

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

подпись      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ  
С ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ГИДРОАГРЕГАТА**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Руководитель	_____	ст. преподаватель кафедры ГГЭЭС СШФ СФУ	<u>А.А. Клюкач</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В.Ю. Астапов</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	зам. начальника ЦЭТО СШФ АО «Гидроремонт-ВКК»	<u>В.С. Симавин</u>
	подпись, дата	должность	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2021

## АННОТАЦИЯ

**Тема магистерской диссертации.** Разработка устройства передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата.

**Объем диссертации** составляет 62 страницы, которые включают в себя 16 рисунков, 3 таблицы, 1 формулу, 2 приложения. Список использованных источников включает в себя 19 наименований.

**Объект исследования:** контроль технического состояния вращающихся частей гидроагрегата.

**Предмет исследования:** устройство, позволяющее передавать информацию с вращающихся частей гидроагрегата.

В магистерскую диссертацию входят 2 главы:

В первой главе производится анализ действующих нормативных документов в сфере мониторинга оборудования ГЭС. Приводится общая информация о системе мониторинга гидроагрегата. Осуществляется постановка проблемы, ее описание.

Во второй главе описывается предлагаемое устройство передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата, этапы его разработки, выбор комплектующих, предполагаемый режим работы.

**Ключевые слова:** программа, ГЭС, контроллер, мониторинг, зазор, датчик, беспроводная система, связь, контроль, режим, гидроагрегат, генератор, ротор, статор.

## АВТОРЕФЕРАТ

**Актуальность.** Работу любого промышленного объекта невозможно представить без проводимых на регулярной основе наблюдений и контроля параметров технического состояния эксплуатирующегося оборудования, т.е. его мониторинга. Проводимый в начале своего исторического развития контроль параметров работы устройств на основе примитивных приспособлений или же органолептически, в настоящее время представляет собой сложный комплекс, состоящий из множества технических устройств, предназначенных для измерений, средств вычислительной техники, программного обеспечения, устройств вывода информации и прочего.

Гидроэлектростанции не являются исключением. Контроль и оценка технического состояния оборудования ГЭС поводится с целью:

- повышения общего уровня безопасности при эксплуатации оборудования благодаря своевременному выявлению и устранению возникающих дефектов;
- определения возможности дальнейшей безопасной эксплуатации выработавшего срок службы оборудования, целесообразности проведения восстановления его элементов и конструктивных узлов;
- разработки рекомендаций по ремонту, обслуживанию и продолжению дальнейшей работы оборудования, имеющего дефекты, а также назначения и введения при необходимости специальных мер при эксплуатации, таких как дополнительные виды контроля, различные режимные ограничения, внеплановый ремонт и т.д.;
- обоснования проектов по модернизации оборудования в целом, его отдельных элементов и конструктивных узлов.

Известно, что большая часть гидроагрегата при работе находится во вращении. И хотя некоторые параметры вращающихся частей возможно получить (например биение вала, электрические параметры), большинство их механических характеристик недоступны для получения.

Проводная передача по понятным причинам невозможна, применение щеточно-контактных систем для фиксации точных характеристик неэффективно. Поэтому актуальна разработка устройства, позволяющего передать информацию с вращающихся частей гидроагрегата беспроводным способом.

**Объект исследования:** контроль технического состояния вращающихся частей гидроагрегата.

**Предмет исследования:** устройство, позволяющее передавать информацию с вращающихся частей гидроагрегата.

**Цель работы:** разработка устройства передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата.

**Основные задачи:**

1. изучение нормативной документации в сфере мониторинга оборудования ГЭС;
2. изучение практически применяемых систем мониторинга параметров гидроагрегатов ГЭС;
3. разработка программного обеспечения для устройства передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата;
4. конструирование прототипа устройства передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата;
5. разработка проекта проведения работ по опробованию устройства на оборудовании гидроэлектростанции.

**Методы исследования:** анализ, синтез, классификация, обобщение, системный подход, сравнение, опрос целевого персонала ГЭС.

**Научная новизна.** На настоящий момент передача сигналов с вращающихся частей не была ранее реализована.

**Практическая ценность:**

1. наличие более полной информации о состоянии гидроагрегата при эксплуатации;

2. приближение к реализации системы проведения ремонтов по техническому состоянию оборудования;
3. повышение надежности работы оборудования;
4. возможность более точной оценки качества ремонта вращающихся частей гидроагрегата;
5. накопление статистических данных о поведении вращающихся частей в различных режимах работы оборудования, о значениях параметров предельного состояния оборудования.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены:

- на VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке», Саяно-Шушенский филиал Сибирского Федерального университета (Саяногорск; Черемушки 12 мая 2020 г.);
- на VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов и школьников «Гидроэлектростанции в XXI веке», Саяно-Шушенский филиал Сибирского Федерального университета (Саяногорск; Черемушки 14-16 апреля 2021 г.);

**Публикации.** Основные положения и выводы изложены в двух публикациях в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень реализуемых научных изданий, определенных РИНЦ, ISBN.

## ABSTRACT

**Relevance.** The operation of any industrial facility cannot be imagined without regular monitoring and control of the parameters of the technical condition of the operating equipment, i.e. monitoring it. At the beginning of its historical development, the control of the operating parameters of devices based on primitive devices or organoleptically, is currently a complex consisting of many technical devices intended for measurements, computer technology, software, information output devices and others.

Hydroelectric power plants are no exception. Control and assessment of the technical condition of HPP equipment is carried out in order to:

- improving the overall level of safety during the operation of equipment due to the timely identification and elimination of emerging defects;
- determination of the possibility of further safe operation of the equipment that has exhausted its service life, the feasibility of restoring its elements and structural assemblies;
- development of recommendations for the repair, maintenance and continuation of further operation of equipment that has defects, as well as the appointment and introduction, if necessary, of special measures during operation, such as additional types of control, various operating restrictions, unscheduled repairs, etc .;
- substantiation of projects for the modernization of equipment as a whole, its individual elements and structural units.

It is known that most of the hydraulic unit is in rotation during operation. And although some parameters of rotating parts can be obtained (for example, shaft runout, electrical parameters), most of their mechanical characteristics are not available for obtaining.

For obvious reasons, wire transmission is impossible; the use of brush-contact systems for fixing precise characteristics is ineffective. Therefore, the development of

a device that allows transmitting information from rotating parts of a hydraulic unit wirelessly is relevant.

**Research object:** control of the technical condition of the rotating parts of the hydraulic unit.

**Subject of research:** a device that allows you to transmit information from the rotating parts of a hydraulic unit.

**Purpose of work:** development of a device for transmitting signals from rotating parts of a hydraulic unit.

**Main goals:**

1. study of regulatory documents in the field of monitoring of HPP equipment;
2. study of practically applied systems for monitoring the parameters of hydroelectric units of hydroelectric power plants;
3. Development of software for a device for transmitting signals from rotating parts of a hydraulic unit;
4. design of a prototype device for transmitting signals from rotating parts of a hydraulic unit;
5. Development of a project for testing the device on the equipment of a hydroelectric power plant.

**Research methods:** analysis, synthesis, classification, generalization, systematic approach, comparison, interviewing the target personnel of the HPP.

**Scientific novelty.** At the moment, signal transmission from rotating parts has not been previously implemented.

**Practical value:**

1. availability of more complete information about the state of the hydraulic unit during operation;
2. Approximation to the implementation of the system for carrying out repairs on the technical condition of equipment;
3. increasing the reliability of the equipment;
4. the possibility of a more accurate assessment of the quality of the repair of the rotating parts of the hydraulic unit;

5. accumulation of statistical data on the behavior of rotating parts in various modes of equipment operation, on the values of the parameters of the limiting state of the equipment.

**Approbation of work.** The main research results presented in the dissertation were presented:

- at the VII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Specialists, Postgraduates and Students "Hydroelectric Power Plants in the XXI Century", Sayano-Shushensky Branch of Siberian Federal University (Sayanogorsk; Cheryomushki May 12, 2020);

- at the VIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Specialists, Postgraduates and Students and Schoolchildren "Hydroelectric Power Plants in the XXI Century", Sayano-Shushensky Branch of the Siberian Federal University (Sayanogorsk; Cheryomushki April 14-16, 2021);

**Publications.** The main provisions and conclusions are set out in two publications in scientific journals and publications, which are included in the list of implemented scientific publications, determined by the RSCI, ISBN.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1    Общая часть.....	12
1.1    Контроль технического состояния оборудования на гидроэлектростанциях.....	12
1.2    Система мониторинга как одна из обязательных форм контроля технического состояния оборудования.....	20
1.3    Требования к измерительным средствам.....	23
2    Разработка устройства передачи сигналов с вращающихся частей гидроагрегата.....	26
2.1    Этапы разработки.....	26
2.1.1    Выбор способа передачи информации.....	26
2.1.2    Выбор комплектующих для построения прототипа устройства.....	28
2.1.2.1    Выбор приемопередатчика.....	28
2.1.2.2    Выбор внешней антенны для радиомодуля.....	33
2.1.2.3    Выбор микроконтроллера.....	34
2.1.2.4    Выбор источника питания.....	36
2.1.3    Выбор объекта для контроля.....	37
2.1.3.1    Ротор гидрогенератора.....	38
2.1.3.2    Выбор средства измерения.....	41
2.2    Сборка устройства.....	45
2.2.1    Электрические схемы.....	45
2.2.2    Интеграция средства измерения в схему передатчика.....	48
2.2.3    Проект расположения устройства.....	50
2.3    Режим работы устройства.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	56
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Стенд для калибровки датчика PES-106.....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Внешний вид приемника и передатчика.....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Мониторинг технического состояния (система проводимых на регулярной основе наблюдений за параметрами технического состояния оборудования, находящегося в работе) и контроль состояния оборудования (мероприятия, осуществляемые с целью получения данных об изменениях параметров и характеристик работы оборудования, его элементов и конструктивных узлов в процессе эксплуатации) являются необходимыми условиями безопасной и надежной работы любых объектов электроэнергетики, в том числе гидроэлектростанций.

С момента своего создания, система мониторинга непрерывно развивается, все больше параметров работы оборудования подвергается измерению и оценке. Любая система мониторинга включает в себя:

- устройства измерительной информации, осуществляющие сбор данных о технологических параметрах контролируемого оборудования в виде аналоговых, цифровых, частотных, число-импульсных сигналов и показаний приборов;
- устройства отображения полученной измерительной информации, предоставляющие значения параметров в удобном виде оператору-технологу;
- устройства для регистрации измерительной информации и ее архивирования;
- устройства технологической сигнализации, выдающие предупредительные и аварийные сигналы при возникновении каких-либо нарушений в технологическом процессе.

В данной работе описывается разработка устройства, позволяющего реализовать систему мониторинга частей оборудования, которые при его работе находятся во вращении, включающую все вышеперечисленные подсистемы.

Основной проблемой, которую решает предлагаемое устройство, является передача информации о состоянии отдельных узлов вращающихся частей при

установке приборов и датчиков непосредственно на них. В этом случае невозможно применить передачу показаний в системы сбора данных кабелем. Использование щеточно-контактных устройств, в виду возможности пропадания электрической цепи, для передачи аналоговых или дискретных сигналов неэффективно. Именно поэтому в настоящий момент контроль большого числа механических параметров вращающихся частей гидроагрегата не может быть реализован во время его работы.

Проблема может быть решена применением беспроводного способа получения данных, которым человечество пользуется в быту уже многие годы, а именно – передача информации высокочастотными радиоволнами, т.е. технологией WiFi или Bluetooth.

Описываемое в данной работе устройство может стать базой для создания полноценной системы мониторинга технического состояния многих узлов вращающихся частей гидроагрегатов ГЭС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Выбор параметров ГЭС: Учебно-методическое пособие к курсовому и дипломному проектированию гидротехнических объектов / сост. А. Ю. Александровский, Е. Ю. Затеева, Б. И. Силаев; СШФ КГТУ. – Саяногорск, 2005. 114 стр.
2. СТО 17330282.27.140.015-2008 Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.07.2008 - Москва: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008 – 183 с.
3. Правила устройства электроустановок / Главэнергонадзор России. 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 608 с.
4. Техническая политика ПАО «РусГидро» / РАО «ЕЭС России». – Москва, 2015.
5. Гидроэлектростанции: Учебное пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 541 с.
6. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – Введ. 01.01.2011. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
7. СТО 70238424.27.140.023-2010. Гидроэлектростанции. Мониторинг технического состояния основного оборудования. Нормы и требования. – Введ. 18.10.2010. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2010. – 42 с.
8. СТО 70238424.27.140.001-2011. Гидроэлектростанции. Методики оценки технического состояния основного оборудования. – Введ. 25.04.2011. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2011 – 399 с.
9. СТО 70238424.27.140.006-2008. Гидрогенераторы. Организация эксплуатации технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.09.2010. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2010 – 74 с.
10. СТО 70238424.27.140.009-2010. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС и ГАЭС. Организация

эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.09.2010. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2010 – 80 с.

11. СТО 70238424.27.140.010-2010. Автоматизированные системы управления технологическими процессами ГЭС И ГАЭС. Условия создания. Нормы и требования. – Введ. 30.09.2010. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2010 – 42 с.

12. СТО 70238424.27.140.015-2010. Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. – Введ. 30.09.2010. – Москва: НП «ИНВЕЛ», 2010 – 120 с.

13. Брызгалов В. И. Контроль за оборотной вибрацией как метод распознавания технического состояния ротора гидрогенератора / Брызгалов В. И., Ключах А. А. // Электрические станции. – 1997. - № 3.

14. К.С. Кравченко, И.О. Волкова, А.А. Ключах Разработка метода контроля радиального натяга между спицей и ободом ротора гидрогенератора // Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции / V Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке» (2018; 26.04 - 27.04; Саяногорск-Черемушки): Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2018. - С. 217-220. - ISBN 978-5-7638-3905-0.

15. Техническая спецификация радиомодуля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.datasheet-pdf.com/PDF/nRF24L01-Datasheet-Nordic-829184> (дата обращения 10.03.2021).

16. Техническая спецификация микроконтроллера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arduino-kid.ru/sites/default/files/2019-04/ATmega328p.pdf> (дата обращения 10.03.2021).

17. Мануал датчика PES-106 компании «VibroSistM» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://library.vibrosystem.com/en/Datasheets/9631-09D2A-103.pdf> (дата обращения 10.03.2021).

18. СТО 56947007-29.200.10.011-2008. Системы мониторинга силовых трансформаторов и автотрансформаторов. общие технические требования. – Введ. 18.04.2008. – Москва: ОАО «ФСК ЕЭС», 2008 – 20 с.

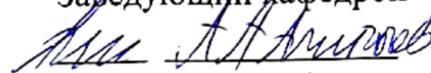
19. Приказ №229 Министерства Энергетики Российской Федерации. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – Введ. 19.06.2003. – Москва: 2003 – 150 с.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
САЯНО-ШУШЕНСКИЙ ФИЛИАЛ

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических  
систем и электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

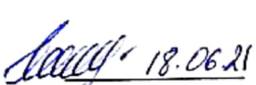
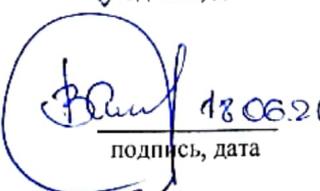
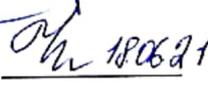
  
подпись    инициалы, фамилия  
« 18 »    июня 2021 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ  
С ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ГИДРОАГРЕГАТА**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Руководитель	 18.06.21 подпись, дата	ст. преподаватель кафедры ГГЭЭС СШФ СФУ должность	<u>А.А. Ключац</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 18.06.21 подпись, дата		<u>В.Ю. Астапов</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 18.06.21 подпись, дата	зам. начальника ЦЭТО СШФ АО «Гидроремонт-ВКК» должность	<u>В.С. Симавин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 18.06.21 подпись, дата		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2021