.: Problems of constructing wind-diesel power plants in harsh climatic conditions. Istraz. I Proj. za privredu. 12, 29–36 (2014). DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes12-5632>.
17. В.А.Минин. Перспективы развития возобновляемой энергетики в зонах децентрализованного энергоснабжения Мурманской области – [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-vozobnovlyaemoy-energetiki-v-zonah-detsentralizovannogo-energospabzheniya-murmanskoy-oblasti>
18. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года – [Электронный ресурс] URL <http://static.government.ru/media/files/2RpSA3sctElhAGn4RN9dHrtzk0A3wZm8.pdf>
19. Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 года – [Электронный ресурс] URL <http://static.government.ru/media/files/A4qP6brLNJ175I40U0K46x4SsKRHGfUO.pdf>
20. Перспективы глобального перехода к возобновляемой энергетике – [Электронный ресурс] URL: [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916\\_GSR\\_2019\\_Perspectives\\_Russian.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/1900916_GSR_2019_Perspectives_Russian.pdf)
21. СТО 70238424.27.140.011-2008 Ветроэлектростанции (ВЭС). Условия создания Нормы и требования.
22. Климат Приморского края – [Электронный ресурс] URL: <https://www.arsvine.ru/blog/klimat-primorskogo-kрая/>
23. Энергетика и промышленность России\№ 12 (248) июнь 2014 года – [Электронный ресурс] URL: <https://www.eprussia.ru/epr/248/16172.htm>
24. Курочкин Ю.А., Фомин В.Н. RAO Energy System of East: GIS for Searching of Perspective Renewable Energy Projects – [Электронный ресурс] URL: [https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=22586&SECTION\\_ID=1086](https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=22586&SECTION_ID=1086)
25. ГИС ВИЭ – [Электронный ресурс] URL: <http://gisre.ru/about-us>
26. Распоряжение губернатора Камчатского края №555-р от 30.04.2019 г «Схема и программа развития электроэнергетики Камчатского края на 2019-2023 годы»
27. ПАО «Передвижная энергетика» - [Электронный ресурс] URL: <http://xn----7sbbfhcgaebgxxg2a2bcytk6b4ppb.xn--p1ai/projects/veu-v-pos-nikolskoe/>

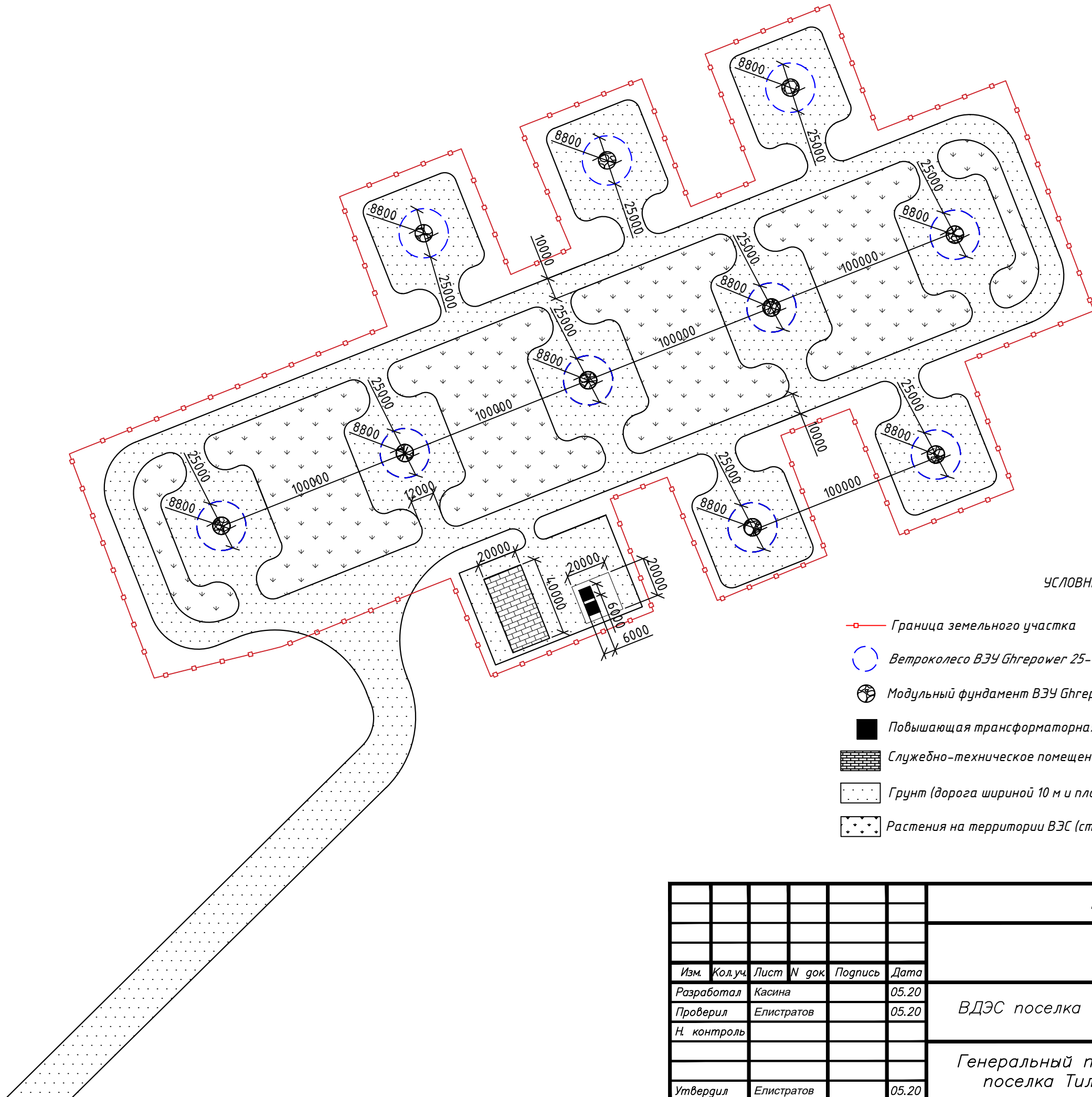
28. ВЭУ в пос. Усть-камчатск – [Электронный ресурс] URL: <http://xn----7sbbfhcgaebgxg2a2bcytk6b4ppb.xn--p1ai/projects/veu-v-pos-ust-kamchatsk/>
29. Официальный сайт органов местного самоуправления Олюторского муниципального района Камчатского края – [Электронный ресурс] URL: <http://xn----8sbwecbgwbbgrejm5q.xn--p1ai/general-nyu-plan.html>
30. Дизельная электростанция - [Электронный ресурс] URL: <http://www.brizmotors.ru/equipment/ctm/SP.1250/>
31. Касина В.И.. Перспективы развития энергоснабжения изолированных территорий России. Неделя науки СПбПУ 2017: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт. Кафедра водохозяйственного и гидротехнического строительства, 2017, стр. 318-321
32. АО «КОРЯКЭНЕРГО» - [Электронный ресурс] URL: <http://www.korenergo.ru/wl/?&MGWNSP=web&MGWAPP=w&r=about&CurM=2&SubM=3&SSubM=12>
33. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (роsgидромет)
34. GoodMeteo. Погода в селе Тиличики, Олюторский район, Камчатский край – [Электронный ресурс] URL: <https://goodmeteo.ru/pogoda-tilichiki-olyutorskiy-kamchatskiy/god/>
35. Архив погоды в Тиличиках (Камчатский край) – [Электронный ресурс] URL: <https://global-weather.ru/archive/tilichiki>
36. RP5- [Электронный ресурс] URL: <https://rp5.ru/>
37. Тиличики – [Электронный ресурс] URL: <https://ru.qwe.wiki/wiki/Tilichiki>
38. С.А. Шоба. Национальный атлас почв Российской Федерации. Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
39. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб: 1:8000000. 1999 г. Главные редакторы: В.Н. Страхов, В.И. Уломов. Ответственные составители: Уломов В.И., Шумилина Л.С., Гусев А.А., Павлов В.М., Медведева Н.С. / Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 4 листа
40. Global wind atlas – [Электронный ресурс] URL: <https://globalwindatlas.info/en/area/Russian%20Federation?print=true>
41. ГОСТ Р 54418.1-2012 (МЭК 61400-1:2005) Национальный стандарт Российской Федерации
42. Ghrepower – [Электронный ресурс] URL: <https://www.ghrepower.com/en/wind-powershow.php?cid=60&id=62>
43. Methodology global wind atlas - [Электронный ресурс] URL: <https://globalwindatlas.info/about/method>
44. ENERGYDATA.INFO – [Электронный ресурс] URL: <https://energydata.info/>
45. Elistratov V.V., Bogun I.V., Kasina V.I. Optimization of Wind-Diesel Power Plants Parameters and Placement for Power Supply of Russia's Northern Regions

- Consumers 2019 16<sup>th</sup> Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems, ELMA 2019 – Proceedings, № 8771647. DOI: 10.1109/ELMA.2019.8771647
46. V.V. Elistratov, I.V. Bogun, V.I. Kasina. Development of a Geoinformation System for the Design of Wind Power Facilities in the Russian Arctic Conditions. 4<sup>th</sup> International Scientific Conference “Arctic: History and Modernity”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 302 (1), 2019, 012064. DOI:10.1088/1755-1315/302/1/012064
47. Касина В.И. Использование геоинформационных систем при создании проектов в ветроэнергетике. Неделя науки СПбПУ: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2018, стр. 110-112
48. Касина В.И., Богун И.В. Создание слоя состояния энергоснабжения в ГИС для арктической зоны РФ. Неделя науки СПбПУ 2019: материалы научного форума с международным участием. Инженерно-строительный институт, 2019, стр. 263-266
49. Касина В.И., Богун И.В. Стратегия развития использования возобновляемых источников энергии. Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции, 2018, стр. 456-464.



Согласовано		Взам. инв. №	Инв. № подл.

						ПРИЛОЖЕНИЕ А			
Изм.	Код.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	ВДЭС поселка Тилички	Стадия	Лист	Листов
Разработал	Касина				05.20		П	1	3
Проверил	Елистратов				05.20	Общий вид ВЭУ Ghrepower FD25-100	СПБПУ 314801/82401		
Н. контроль									
Утвердил	Елистратов				05.20				

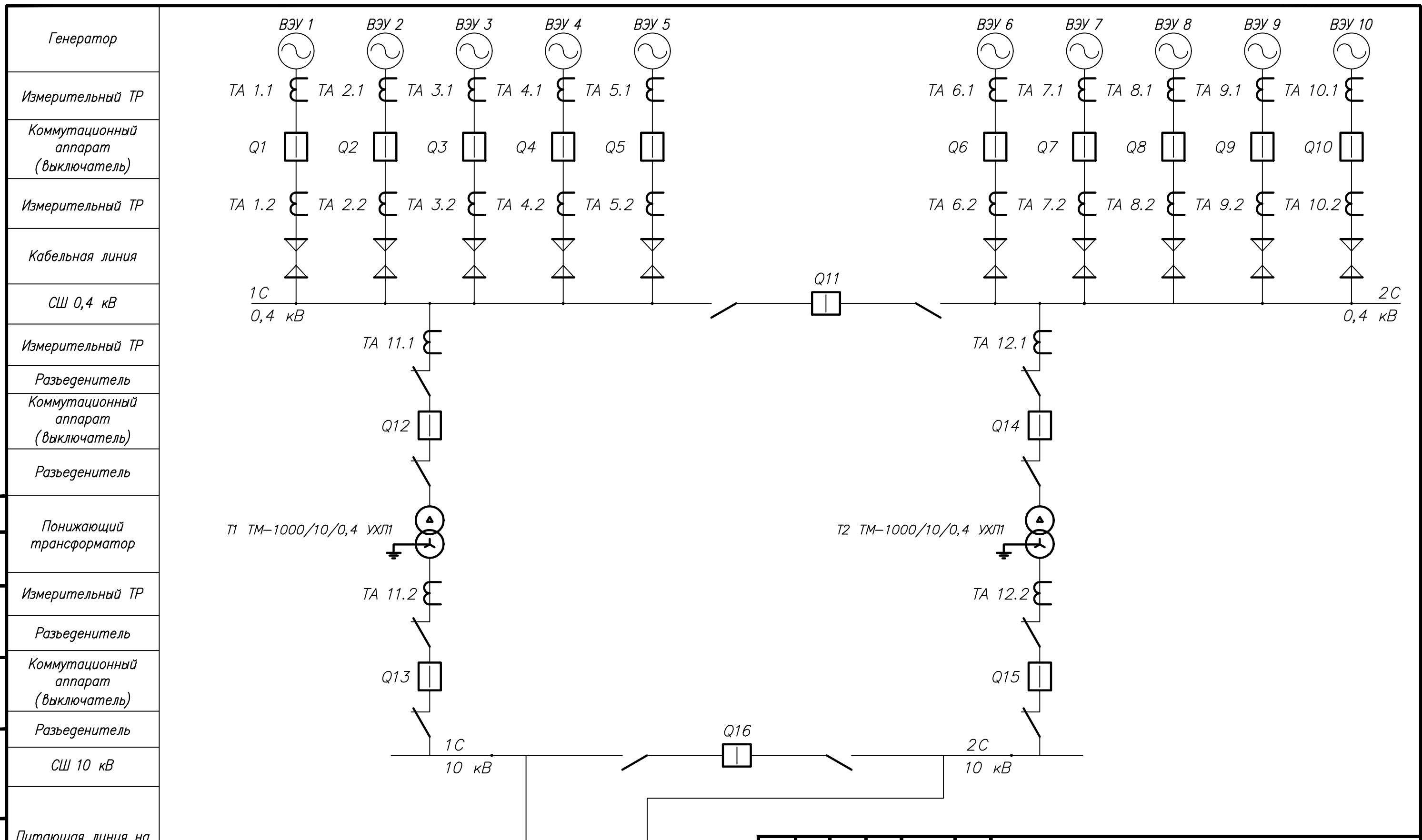


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- Граница земельного участка
- Ветроколесо ВЗУ Ghrpower 25-100 арктического исполнения (D=25 м, H=42 м)
- Модульный фундамент ВЗУ Ghrpower 25-100 арктического исполнения (D=8,8 м)
- Повышающая трансформаторная подстанция 0,4/10
- Служебно-техническое помещение для обслуживания ВЭС
- Грунт (дорога шириной 10 м и площадки ВЗУ)
- Растения на территории ВЭС (стриженная трава)

Согласовано			
	Взам инв. N		
	Погр. и дата		
Инв. N подл.			

Изм.						ПРИЛОЖЕНИЕ Б		
Кол.уч.	Лист	N док.	Подпись	Дата				
Разработал	Касина			05.20	ВДЭС поселка Тилички	Стадия	Лист	Листов
Проверил	Елистратов			05.20		П	2	3
N. контроль								
Утвердил	Елистратов			05.20	Генеральный план ВЭС поселка Тилички		СПБПУ 314801/82401	



Согласовано					
Взам инв. N					
Погр. и дата					
Инв. N подл.					

Генератор
Измерительный ТР
Коммутационный аппарат (выключатель)
Измерительный ТР
Кабельная линия
СШ 0,4 кВ
Измерительный ТР
Разъединитель
Коммутационный аппарат (выключатель)
Разъединитель
Понижающий трансформатор
Измерительный ТР
Разъединитель
Коммутационный аппарат (выключатель)
Разъединитель
СШ 10 кВ
Питающая линия на поселок

Изм.						ПРИЛОЖЕНИЕ В		
Кол.уч.								
Лист								
N док.								
Подпись								
Дата								
Разработал Касина						ВДЭС поселка Тилички		
Проверил Елистратов						Стадия Лист Листов		
Н. контроль						П 3 3		
Утвердил Елистратов						Электрическая часть ветроустановок Тилички		
05.20						СПБПУ 314801/82401		