

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

Кафедра гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.А. Ачитаев
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВТУЛКИ
РАБОЧЕГО КОЛЕСА ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
13.04.02.06 – Гидроэлектростанции

Научный руководитель	_____	<u>Ст. преподаватель кафедры</u> <u>ГГЭС СШФ СФУ</u>	<u>А.М. Волошин</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В.В. Зайцев</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	<u>Инженер 1-ой категории</u> <u>Оперативной службы</u> <u>филиала ПАО «РусГидро» -</u> <u>«Саяно-Шушенская ГЭС имени</u> <u>П.С. Непорожного»</u>	<u>Ю.А. Мальцев</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____	<u>заведующий РИО</u>	<u>А.А. Чабанова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2021

АННОТАЦИЯ

При написании магистерской диссертации главной задачей являлась разработка системы выявления повреждений уплотнений рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины без осушения проточной части по средствам определения рода и количества жидкости, попавшей во втулку рабочего колеса. Рассмотрены вопросы расположения измерительной системы в труднодоступном узле – втулке рабочего колеса, передачи информационного сигнала из данного узла. Проведен сравнительный анализ способов, которые потенциально возможно использовать для определения рода и количества жидкости. Для выбранного способа приведено теоретическое обоснование, создан прототип и проведены испытания работоспособности. Разработан алгоритм и программное обеспечение для системы. Подобран оптимальный способ передачи сигнала, не оказывающий влияния на вибрационное состояние гидроагрегата, не снижающий его взрыво- и пожаро-защищённость.

Ключевые слова:

Турбина Каплана, экологически чистое рабочее колесо, косвенные измерения, контроль, герметичность, измерительная система, безаварийность, датчик давления, алгоритм.

АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Разработка системы контроля герметичности втулки рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины».

Цель работы

Разработка концепции системы контроля герметичности втулки рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины.

Задачи

- 1.) Создание прототипа измерительной системы контроля наличия протечек в полости рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины.
- 2.) Подбор способа передачи информационного сигнала из рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины.

Объект исследования

Нарушение герметичности рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины, вызванное повреждением лопастных уплотнений.

Предмет исследования

Возможность выявления повреждений уплотнения рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины без останова гидроагрегата и осушения проточной части.

Научная новизна

В настоящее время не существует технических устройств, позволяющих контролировать герметичность полости рабочего колеса и состояние уплотнений поворотно-лопастной гидротурбины без останова агрегата и осушения проточного тракта.

Практическая значимость работы

Результаты работы могут быть использованы в создании системы показателей технического состояния поворотно-лопастных турбин при внедрении вида организации ремонта оборудования по техническому состоянию. Также разработка и внедрение такой системы позволят обеспечить

соответствие требованиям п. 6.2.1.10 ГОСТ Р 55260.3.1-2013 вновь вводимого гидротурбинного оборудования.

Личный вклад автора

Разработка прототипа датчика, концепции системы контроля, алгоритма её действия, создание макета, проведение испытаний.

Апробация работы

Доклады о промежуточных результатах работы над диссертацией были представлены на VII и VIII Всероссийских научно-практических конференциях молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «Гидроэлектростанции в XXI веке».

Публикации

1. Анализ влияния упругости диафрагмы на точность измерений системы контроля герметичности втулки рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины // Гидроэлектростанции в XXI веке: сборник материалов VIII Всерос. науч.-практ. конф. / В. В. Зайцев. Саяногорск; Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2021. – 408 с.

2. Алгоритм контроля герметичности внутренней полости безмаслянного рабочего колеса // Гидроэлектростанции в XXI веке: сб. материалов заочного этапа VII Всерос. науч.-практ. конф. / А. М. Волошин, В. В. Зайцев. Саяногорск; Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2020. – 437 с.

3. Substantiation of the need for controlling vane seals of turbines with adjustable vanes // Гидроэлектростанции в XXI веке: сб. материалов заочного этапа VII Всерос. науч.-практ. конф. / V. V. Zaitsev. Саяногорск; Черемушки: Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2020. – 437 с.

4. Kaplan impeller tightness control software // Проспект Свободный - 2021 : сборник / V. V. Zaitsev. Красноярск: СФУ, 2021.

Структура и объём диссертации:

Диссертация состоит из введения, основной части, состоящей из 3 глав, заключения и списка использованных источников. Материал изложен на 49 страницах, содержит 15 иллюстраций, 5 таблиц, 9 формул. Список использованных источников состоит из 17 наименований.

ABSTRACT

Final qualification work on the topic "Development of a tightness control system for the impeller hub of a rotary vane hydraulic turbine."

Purpose of work

Development of the concept of a tightness control system for the impeller hub of a rotary vane hydraulic turbine.

Tasks

- 1.) Creation of a prototype of a measuring system for monitoring the presence of leaks in the impeller cavity of a Kaplan turbine.
- 2.) Selection of the method for transmitting the information signal from the impeller of the Kaplan hydraulic turbine.

Object of study

Loss of tightness of the impeller of a Kaplan hydraulic turbine caused by damage to the vane seals.

Subject of study

Possibility of detecting damage to the impeller seal of a rotary vane hydraulic turbine without shutting down the hydraulic unit and draining the flow path.

Scientific novelty

At present, there are no technical devices that allow monitoring the tightness of the impeller cavity and the condition of the seals of a rotary vane hydraulic turbine without stopping the unit and draining the flow path.

The practical significance of the work

The results of the work can be used to create a system of indicators of the technical condition of Kaplan turbines when introducing the type of organization of equipment repair according to the technical condition. In addition, the development and implementation of such a system will ensure compliance with the requirements of clause 6.2.1.10 of GOST R 55260.3.1-2013 of the newly introduced hydro turbine equipment.

Personal contribution of the author

Development of a sensor prototype, the concept of a control system, an algorithm for its operation, creation of a model, testing.

Approbation of work

Reports on the intermediate results of work on the dissertation were presented at the VII and VIII All-Russian scientific and practical conferences of young scientists, specialists, graduate students and students "Hydroelectric power plants in the XXI century."

Publications

1. Analysis of the influence of the elasticity of the diaphragm on the measurement accuracy of the tightness control system of the impeller hub of a rotary-blade hydraulic turbine. Hydroelectric power plants in the XXI century: collection of materials VIII All-Russian. Scientific-practical conf. / V.V. Zaitsev. Sayanogorsk; Cheryomushki: Sayano-Shushensky branch of Siberian Federal University, 2021. – 408 p.

2. Algorithm for monitoring the tightness of the internal cavity of an oil-free impeller // Hydroelectric power plants in the XXI century: collection of articles. materials of the extramural stage of the VII All-Russia. scientific-practical conf. / A. M. Voloshin, V. V. Zaitsev. Sayanogorsk; Cheryomushki: Sayano-Shushensky branch of Siberian Federal University, 2020. – 437 p.

3. Substantiation of the need for controlling vane seals of turbines with adjustable vanes // Hydroelectric power plants in the XXI century: collection of articles. materials of the extramural stage of the VII All-Russia. Scientific-practical conf. / V. V. Zaitsev. Sayanogorsk; Cheryomushki: Sayano-Shushensky branch of Siberian Federal University, 2020 . – 437 p.

4. Kaplan impeller tightness control software // Prospect Free - 2021: collection / V. V. Zaitsev. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2021.

The structure and scope of the thesis:

The dissertation consists of an introduction, a main part consisting of 3 chapters, a conclusion and a list of sources used. The material is presented on 49 pages, contains 15 illustrations, 5 tables, 9 formulas. The list of sources used consists of 17 items.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1 Общие сведения.....	13
1.1 История создания и развития поворотного-лопастных гидротурбин.....	14
1.2 Конструкции поворотного-лопастных гидротурбин	16
2 Методика контроля	22
2.1 Анализ возможных методов контроля.....	22
2.2 Предлагаемый алгоритм контроля	27
3 Описание предлагаемой системы контроля герметичности.....	29
3.1 Программное обеспечение измерительной системы	29
3.2 Сборка модельного стенда, снятие характеристик.....	29
3.3 Анализ влияния диафрагмы на результаты измерений	34
3.4 Способ передачи сигнала	35
3.5 SWOT-анализ, оценка рисков	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Скetch программы контроля герметичности	41
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Скриншот монитора порта.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Скetch программы передачи сигнала.....	46
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Скetch программы приёма сигнала	48

ВВЕДЕНИЕ

Гидроэлектростанции, в силу особенностей конструкции основного оборудования и принципов работы, являются высокоэффективными и высокоманевренными энергетическими установками. Отсутствие в производственном цикле продуктов горения органического топлива и радиоактивных отходов позволяет считать ГЭС одним из самых экологичных традиционных типов электростанций. Однако ГЭС, также, как и другие типы электростанций должны обеспечивать экологическую безопасность, основанную на строгом соблюдении нормативных требований техническому состоянию оборудования и его эксплуатации. Одним из немногих факторов влияния гидравлических электростанций на экологию является использование в оборудовании нефтяных масел и опасность их утечки. Значительный вред экологии реки могут нанести гидротурбины поворотного-лопастного типа. Турбины этого типа могут содержать во втулке рабочего колеса несколько тонн масла. Количество поворотных гидротурбин составляет не менее 15% в общем объеме установленного гидротурбинного оборудования.

Зачастую утечки масла происходят из полости рабочего колеса гидротурбин поворотного-лопастного типа через уплотнения цапф лопастей – до 5% аварийных остановов гидроагрегатов происходят по причине повреждения уплотнительных устройств [1, стр. 4]. В настоящее время состояние уплотнений рабочего колеса контролируется во время проведения ремонтов, при осушенной проточной части, или же по косвенным признакам: появлению масляных пятен на воде в нижнем бьефе, изменению уровня масла и появление воды в сливном баке МНУ, изменение температуры масла в системе регулирования, и др. Создание и внедрение системы контроля состояния уплотнений РК позволит своевременно выявлять их повреждения и предотвращать утечки масла, попадание воды во втулку рабочего колеса.

На настоящий момент не существует системы контроля герметичности втулки рабочего колеса поворотной гидротурбины, которая позволила

бы без осушения проточной части гидроагрегата с достаточной точностью оценить герметичность втулки, зависящей от состояния уплотнительных устройств. Разработка и внедрение такой системы позволит обеспечить соответствие требованиям п. 6.2.1.10 ГОСТ Р 55260.3.1-2013 вновь вводимого и эксплуатируемого гидротурбинного оборудования. В процессе написания магистерской диссертации был проведён патентный поиск соответствующих теме работы патентов на изобретения и полезные модели. В открытых реестрах изобретений и полезных моделей Международной патентной классификации, по средствам портала ФИПС [2], в разделах G01 «Измерения, испытания», F03B «Гидравлические машины и двигатели непоршневого типа» не было обнаружено патентов на подобные технические устройства.

В работе рассмотрено несколько способов контроля герметичности втулки РК, каждый из которых основывался на различии в физических свойствах веществ, которые могут попасть внутрь втулки РК, а именно: мера рассеяния света, диэлектрическая проницаемость, плотность. Оценены эффективность и надёжность каждого из рассматриваемых методов, выбран оптимальный.

Предлагаемая системы контроля герметичности втулки рабочего колеса поворотно-лопастной гидротурбины основывается на измерении высоты столба жидкости, попавшей во втулку РК и его гидростатического давления. На основании измеренных величин вычисляется уровень каждой жидкости, попавшей во втулку РК. Информационный сигнал передаётся по валу турбины с помощью ультразвукового излучателя.

Данная система позволит не только оценить герметичность втулки РК, но и при разгерметизации определить, какая жидкость и в каком количестве попала в РК, динамику изменения её уровня и пропорций её составляющих.

Магистерская диссертация состоит из введения, трёх глав и заключения.

В первой главе освещаются общие вопросы, посвящённые гидравлическим турбинам, история развития и конструкции поворотно-лопастных гидротурбин.

Во второй главе описывается предлагаемый алгоритм контроля герметичности втулки РК.

В третьей главе приводится подробное описание этапов создания прототипа измерительной системы, результатов его испытаний.

Заключение посвящено основным выводам и перечислению результатов выполненной работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зубков И.А. Уплотнения в гидротурбинах. - Л.: Машиностроение, 1972. - 104 с.
2. Официальный сайт ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности». [Электронный ресурс]: Открытые реестры изобретений и полезных моделей. – Режим доступа: <https://new.fips.ru/registers-web/>
3. Гидроэлектростанции: учебное пособие / В.И. Брызгалов, Л.А. Гордон. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. – 541 с.
4. Официальный сайт Международной организации гидроэнергетики. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.hydropower.org/>
5. Поворотно-лопастная гидравлическая турбина // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Советская энциклопедия, 1969 – 1978.
6. Garlock. Leaders in sealing integrity. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.garlock.com/en>
7. Потери масла в поворотных гидротурбинах: отчет о НИР / Ковалев Н.Н. – Ленинград: Ленинградский металлический завод, бюро водяных турбин, 1958. –16с.
8. РусАвтоматизация. [Электронный ресурс]: Магнитострикционные уровнемеры. – Режим доступа: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/magnitostrikcionnye
9. Одномерные матрицы фотодиодов [Электронный ресурс]: Фотодиодная линейка А2V-16 // Азимут Фотоникс – оптоэлектронные компоненты. – Режим доступа: <http://www.azimp.ru/catalogue/multielement+photodiodes/459/>
10. РадиоПрог. [Электронный ресурс]: Взаимодействие BMP180, датчика атмосферного давления и температуры, с Arduino. – Режим доступа: <https://radioprogram.ru/post/796>

11. Амперка. [Электронный ресурс]: I²C хаб (Тройка-модуль). – Режим доступа: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:troyka-i2c-hub>
12. Библиотека нормативной документации. [Электронный ресурс]: Типовые технические требования к гидротурбинному оборудованию, поставляемому заводами-изготовителями на ГЭС. РД 153-34.2-31.401-2002. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41758/index.htm>
13. Полежаева А.И. Предложения по автоматизации системы контроля на наличие протечек в корпусе поворотно-лопастного рабочего колеса // Научный форум: Технические и физико-математические науки: сб. ст. по материалам XXIX междунар. науч.-практ. конф. – № 10 (29). – М.: Изд. «МЦНО», 2019. - С. 25-28.
14. Иванченко И.П., Пуцын Н.В., Мулин И.Б. Конструктивно-обусловленные нормы протечек турбинного масла в проточный тракт гидроагрегатов ГЭС // Научно-технический и производственный сборник «Безопасность энергетических сооружений» – № 2 (20). – М.: Изд-во Научно-исследовательский институт энергетических сооружений, 2015. - С. 3-8.
15. Демьянов В.А. Расчетно-экспериментальное обоснование конструкции экологичных поворотно-лопастных гидротурбин: автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.04.13 – Санкт-Петербург, 2013. - 26 с.: ил.
16. Квятковский В.С. Рабочий процесс осевой гидротурбины. Труды ВИГМ, Ч. I и II. – Машгиз, 1951, - 155с.
17. Ковалев Н.Н. Гидротурбины. - Л.: Машиностроение, 1971. – 583 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

 А.А. Ачитаев
подпись инициалы, фамилия


« 21 » июня 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ


**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ВТУЛКИ
РАБОЧЕГО КОЛЕСА ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

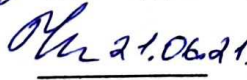
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель 21.06.21  Ст. преподаватель кафедры
подпись, дата должность, ученая степень А.М. Волошин
инициалы, фамилия

Выпускник ~~21.06.21~~ 21.06.21
подпись, дата В.В. Зайцев
инициалы, фамилия

Рецензент  21.06.21
подпись, дата Инженер 1-ой категории
Оперативной службы
филиала ПАО «РусГидро» -
«Саяно-Шушенская ГЭС имени
П.С. Непорожного» Ю.А. Мальцев
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Нормоконтролер  21.06.21
подпись, дата заведующий РИО А.А. Чабанова
должность, ученая степень инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2021