

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Саяно – Шушенский филиал  
институт

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.А. Ачитаев

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ВИЭ В СОСТАВЕ ГИБРИДНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.03.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	_____	<u>Профессор</u> <u>кафедры ГГЭЭС,</u> <u>доктор техн. наук</u>	<u>М.Ф. Носков</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Е.Г. Сема</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Главный инженер</u> <u>АО «Нижне-</u> <u>Бурейская ГЭС»</u>	<u>В.В. Сладкевич</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саяногорск, Черёмушки 2021

## АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертации Сема Екатерины Геннадьевны, студентки 2 курса магистратуры Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета на тему «Анализ работы ВИЭ в составе гибридных электрических станций».

Магистерская диссертация направлена на проведение анализа работы солнечной электростанции Нижне-Бурейской ГЭС, эффективности работы при покрытии нагрузки собственных нужд ГЭС. Реализованный проект гибридной электрической станции является пилотным и требует всестороннего рассмотрения для выявления достоинств и недостатков, для учета в подобных проектах гибридных станций.

Объем диссертации составляет 64 страниц, содержит 38 рисунков, 12 таблиц. Список используемой литературы состоит из 24 наименований.

В магистерскую диссертацию входят введение, три главы и заключение.

Во введении раскрывается актуальность данного исследования, ставятся цели и задачи.

Первая глава посвящена общим сведениям о Нижне-Бурейской ГЭС и особое внимание уделяется составу собственных нужд ГЭС.

Во второй главе приводится обзор развития ВИЭ и анализ мировых тенденций в гелиоэнергетики. Приводятся примеры реализации гибридных электрических станций и применение наплавных СЭС. Выделяются факторы, влияющие на использование возобновляемых источников.

В третьей главе рассматривается проект СЭС Нижне-Бурейской ГЭС, в том числе расчет режимов гелиостанции. Производится анализ фактической работы СЭС и эффективности покрытия собственных нужд.

Заключение посвящено обобщению результатов, полученных в ходе выполнения настоящей работы.

**Ключевые слова:** гибридная электрическая станция, гелиоэнергетика, СЭС, Нижне-Бурейская ГЭС, покрытие собственных нужд, ФЭМ, угол наклона ФЭМ, наплавная СЭС, понтонная СЭС, ограничение выработки, ВИЭ.

## АВТОРЕФЕРАТ

### **Актуальность:**

Развитие человеческой цивилизации на планете Земля оказалось невозможным без использования людьми энергии. Одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, – проблема поиска источников энергии. Потребление энергии растёт так быстро, что известные запасы топлива окажутся исчерпанными в сравнительно короткое время.

Солнце – это огромный, неиссякаемый, абсолютно безопасный источник энергии. Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана. Получение максимальной эффективности от использования энергии Солнца – вот задача, которая стоит перед энергетиками для быстрого и безболезненного перехода к «зеленой» энергии.

### **Цель работы:**

Проведение анализа эффективности работы солнечной электростанции (далее – СЭС) Нижне-Бурейской ГЭС.

### **Задачи работы:**

- оценить гелиоэнергетику как крупнейший сегмент альтернативной энергетики и отрасли использования возобновляемых источников энергии;
- привести данные касательно гибридных электрических станций: реализованные проекты и существующие технологические решения;
- определить принцип выбора угла наклона фотоэлектрических модулей (далее – ФЭМ) Нижне-Бурейской ГЭС при создании проекта;
- привести данные по режиму работы СЭС, заложенные в проекте;
- получить, обработать и дать оценку фактическим данным работы СЭС и собственных нужд Нижне-Бурейской ГЭС;
- сравнить проектное и фактическое покрытие собственных нужд генерацией СЭС. Дать оценку проектным расчетам, и определить недостатки проекта, которые необходимо не допустить, в случае обнаружения таковых.

**Объект исследования:** солнечная электрическая станция Нижне-Бурейской ГЭС.

**Предметом исследования** стал режим работы СЭС.

### **Практическая значимость работы:**

Полученные данные могут служить основанием для модернизации составных частей СЭС Нижне-Бурейской ГЭС, а также нести в себе рекомендательный характер при создании подобных проектов гибридных электрических станций.

**Методология исследования** включает в себя: историко-научный анализ источников; обзорно-аналитический метод; принцип историзма, который позволяет описать картину развития применения гибридных электрических станций. Также в ходе исследования были задействованы следующие методы: системно-структурный метод, принцип объективности в интерпретации рассматриваемого материала, принцип развития, принцип комплексного системного анализа исследуемого вопроса.

## ABSTRACT

### **Relevance:**

The development of human civilization on the planet Earth was impossible without the use of energy by people. One of the most important problems facing humanity is the problem of finding energy sources. Energy consumption is growing so fast that the known fuel reserves will be exhausted in a relatively short time.

The sun is a huge, inexhaustible, absolutely safe source of energy. The total amount of solar energy that reaches the Earth's surface in a week exceeds the energy of all the world's oil, gas, coal, and uranium reserves. Getting the maximum efficiency from the use of the solar energy is the task that power engineers face for a quick and painless transition to "green" energy.

### **Purpose of the work:**

Conducting an analysis of the efficiency of the solar power plant (SPP) of the Nizhne-Bureyskaya HPP.

### **Tasks of the work:**

- evaluate solar energy as the largest segment of alternative energy and the renewable energy industry;
- provide data on hybrid power plants: implemented projects and existing technological solutions;
- determine the principle of choosing the angle of inclination of the photovoltaic modules of the Nizhne-Bureyskaya HPP when creating a project;
- provide data on the operation mode of the SPP, laid down in the project;
- receive, process and evaluate the actual data of the SPP operation and own needs of the Nizhne-Bureyskaya HPP;
- compare the design and actual coverage of their own needs with the generation of SPP. To evaluate the design calculations, and to determine the shortcomings of the project that must be prevented, if any.

**Object of the research:** solar power station of the Nizhne-Bureyskaya HPP.

**The subject of the study** was the mode of operation of the SPP.

### **Practical significance of the work:**

The obtained data can serve as a basis for the modernization of the components of the SES of the Nizhne-Bureyskaya HPP, as well as carry a recommendation character when creating such projects of hybrid power plants.

**The research methodology** includes: historical and scientific analysis of sources; review and analytical method; the principle of historicism, which allows us to describe the picture of the development of the use of hybrid electric stations. The following methods were also used in the course of the study: the system-structural method, the principle of objectivity in the interpretation of the material under consideration, the principle of development, the principle of a comprehensive system analysis of the issue under study.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Общие сведения о Нижне-Бурейской ГЭС.....	7
2 Обзор состояния гелиоэнергетики .....	20
2.1 Тенденции к развитию гелиоэнергетики .....	20
2.1.1 Мировые тенденции развития гелиоэнергетики.....	20
2.1.2 Опыт реализации проектов СЭС в России .....	25
2.2 Мировой опыт реализации гибридных электрических станций .....	25
2.3 Мировой опыт реализации наплавных электрических станций.....	27
2.4 Преимущества и недостатки наплавных электрические станций .....	29
3 Солнечная электростанция Нижне-Бурейской ГЭС.....	30
3.1 Характеристики гелиостанции Нижне-Бурейской ГЭС.....	31
3.1.1 Состав солнечной электростанции.....	31
3.1.2 Краткое описание оборудования СЭС.....	31
3.1.3 Основание выбора угла установки фотоэлектрических модулей.....	35
3.2 Стационарная часть СЭС .....	35
3.3 Мобильная наплавная СЭС .....	36
3.4 Расчет режима работы СЭС.....	40
3.5 Анализ генерации СЭС .....	41
3.6 Анализ покрытия потребления собственных нужд генерацией СЭС .....	43
3.7 Анализ режимов работы СЭС в составе системы собственных нужд.....	46
3.7.1 Режим 1. Потребление собственных нужд больше генерации СЭС ...	47
3.7.2 Режим 2. Потребление собственных нужд меньше генерации СЭС...	48
3.8 Система ограничения мощности СЭС.....	48
3.9 Анализ фактического режима работы СЭС и покрытия собственных нужд.....	50
3.10 Обобщение результатов анализа.....	55
Заключение .....	58
Список использованных источников .....	59
Приложение А План размещения участков СЭС и инверторной станции .....	61
Приложение Б Объем земляных масс для выравнивания участка 2.1 СЭС....	62
Приложение В Главная электрическая схема инверторной станции .....	63
Приложение Г Электрическая принципиальная схема мобильной инверторной станции .....	64

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие человеческой цивилизации на планете Земля оказалось невозможным без использования людьми энергии. Актуальность выбранной темы исследования определяется тем, что одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, – проблема поиска источников энергии. Потребление энергии растёт так быстро, что известные запасы топлива окажутся исчерпанными в сравнительно короткое время. Например, запасов угля может хватить на 350 лет, нефти – на 40 лет, природного газа – на 60 лет.

Солнце – это огромный, неиссякаемый, абсолютно безопасный источник энергии. Полное количество солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли за неделю, превышает энергию всех мировых запасов нефти, газа, угля и урана. Получение максимальной эффективности от использования Солнца – вот задача, которая стоит перед энергетиками для быстрого и безболезненного перехода к «зеленой» энергии.

Целью работы является проведение анализа эффективности работы солнечной электростанции Нижне-Бурейской ГЭС.

Для реализации этой цели в работе были поставлены следующие задачи:

- оценить гелиоэнергетику как крупнейший сегмент альтернативной энергетики и отрасли использования возобновляемых источников энергии;
- привести данные касательно гибридных электрических станций: реализованные проекты и существующие технологические решения;
- определить принцип выбора угла наклона ФЭМ Нижне-Бурейской ГЭС при создании проекта;
- привести данные по режиму работы СЭС, заложенные в проекте;
- получить, обработать и дать оценку фактическим данным работы СЭС и собственных нужд Нижне-Бурейской ГЭС;
- сравнить проектное и фактическое покрытие собственных нужд генерацией СЭС. Дать оценку проектным расчетам, и определить недостатки проекта, которые необходимо не допустить, в случае обнаружения таковых.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Переход к «зеленой» энергетике одна из задач, поставленных перед нашим поколением в глобальном масштабе. Настоящая работа посвящена оценке эффективности пилотного проекта гибридной электрической станции.

Целью работы состояла в проведении анализа эффективности работы солнечной электростанции Нижне-Бурейской ГЭС.

В ходе проведения работы поставленные задачи были выполнены:

- проведена оценка гелиоэнергетики как крупнейшего сегмента альтернативной энергетики и отрасли использования возобновляемых источников энергии;

- приведены данные касательно гибридных и наплавных электрических станций: примеры реализованных проектов и существующие технологические решения;

- определен принцип выбора угла наклона ФЭМ Нижне-Бурейской ГЭС при создании проекта;

- приведены данные по режиму работы СЭС, заложенные в проекте;

- получены, обработаны и оценены фактические данные работы СЭС и собственных нужд Нижне-Бурейской ГЭС;

- проведено сравнение проектного и фактического покрытие собственных нужд генерацией СЭС. Определены факты невыполнения проектных целей. Выдвинуты предположения о причинах невыполнения. Приведены рекомендации для подобных проектов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 43: Традиционная энергетика. Тепловые электрические станции: состояние и перспективы их развития / М. И. Баранов //Электротехника и электромеханика. – 2018. - № 2. – С. 3-10.
2. Марончук И.И., Саникович Д.Д., Мирончук В.И. Солнечные элементы: современное состояние и перспективы развития // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2019. №2.
3. Стэн Гибилиско. Альтернативная энергетика: путеводитель / Стэн, Гибилиско. – М.: Изд. центр «Эксмо-Пресс», 2015. – 386 с.
4. О развитии солнечной энергетике в мире и в России» [Электронный ресурс] // «Отраслевой журнал «С.О.К.». – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-razvitii-solnechnoy-energetiki-v-mire-i-v-rossii>.
5. Инвестиции в ВИЭ выросли за 10 лет в 6 раз [Электронный ресурс] // «Федеральный деловой интернет-журнал «Инвест-Форсайт». – Режим доступа: <https://www.if24.ru/investicii-v-vie/>.
6. Новый рекорд в солнечной энергетике установлен в ОАЭ: 1,35 цента за киловатт-час [Электронный ресурс] // «Информационный ресурс «Renewable Energy». – Режим доступа: <https://renew.ru/novyyj-rekord-v-solnechnoj-energetike-ustanovlen-v-oe-1-35-tsenta-za-kilovatt-chas/>.
7. В Португалии поставили новый мировой рекорд стоимости солнечной энергии [Электронный ресурс] // «Отраслевой медиа-ресурс «E<sup>2</sup>nergy». – Режим доступа: <https://eenergy.media/2020/09/14/v-portugalii-postavili-novyyj-mirovoj-rekord-stoimosti-solnechnoj-energii/>.
8. Стоимость земли в Англии достигла 6000 фунтов стерлингов за акр [Электронный ресурс] // «ООО «Эй Ай Групп». – Режим доступа: <https://1-property.ru/news/4966.html>
9. Рядом с Лондоном выросла плавучая солнечная электростанция [Электронный ресурс] // «New Tang Dynasty». – Режим доступа: <https://ntdtv.ru/novosti-evropy/london-zapustit-plavuchuyu-solnechnuyu-elektrostantsiyu>
10. Список стран по стоимости электроэнергии [Электронный ресурс] // «Статистической службы Европейского союза». – Режим доступа: <https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/>
11. Государственная поддержка альтернативной энергетики: отечественный и зарубежный опыт [Электронный ресурс] // «Электротехнический интернет-портал «Элек.ру». – Режим доступа: <https://www.elec.ru/articles/gosudarstvennaya-podderzhka-alternativnoj-energetiki/>
12. Сибикин, Ю. Д. Технология энергосбережения / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: Изд. центр «Форум», 2016. – 352 с.
13. Минакова И. В., Распопин Д. И., Быковская Е. И. Текущее состояние и перспективы развития возобновляемой энергетики в россии //Modern Economy Success. – 2020. – №. 2. – С. 47-52.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Саяно – Шушенский филиал  
институт

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.А. Ачитаев  
подпись инициалы, фамилия

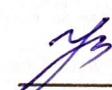
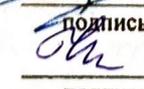
«17» июня 2021г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ВИЭ В СОСТАВЕ ГИБРИДНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.03.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	 подпись, дата 17.06.21	Профессор кафедры ГГЭЭС, доктор техн. наук	М.Ф. Носков инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата 17.06.21	должность	Е.Г. Сема инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата 17.06.21	Главный инженер АО «Нижне- Бурейская ГЭС»	В.В. Сладкевич инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата 17.06.21	должность	А.А. Чабанова инициалы, фамилия

Саяногорск, Черёмушки 2021