

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»
Саяно-Шушенский филиал СФУ
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанции, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ А.А. Ачитаев
« ____ » _____ 2022г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ
ОБОРУДОВАНИЕМ ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА
ПРИМЕРЕ БЛОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ САЯНО-
ШУШЕНСКОЙ ГЭС**

тема

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

код и наименование направления

13.04.02.06 – Гидроэлектростанции

код и наименование магистерской программы

Руководитель	_____	Начальник ОС Филиала ПАО «РусГидро» «Саяно –Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»	<u>И.Ю. Погоняйченко</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Н.С. Данилова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Ведущий инженер СМО Филиала ПАО «РусГидро» «Саяно –Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»	<u>А.Е. Беззубенко</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>К.П. Синельникова</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2022

АННОТАЦИЯ

К магистерской диссертации Даниловой Натальи Сергеевны, студента 2 курса магистратуры Саяно-Шушенского филиала Сибирского федерального университета на тему «Риск-ориентированный подход к управлению оборудованием объекта электроэнергетики на примере Саяно-Шушенской ГЭС».

В процессе выполнения работы обоснована и раскрыта актуальность исследования по выбранному направлению, указывается его значимость, рассмотрены основные стратегии управления оборудованием объекта электроэнергетики, их особенности, достоинства и недостатки, а также история их развития. Определены условия перехода к стратегии управления на основе оценки риска отказа узлов оборудования. Показаны направления развития энергетических компаний, которые способствуют переходу к риск-ориентированному подходу управления оборудованием объекта электроэнергетики.

В работе были разработаны модели представления параметров контроля эксплуатационного состояния оборудования в виде нечетких множеств, адаптированных под главные трансформаторы СШ ГЭС ОРЦ-533000/500-У1. Параметры функциональных узлов выбраны с учётом возможности их определения в режиме реального времени.

Рассчитаны значения приоритетности риска RPN для ОРЦ-533000/500-У1 в зависимости от различных условий, возникающих в процессе его эксплуатации, тем самым продемонстрирована наглядность и доказана обоснованность использования данного показателя при принятии решения о типе воздействия на оборудование.

Ключевые слова: риск, риск-ориентированный, оборудование, обслуживание, энергия, объект электроэнергетики, техническое состояние, стратегия обслуживания, отказ, индекс технического состояния, техническое обслуживание, ремонт, система, установка, трансформатор, метод.

АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации на тему «Риск-ориентированный подход к управлению оборудованием объекта электроэнергетики на примере Саяно-Шушенской ГЭС» включает в себя 65 страниц, состоит из аннотации, автореферата, введения, 8 иллюстраций, 23 таблиц, из которых 2 таблицы приведены в приложениях, списка использованных источников из 14 наименований.

Актуальность:

Организация системы управления оборудованием является одной из важнейших задач управления любым предприятием. Организация системы управления оборудованием объекта электроэнергетики включает в себя выбор стратегии ремонтов и технического обслуживания оборудования.

Ремонт и техническое обслуживание предусматривает выполнение комплекса работ, направленных на обеспечение исправного состояния оборудования, надежной, безопасной и экономичной его эксплуатации, проводимых с определенной периодичностью и последовательностью, при оптимальных финансовых, трудовых и материальных затратах.

Для современных предприятий стоит задача снижения затрат на обслуживание оборудования, а также уменьшения обслуживающего персонала, без увеличения аварийности оборудования. В связи с чем, необходимо безошибочное определение того, что и когда следует ремонтировать и обслуживать. А значит обеспечивать правильное распоряжение бюджетом.

Для совершенствования системы управления оборудованием объекта электроэнергетики, а также для снижения затрат предлагается рассмотреть применение риск-ориентированного подхода.

Целью: является разработка принципов риск-ориентированного подхода к управлению трансформаторами Саяно-Шушенской ГЭС ОРЦ-533000/500; разработка моделей описания параметров технического состояния трансформатора, которые определены с учётом возможностей существующей на

данной станции системы мониторинга и диагностики; определение риска отказа для трансформаторов Саяно-Шушенской ГЭС ОРЦ-533000/500.

Задачи, решаемые в ходе выполнения работы:

- Изучение и анализ существующих подходов к управлению оборудованием электроэнергетики;
- Рассмотрение условий перехода к риск-ориентированному подходу управления оборудованием объекта электроэнергетики;
- Рассмотрение примеров применения риск-ориентированного подхода в различных сферах деятельности;
- Описание методики определения риска отказа для трансформаторов Саяно-Шушенской ГЭС;
- Наглядное представление обоснованности функционирования риск-ориентированного подхода управления для трансформаторов Саяно-Шушенской ГЭС.

Научная новизна и прикладная польза проводимого исследования: предложен способ перехода к риск-ориентированному подходу управления трансформаторами Саяно-Шушенской ГЭС ОРЦ 533000/500 У1. Данный подход позволяет определить целевое воздействия на оборудование на основе оценки риска отказа его функциональных узлов с учетом их значимости, что позволит сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт, продлить сроки эксплуатации оборудования, а также снизить количество его отказов.

Объектом исследования при написании работы послужили: трансформаторы Саяно-Шушенской ГЭС.

Предмет исследования: подходы к управлению оборудованием объектов электроэнергетики.

Методы исследования:

- Сбор и изучение информации разнообразных источников, стандартов;
- Анализ;

- Индукция;
- Математическое моделирование.

Апробация результатов работы:

Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, были представлены:

- на XVII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы – 2021»;
- на VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов, студентов и школьников «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ» (Саяногорск; Черемушки, 2021 г.).

Публикации: основные положения и выводы изложены в 2 публикациях в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень реализуемых научных изданий, определенных РИНЦ, ISBN.

Структура и объем диссертации:

В магистерскую диссертацию входят: введение, шесть глав и заключение.

Во введении указывается значимость исследования, обоснована и раскрыта его актуальность.

Первая глава посвящена современным подходам к управлению оборудованием объекта электроэнергетики, их достоинствам и недостаткам.

Во второй главе обозначены условия перехода к риск-ориентированному подходу управления оборудованием объекта электроэнергетики.

В третьей главе рассмотрены основные принципы, методика определения риска отказа трансформатора. Приведен общий принцип оценки эксплуатационного состояния оборудования. Разработаны модели описания параметров технического состояния трансформатора в виде нечетких множеств, которые определены с учётом возможностей существующей на Саяно-Шушенской ГЭС системы мониторинга и диагностики. Также приведена модель реализованная в программном комплексе MatLab, позволяющая выполнить оценку текущего эксплуатационного состояния трансформатора.

В четвертой главе выполнено определение причин возможных функциональных отказов трансформатора, что необходимо для более правильного принятия решения при определении типа воздействия на оборудование.

В пятой главе приведен вариант одного из способов принятия решения о виде типа воздействия на функциональный узел.

В шестой главе рассчитаны значения приоритетности риска для некоторых функциональных узлов трансформатора Саяно- Шушенской ГЭС (СШГЭС) в зависимости от различных условий, возникающих в процессе эксплуатации, доказана обоснованность применения данного показателя и продемонстрирована его наглядность.

Заключение посвящено основным выводам, преимуществам и недостаткам внедрения системы определения значения приоритетности риска для функциональных узлов трансформатора в режиме реального времени.

Ключевые слова: риск, риск-ориентированный, оборудование, обслуживание, энергия, объект электроэнергетики, техническое состояние, стратегия обслуживания, отказ, индекс технического состояния, техническое обслуживание, ремонт, система, установка, трансформатор, метод.

ABSTRACT

The final qualifying work in the form of a master's thesis on the topic "Risk-based approach to determining the significance of an electric power facility on the territory of the Sayano-Shushenskaya HPP" includes 65 pages made up of annotations, an abstract, recommendations, 8 illustrations, 22 tables, of which 2 tables find in the appendices a list of used sources from 14 items.

Relevance:

The organization of the management system is one of the tasks of managing a public enterprise. The organization of the control system includes the choice of maintenance and repair of equipment.

Maintenance and repair ensure the implementation of a set of works aimed at ensuring the good condition of the equipment, its reliable, uninterrupted and economical operation, carried out with the achievement of periodicity and consistency, at optimal financial, labor and material costs.

Modern enterprises require the cost of equipment maintenance, as well as personnel maintenance, without increasing the equipment failure rate. In this connection, an unmistakable definition of what and when should be repaired and serviced is necessary. This means proper budgeting.

For the case with the use of a control system for the main objects of the electric power industry, as well as to eliminate possible consequences, the use of a risk-based approach should be considered.

Purpose: risk-based approach to managing transformers at the Sayano-Shushenskaya HPP ORC-533000/500; development of models of parameters, description of the technical condition of the transformer, which need to take into account the functions associated with this station of the monitoring and diagnostic system; determination of the risk of failure for transformers of the Sayano-Shushenskaya HPP ORC-533000/500.

Tasks to be solved in the course of work:

- Study and analysis of regular approaches to the management of the electric power industry;
- exclusion of conditions for the transition to a risk-based approach to the management of an electric power facility;
- application of examples of the application of a risk-based approach to various types of activities;
- Description of the methodology for determining the risk of failure for the transformers of the Sayano-Shushenskaya HPP;
- Visual substantiation of the function of risk-oriented control of transformers at the Sayano-Shushenskaya HPP.

Scientific novelty and applied benefit of the research: a method of transition to a risk-based approach to the control of transformers of the Sayano-Shushenskaya HPP ORC 533000/500 U1 is proposed. This approach allows you to determine the target impact on equipment based on the risk assessment of its failure from functional units, taking into account their perception, which allows you to reduce maintenance and repair costs, extend the life of the equipment, and reduce the number of its failures.

The object of study when writing the work were: transformers of the Sayano-Shushenskaya HPP.

Subject of study: approaches to the management of the main objects of the electric power industry.

Research methods:

- Collection and definition of final results, options;
- Analysis;
- Induction;
- Math modeling.

Approbation of the results of the work:

The main research results presented in the dissertation were presented:

- at the XVII International Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists “Prospect Svobodny – 2021”;

- at the VIII All-Russian scientific and practical conference of young scientists, specialists, graduate students, students and schoolchildren of HYDROPOWER PLANTS IN THE XXI CENTURY (Sayanogorsk; Cheryomushki, 2021).

Publications: the main provisions and conclusions are set out in 2 publications in scientific journals and publications, which are included in the list of scientific publications being implemented, determined by the RSCI, ISBN.

The structure and scope of the dissertation:

The master's thesis includes: introduction, six chapters and conclusion.

The introduction reveals the relevance of the research in the chosen direction, indicates its significance.

The first chapter is devoted to modern approaches to managing the equipment of an electric power facility, their advantages and disadvantages.

The second chapter outlines the conditions for the transition to a risk-based approach to managing the equipment of an electric power facility.

The third chapter discusses the basic principles, the methodology for determining the risk of transformer failure. The general principle of assessing the operational state of equipment is given. Models have been developed for describing the parameters of the technical condition of the transformer in the form of fuzzy sets, which are defined taking into account the capabilities of the monitoring and diagnostic system existing at the Sayano-Shushenskaya HPP. Also, a model implemented in the MatLab software package is presented, which makes it possible to assess the current operational state of the transformer.

In the fourth chapter, the causes of possible functional failures of the transformer are determined, which is necessary for a more correct decision-making when determining the type of impact on the equipment.

In the fifth chapter, a variant of one of the methods for deciding on the type of impact on a functional unit is given.

In the sixth chapter, risk priority values are calculated for some functional units of the transformer of the Sayano-Shushenskaya HPP (SSHPP), depending on various

conditions that arise during operation, the validity of using this indicator is proved and its clarity is demonstrated.

The conclusion is devoted to the main conclusions, advantages and disadvantages of implementing a system for determining the real-time value of risk priority.

Key words: risk, risk-oriented, equipment, maintenance, energy, electric power facility, technical condition, maintenance strategy, failure, technical condition index, maintenance, repair, system, installation, transformer, method.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
1 Подходы к управлению оборудованием объекта электроэнергетики	13
1.1 Эксплуатация до отказа (RTF – Run to Failure	13
1.2 Обслуживание по регламенту, планово-предупредительный ремонт (TBM - Time-Based Maintenance)	14
1.3 Обслуживание по состоянию (CBM - Condition-Based Maintenance).....	16
1.4 Надежно-ориентированное техническое обслуживание (RCM - Reliability-Centered Maintenance)	17
1.5 Обслуживание на основе оценки риска (RBM - Risk-Based Maintenance)..	20
2 Переход к обслуживанию на основе оценки риска	23
3 Определение уровня риска функциональных узлов трансформатора.....	26
3.1 Вероятность отказа функциональных узлов трансформатора	26
3.1.1 Определение текущей оценки технического состояния функциональных узлов трансформатора.....	27
3.2 Тяжесть последствий отказа функциональных узлов	40
3.3 Вероятность, что отказ не будет выявлен до проявления его последствий	46
4 Определение причин каждого функционального отказа	51
5 Определение типа воздействия на функциональный узел.....	52
6 Расчёт значений RPN трансформатора СШГЭС в зависимости от различных условий, возникающих в процессе его эксплуатации	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А Функции принадлежности параметров технического состояния трансформатора.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Причины отказов узлов и систем силового	
трансформатора	63

ВВЕДЕНИЕ

Поддержание на заданном уровне эксплуатационного состояния оборудования при оптимальных трудовых и материальных затратах является одной из приоритетных целей системы управления активами объекта электроэнергетики.

С этой целью современные предприятия должны решить ряд задач, позволяющих уменьшить затраты на техническое обслуживание оборудования, без увеличения количества отказов и без уменьшения сроков эксплуатации оборудования, т.е. обеспечивать правильное распоряжение бюджетом

Для совершенствования системы управления оборудованием объектов электроэнергетики в России идет постепенное внедрение риск-ориентированного подхода. Особенностью данного вида обслуживания является использование в анализе дополнительного параметра – вероятности отказов оборудования. Совместное рассмотрение степени важности оборудования и вероятности его отказа позволяет выявить уровень риска.

В данной работе представлен обзор различных подходов управления оборудованием объекта электроэнергетики, сформировавшихся в истории развития электроэнергетики, их особенности, достоинства и недостатки. Приведены конкретные примеры энергопредприятий, стремящихся осуществить переход к риск-ориентированному подходу к управлению оборудованием. Рассмотрен способ определения уровня риска на основе применения теории нечетких множеств, позволяющей выполнить оценку эксплуатационного состояния трансформаторов СШГЭС с учетом имеющейся на станции системы мониторинга.

1 Подходы к управлению оборудованием объекта электроэнергетики

Организация системы управления оборудованием объекта электроэнергетики включает в себя выбор стратегии и определение методологии.

В соответствии с ГОСТ Р 27.002-2009 стратегия технического обслуживания - это общий подход к обеспечению технического обслуживания и его поддержки, основанный на целях и политике владельцев, пользователей и клиентов [1].

В настоящее время имеются следующие подходы к управлению оборудованием объектов электроэнергетики :

- RTF (Run-to-Failure) - эксплуатация до отказа;
- TBM (Time-Based Maintenance) - обслуживание по регламенту, планово-предупредительный ремонт, ППР;
- CBM (Condition-Based Maintenance) - обслуживание по состоянию;
- RCM (Reliability-Centered Maintenance) - надежно-ориентированное техническое обслуживание;
- RBM (Risk-Based Maintenance) – риск-ориентированное техническое обслуживание.

1.1 Эксплуатация до отказа (RTF – Run to Failure)

Первой в истории развития подходов к управлению оборудованием электроэнергетики является стратегия эксплуатации до отказа (RTF – Run to Failure). Данная стратегия является наименее строгой к степени организации труда. Эксплуатация до отказа предполагает выполнение работ по ремонтам и техническому обслуживанию оборудования после достижения предельного состояния, что означает отсутствие выполнения установленных функций, а значит потерю работоспособности. Данный подход присущ для 20-30-х годов

прошлого века. Уровень механизации промышленности была относительно не высокой. Вследствие этого отказы машин и их простои были не слишком важны для предприятий. При этом оборудование было простым, и достаточно легко поддавалось ремонту.

Достоинства и недостатки стратегии эксплуатации до отказа приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Достоинства и недостатки стратегии эксплуатации до отказа

Достоинства	Недостатки
1. Длительный межремонтный период; 2. Низкие затраты на содержание ремонтной службы	1. Отсутствие возможности планирования ресурсов (финансовых, временных и др.), необходимых для выполнения ТОиР; 2. Большая продолжительность ТОиР; 3. Высокие затраты на устранение аварий.

Рассматриваемая стратегия может успешно применяться в настоящее время несмотря на имеющиеся недостатки для оборудования, имеющего невысокую стоимость, отказ которого не приводит к нарушению нормального технологического процесса, а также к возникновению угрозы для жизни и здоровья людей, окружающей среды.

Для применения стратегии эксплуатации до отказа необходимо предварительно осуществлять сопоставление затрат на замену оборудования, эксплуатируемого до отказа, с альтернативными расходами при выборе другого типа технического обслуживания.

1.2 Обслуживание по регламенту, планово-предупредительный ремонт (ТВМ - Time-Based Maintenance)

Данный подход к управлению оборудованием объекта электроэнергетики начал применяться в 50-60-х XX века. Это обусловлено увеличением количества

механизмов и машин промышленных предприятий, повышением сложности самого оборудования, а также необходимостью продления срока службы оборудования, имеющего высокую стоимость. В следствие этого, применение стратегии эксплуатации до отказа оказалось нецелесообразным, т.к. привело к возникновению значительных потерь в результате отказов оборудования.

Достоинства и недостатки стратегии обслуживания по регламенту приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Достоинства и недостатки стратегии обслуживания по регламенту

Достоинства	Недостатки
1. Снижение количества аварийных отказов; 2. Возможность контроля продолжительности межремонтных периодов работы оборудования; 3. Регулирование продолжительности простоя оборудования в ремонте; 4. Прогнозирование затрат на ремонт оборудования, его узлов и механизмов; 5. Анализ причин отказов оборудования.	1. Недостаток средств планирования ремонтных работ; 2. Сложность расчета трудозатрат; 3. Сложность оперативной корректировки планируемых ремонтов; 4. Проведение ремонтов оборудования, являющегося исправным; 5. Принудительная замена узлов и деталей вне зависимости от их остаточного ресурса.

В соответствии с Положением о планово-предупредительном ремонте оборудования электростанций и подстанций планово-предупредительный ремонт оборудования электростанций и подстанций - это комплекс работ, направленных на доведение технических показателей оборудования до проектных и расчетных значений путем ремонта и замены отдельных деталей и узлов и обеспечивающих длительную, надежную и экономичную работу оборудования [2].

Обслуживание по регламенту или планово-предупредительный ремонт(ППР) предполагает осуществление профилактических осмотров и ремонтов оборудования до наступления отказа, что приводит к улучшению технического состояние оборудования и снижению вероятности возникновения

отказа. Периодичность и длительность мероприятий по обслуживанию оборудования зависят от конструкции оборудования и условий его эксплуатации.

В рамках данного подхода количество и объемы проводимых работ в сравнении со стратегией эксплуатации до отказа повышаются, что приводит к увеличению затрат, а значит появляется необходимость осуществления мониторинга и управления обслуживанием оборудования. В следствие чего, появляются системы планирования ремонтов и технического обслуживания, в том числе первые инструменты автоматизации процессов формирования планов-графиков.

В настоящее время стратегия ППР продолжает применяться на различных предприятиях, в первую очередь, для оборудования, отказ которого может привести к нарушению нормального технологического процесса и возникновению опасности для окружающей среды, здоровья и жизни человека. Однако этот подход считается недостаточно эффективным для организации системы ТОиР оборудования.

1.3 Обслуживание по состоянию (CBM - Condition-Based Maintenance)

Стратегия технического обслуживания по состоянию характерна для 70-80-х годов XX века. Данный подход предполагает планирование обслуживания и ремонтов на основе фактического технического состояния оборудования, которое определяется при помощи технических средств диагностики, мониторинга и прогнозирования состояния электрооборудования.

Достоинства и недостатки стратегии обслуживания по состоянию приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Достоинства и недостатки стратегии обслуживания по состоянию

Достоинства	Недостатки
<ol style="list-style-type: none"> 1. Уменьшение затрат на ремонт и техническое обслуживание; 2. Увеличение времени работы дорогостоящего оборудования; 3. Уменьшение количества отказов; 4. Уменьшение количества простоев оборудования; 5. Высокая безопасности для людей и окружающей среды. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствует единая отраслевая методология расчета индекса технического состояния отдельных групп оборудования и объектов электроэнергетики в целом исходя из реальных данных о располагаемых активах и интенсивности их эксплуатации; 2. Системы мониторинга технического состояния основного оборудования в большинстве генерирующих компаниях не позволяют применять вид ремонта по техническому состоянию; 3. Отсутствует системная оценка и прогноз технического состояния производственного оборудования на основе данных мониторинга, статистики дефектов и отказов с целью прогнозирования уровня износа оборудования и вероятности наступления отказов

1.4 Надежно-ориентированное техническое обслуживание (RCM - Reliability-Centered Maintenance)

RCM - методика, позволяющая найти и принять меры, требуемые для того, чтобы все производственные системы и входящие в них компоненты могли безотказно функционировать в рамках производственного процесса.

В соответствии с ГОСТ Р 27.002-2009 «Надежность в технике. Термины и определения» целями RCM являются:

1. поддержание функционирования изделия с требуемыми показателями надежности в заданных условиях эксплуатации;

2. получение информации, необходимой для совершенствования конструкции изделия или введения дополнительного резервирования тех его составных частей, выявленный уровень безотказности которых оказался недостаточным;

3. достижение указанных целей при минимальной суммарной стоимости жизненного цикла, включающей в себя затраты на ТО и ущерб от остаточных неисправностей;

4. получение информации, необходимой для пересмотра и совершенствования текущей программы ТО по сравнению с первоначально установленной посредством оценки эффективности достижения ранее установленных задач ТО. Важную роль в доработках программы играет мониторинг технического состояния критичных с точки зрения безопасности или дорогостоящих составных частей [1].

Отличительным свойством RCM является то, что принципы обслуживания оборудования должны определяться не только лишь параметрами и природой, но и последствиями отказа. Стратегия обслуживания, ориентированного на надёжность, включает в себя определение и применение совокупности мер, позволяющих любой производственной системе и ее составляющим выполнять свои функции в определенных эксплуатационных условиях.

Выбор наиболее подходящего для определенного узла типа воздействия можно осуществлять, используя диаграмму принятия решений, которая приведена на рисунке 1.1.

Диаграмма принятия решений позволяет систематизировать последствия отказов разных видов, что дает возможность выявить наиболее эффективные меры по предупреждению этих отказов, а также уменьшить негативные последствия при помощи выполнения определенных операций в рамках технического обслуживания. В результате чего создается перечень задач, в котором указана периодичность их выполнения. Подходящей задачей считается, такая которая будет являться наиболее эффективной, т.е. обеспечит

предотвращение последствий отказа при оптимальных затратах, и при этом будет технически осуществимой [1].



Рисунок 1.1 – Диаграмма принятия решений

Достоинства и недостатки надежно-ориентированного технического обслуживания приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Достоинства и недостатки надежно-ориентированного технического обслуживания

Достоинства	Недостатки
<p>1. Высокая надежность выполнения функций системой вследствие осуществления более эффективных операций ТО;</p> <p>2. Более эффективное планирование бюджета, в следствие чего происходит снижение затрат на техническое обслуживание;</p> <p>3. Формирование и выпуск полностью документированной аудиторской отчетности;</p> <p>4. Возможность использования системы управления отказами;</p> <p>5. Менеджеры, отвечающие за систему технического обслуживания, получают средство управления, позволяющее осуществлять управление и требуемый контроль.</p>	<p>1. Высокий уровень зависимости от качества входной информации;</p> <p>2. Необходимость высокой квалификации персонала.</p>

Окончание таблицы 1.4

Достоинства	Недостатки
6. Понятное представление для персонала задач, целей и причин, выполняемых сотрудниками работ по техническому обслуживанию.	

1.5 Обслуживание на основе оценки риска (RBM - Risk-Based Maintenance)

Риск-ориентированная стратегия (RBM) - представляет собой методологию, позволяющую на основе значения риска в зависимости от прогнозируемых последствий и их значимости для производства определить техническое воздействие на производственные активы для того, чтобы все производственные системы и входящие в них компоненты могли безотказно функционировать в рамках производственного процесса.

Особенностью данного вида обслуживания является использование в анализе дополнительного параметра – вероятности отказов оборудования. Вероятность отказа является функцией технического состояния. Оценка технического состояния основного технологического оборудования представляет собой процесс определения интегрального показателя технического состояния (индекса технического состояния).

Индексом технического состояния является количественная оценка технического состояния оборудования или объекта электроэнергетики, которая определяется на основании фактических данных [3].

Определение уровня риска осуществляется путем совместного рассмотрения вероятности его отказа, которая может быть найдена экспертным методом или на основании данных имеющейся статистики отказов, и степени важности оборудования. Величина риска позволяет определить оптимальные сроки и объемы ТОиР оборудования, а также ранжировать в порядке

приоритетности их выполнения. Ранжированный список узлов позволяет направить необходимые ресурсы на выполнение работ именно на тех узлах оборудования, которые находятся в верхней части списка и характеризуются наивысшим значением приоритетности.

Риск-ориентированный подход предполагает:

- определение вероятности и последствий отказа оборудования;
- получение количественной оценки риска отказа каждой обслуживаемой единицы оборудования;
- ранжирование списка оборудования по величине риска отказа, определение зоны высокого, среднего и низкого риска;
- приоритизация – определение приоритетности технических воздействий на оборудование, с планированием активных воздействий на оборудование в зоне высокого и среднего риска, в то время как в зоне низкого риска эти меры сводятся к минимуму;
- дополнительная работа с верхней частью ранжированного списка: совершенствование программ ТОиР на основе анализа причин отказов, выявления первопричин с целью снижения вероятности отказа и совокупного риска.

Планирование мероприятий ремонтов и технического обслуживания на основании риск-ориентированного подхода позволяет обосновать выбор мероприятий при планировании производственных программ.

Достоинства и недостатки обслуживания на основе оценки риска приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Достоинства и недостатки обслуживания на основе оценки риска

Достоинства	Недостатки
1. Сокращение затрат на ремонт и техническое обслуживание; 2. Увеличение времени эксплуатации	1. Отсутствует единая отраслевая методология расчета технического состояния отдельных групп оборудования

Окончание таблицы 1.5

Достоинства	Недостатки
<p>дорогостоящего оборудования;</p> <p>3. Уменьшение количества отказов;</p> <p>4. Быстрая окупаемость затрат после внедрения системы;</p> <p>5. Обеспечение высокой безопасности для людей и окружающей среды;</p> <p>6. Создается база данных для управления системой технического обслуживания;</p> <p>7. Создается база данных о возможных отказах оборудования и рекомендации по их ликвидации и предупреждению.</p>	<p>исходя из реальных данных о располагаемых активах и интенсивности их эксплуатации;</p> <p>2. Дороговизна организации системы мониторинга технического состояния оборудования в режиме реального времени;</p> <p>3. Определение уровней риска и приоритетов трудоемкий процесс, требующий наличия высококвалифицированного персонала;</p> <p>4. Высокая зависимость от качества входной информации (данных).</p>

2 Переход к обслуживанию на основе оценки риска

Отличие стратегии технического обслуживания на основе оценки риска от регламентированного планово-предупредительного подхода заключается в том, что риск-ориентированный подход позволяет выбрать вид организации ремонта с учетом оценки вероятности отказов оборудования. В соответствии с новыми Правилах организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики, утвержденных приказом Минэнерго РФ от 25.10.2017 № 1013 субъектами электроэнергетики выполняется выбор вида организации ремонта из следующих:

1. планово-предупредительный ремонт;
2. ремонт по техническому состоянию [4].

В соответствии с вышеуказанными Правилами вид организации ремонта по техническому состоянию основного энергетического и электротехнического оборудования может применяться, если у субъекта электроэнергетики имеются:

- ЛНА, устанавливающие периодичность, методы, объемы и технические средства контроля, систему показателей технического состояния и их допустимые и предельные значения, позволяющие достоверно определять фактическое техническое состояние основного оборудования и его изменение в период до следующего выполнения контроля с учетом отзывов (предложений и рекомендаций) изготовителя оборудования и (или) экспертной организации, аккредитованной в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации;

- средства технического диагностирования и автоматизированная система контроля за техническим состоянием основного оборудования, представляющая программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий процесс удаленного наблюдения и контроля за состоянием оборудования и (или) объекта (действующее оборудование), его диагностирование и прогнозирование изменения технического состояния на основе собранных данных (исторические

данные о состоянии оборудования) и операционных данных, получаемых от систем сбора данных, установленных на оборудовании.

- Решение о применении вида организации ремонта по техническому состоянию следует принимать при выполнении указанных в настоящем пункте условий, индивидуально по каждой единице основного оборудования, комиссией, состав которой должен определяться субъектом электроэнергетики с привлечением организаций-изготовителей оборудования и (или) экспертных организаций, аккредитованных в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации.

В Российской Федерации риск-ориентированный метод стремительно внедряется в различные области государственного управления, но пока не имеет универсального вида. На начало 2016 года системы управления на основе оценки рисков использовались при проведении 12 видов федерального государственного контроля и надзора. Применение такого вида стратегии осуществляется в нескольких ведомствах: МЧС, Ростехнадзор, Роструд, Роспотребнадзор и ФНС (Федеральная налоговая служба) [5].

Одним из долгосрочных и среднесрочных технологических приоритетов инновационного развития Программы инновационного развития Группы РусГидро на 2020-2024 гг. с перспективой до 2029 года (ПИР Группы) является развитие риск-ориентированной модели управления объектами электроэнергетики на основе его технического состояния [6]. На текущий момент риск-ориентированный подход реализован в объёме расчёта вероятностей отказа в соответствии с приказом МЭ №123 от 19.02.2019. Планируются мероприятия по обеспечению перехода к детализации моделей на уровне станций, а также по разработке классификатора базовых ущербов для использования в расчётах рисков в полном объёме [7].

Кроме того, ПАО «ФСК ЕЭС» приняло в новой редакции положение «О единой технической политике в электросетевом комплексе», одним из ключевых направлений которой является применение принципов автоматизированного риск-ориентированного управления активами [8].

Таким образом, в электроэнергетике России идет постепенное внедрение риск-ориентированного подхода к управлению активами. Внедрение данного подхода приведет к минимизации затрат на обслуживание оборудования, а также уменьшению численности обслуживающего персонала, без увеличения аварийности и уменьшения срока эксплуатации оборудования.

3 Определение уровня риска функциональных узлов трансформатора

В качестве уровня риска используется RPN – значение приоритетности риска, предложенное стандартом [8]:

$$RPN = S \cdot O \cdot D, \quad (3.1)$$

где S – тяжесть последствий отказа данной единицы оборудования;

O – вероятность отказа этого оборудования в течение определенного периода времени;

D – вероятность, что отказ не будет выявлен до проявления его последствий.

3.1 Вероятность отказа функциональных узлов трансформатора

Изменение текущего эксплуатационного состояния функционального узла оборудования в сторону ухудшения приводит к уменьшению вероятности его безотказной работы и, соответственно, к увеличению вероятности отказа.

Определение результирующей оценки позволяет сделать вывод о текущем техническом состоянии трансформатора. На основе этих по шкале определяется ранг вероятности отказа функционального узла.

Определение вероятности отказа i -го функционального узла оборудования осуществляется по следующей формуле [13]:

$$Q_i = 1 - e^{-\omega t} \cdot J_i, \quad (3.2)$$

где J_i – текущее значение оценки технического состояния i -го узла;

ω – значение параметра потока отказа, характеризующее частоту отказов за единицу времени t ;

t – время.

При определении уровня риска используется шкала, представленная в таблице 3.1 [5].

Таблица 3.1 – Шкала вероятности отказов узлов

Характеристика вероятности появления отказа	Вероятность	Ранг О
Очень высокая – отказ почти неизбежен	$\leq 10^{-1}$	10
	$5 \cdot 10^{-2}$	9
Высокая – наличие повторных отказов	$2 \cdot 10^{-2}$	8
	10^{-2}	7
Умеренная – отказы возможны	$5 \cdot 10^{-3}$	6
	$2 \cdot 10^{-3}$	5
	10^{-3}	4
Низкая – относительно мало отказов	$2 \cdot 10^{-4}$	3
	10^{-4}	2
Очень низкая – отказ маловероятен	$\leq 10^{-5}$	1

3.1.1 Определение текущей оценки технического состояния функциональных узлов трансформатора

Определение оценки эксплуатационного состояния функциональных узлов трансформатора может осуществляться с помощью теории нечетких множеств.

Сотрудники объектов электроэнергетики, занимающиеся организацией их работы, то и дело сталкиваются с нехваткой данных или недостаточно точной технологической информацией, а также наличием нечетко заданных параметров. Это является результатом наличия человеческого фактора или отсутствием информации об объекте, ввиду его недостаточной изученности. Таким образом,

некоторая информация для математического описания объектов существует в форме положений или представлений экспертов.

На основе теории нечетких множеств, возможно достаточно точно оценить риски.

Входными данными для математических моделей, построенных на основе теории нечетких множеств, являются данные, получаемые от систем защиты, автоматики и контроля оборудования:

- данные контроля вибрации;
- данные контроля температуры;
- данные других видов контроля, результаты осмотров и испытаний, время эксплуатации;
- данные о работе защит;
- текущий режим трансформатора.

Алгоритм формирования нечеткого вывода представлен на рисунке 3.1.

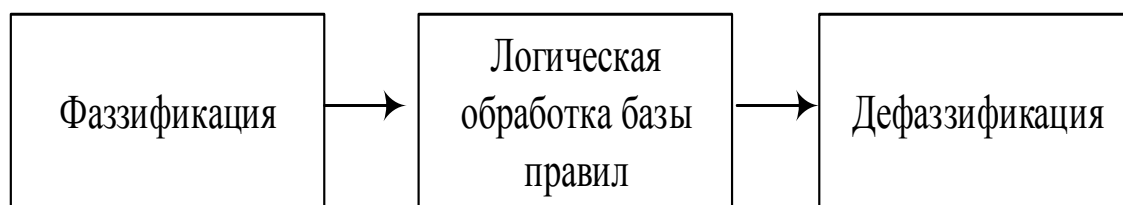


Рисунок 3.1 – Основные этапы нечеткого вывода

В качестве параметров, описывающих техническое состояние трансформаторов Саяно-Шушенской ГЭС, приняты параметры представленные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Функциональные узлы трансформатора с указанием параметров для контроля технического состояния

Наименование узла	Группа параметров функционального узла	Параметр контроля технического состояния функционального узла
Высоковольтный ввод	Состояние изоляции	1. $\text{tg}\delta$ основной изоляции, приведенный к 20 °С; 2. Емкость основной изоляции; 3. Ток небаланса; 4. Частичные разряды
Вспомогательное оборудование	Дефекты бака, навесного оборудования	1. Давление масла.
Изоляционная система	Состояние масла	1. Влагосодержание масла; 2. Температура верхних слоев масла;
	Хроматографический анализ газов, растворенных в масле (ХАРГ)	1. Концентрация газов; 2. Относительная скорость нарастания концентрации газов
Обмотки трансформатора	Состояние твердой изоляции	1. Влагосодержание твердой изоляции; 2. Частичные разряды
Обобщенный узел	Срок службы	1. Срок службы
		1. Срок службы высоковольтного ввода

Данные параметры выбраны в соответствии с приказом об изменении Методики [9], с учетом установленных на трансформаторах датчиков существующей на станции системы мониторинга. Эти параметры могут контролироваться в online-режиме [10].

На Саяно-Шушенской ГЭС установлены датчики системы мониторинга, представленные на рисунке 3.2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 27.002-2009. Надежность в технике. Термины и определения = Reliability in technology. Terms and Definitions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 декабря 2009 г. N 649-ст : введен впервые : дата введения 2011-01-01 / разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ). — М.: Стандартинформ, 2009. —28с.;
2. Положение о планово-предупредительном ремонте оборудования электростанций и подстанций приказ от 01.02.1965 г. № 26. – Москва: Министерство энергетики СССР, 1965. – 140 с.;
3. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей: приказ от 26.07.2017 г. № 676. – Москва: Министерство энергетики РФ, 2017. – 274 с.;
4. Об утверждении требований к обеспечению надёжности электроэнергетических систем, надёжности и безопасности объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок «Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики»: Приказ Министерства энергетики РФ от 25 октября 2017 г. № 1013 – Москва.;
5. ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов = Risk management. Procedure for failure mode and effects analysis : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. N 572-ст : введен впервые : дата введения 2008-09-01 / разработан ОАО "НИЦ КД".— М.: Стандартинформ, 2008. — 35 с.;

6. Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей: Приказ Министерства энергетики РФ от 26.07.2017 г. № 676. – Москва: Министерство энергетики РФ, 2017. – 274 с.;

7. Антоненко И. Н. Методика приоритизации объектов обслуживания на основе оценки критичности отказов /И.Н. Антоненко // В мире неразрушающего контроля. - 2018. - №. 3. - С. 68-72.;

8. Антоненко И. Н. Риск-ориентированный подход к управлению производственными активами энергетики / И.Н. Антоненко // Энергоэксперт. - 2020. - №. 1. - С. 26-63.;

9. О внесении изменений в методику оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей, утвержденную приказом Минэнерго России от 26 июля 2017 г. № 676: Приказ Министерства энергетики РФ от 17.03.2020 г. № 192. – Москва: Министерство энергетики РФ, 2020. – 93 с.;

10. Данилов А.С. Онлайн-расчёт индексов технического состояния трансформаторов СШГЭС в межремонтный период по данным системы мониторинга для перехода к их техническому обслуживанию и ремонту по техническому состоянию»: специальность 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация / Данилов Александр Сергеевич. — Сибирский федеральный университет; Саяно-Шушенский филиал СФУ. — Саяногорск, Черемушки, 2020 – 67 с.;

11. Жданович А.А. Контроль и мониторинг эксплуатационного состояния гидроагрегатов на основе теории нечетких множеств: специальность 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы»: диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук/ Жданович Анастасия Александровна. — Новосибирский государственный технический университет. — Новосибирск, 2010 – 200 с.;

12. Секретарев, Ю.А. Выбор и принятие решений в электроэнергетике : учебное пособие / Ю.А. Секретарев, Я.В. Панова ; Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск: Из-во Новосибирского государственного технического университета, 2018. - 95 с. - ISBN 978-5-7782-3716-2.;

13. Секретарев Ю. А., Левин В. М. РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ РЕМОНТОМ ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С МОНОПОТРЕБИТЕЛЕМ // Журнал СФУ. Техника и технологии. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/risk-orientirovannyye-modeli-upravleniya-remontom-oborudovaniya-v-sistemah-elektrosnabzheniya-s-monopotrebitelem> (дата обращения: 05.09.2021).;

14. Лукашин, Ю.П. Современные направления статистического анализа взаимосвязей и зависимостей / Ю.П. Лукашин, Л.И. Рахлина. – Москва: ИМЭМО РАН, 2012. – 54 с. - ISBN 978-5-9535-0332-7.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Функции принадлежности параметров технического состояния трансформатора

Таблица А.1 – Функции принадлежности параметров технического состояния трансформатора

Наименование узла	Группа параметров функционального узла	Параметр контроля технического состояния функционального узла	Единицы измерения	Функция принадлежности						
				a	b	c	d	Тип	Уравнение	
Высоковольтный ввод	Состояние изоляции	1. tgδ основной изоляции, приведенный к 20 °С;	о.е.	1	1,25	1,75	-	Z	$\mu=1-0,02(x-125)$	
		2. Емкость основной изоляции;	о.е.	1	1,005	1,03	-	Z	$\mu=1-0,333(x-100)$	
		3. Ток небаланса;	A	0,05	0,056	0,168	-	Z	$\mu=1-0,004(x-112)$	
		4. Частичные разряды	о.е.	1	2	3	-	Z	$\mu=1-0,01(x-200)$	
Вспомогательное оборудование	Дефекты бака, навесного оборудования	1. Давление масла;	МПА	0,2	0,2	0,3	-	Z	$\mu=1-0,02(x-100)$	
Изоляционная система	Состояние масла	1. Влагосодержание масла;	г/г	15	15	25	-	Z	$\mu=1-0,015(x-100)$	
		2. Температура верхних слоев масла;	°С	40	78	90	-	Z	$\mu=1-0,033(x-195)$	
	Хроматографический анализ газов, растворенных в масле (ХАРГ)	1. Концентрация газов:	Водород Н ₂	% об. д	0,01	0,0701	0,18	-	Z	$\mu=1-0,0009(x-701)$
			Метан СН ₄	% об. д	0,012	0,0401	0,1	-	Z	$\mu=1-0,002(x-334)$
			Ацетилен С ₂ Н ₂	% об. д	0,0035	0,0051	0,008	-	Z	$\mu=1-0,011(x-145)$
			Оксид этана С ₂ Н ₄	% об. д	0,005	0,0101	0,02	-	Z	$\mu=1-0,005(x-202)$
			Этилен С ₂ Н ₆	% об. д	0,0065	0,0101	0,0101	-	Z	$\mu=1-2,599(x-155)$
			Оксид углерода СО	% об. д	0,035	0,0571	0,14	-	Z	$\mu=1-0,004(x-163)$
			Диоксид углерода СО ₂	% об. д	0,25	0,4001	1	-	Z	$\mu=1-0,004(x-160)$
2. Относительная скорость нарастания концентрации газов	% об. Мес	9	10	10	-	Z	$\mu=1-8,999(x-111)$			
Обмотки трансформатора	Состояние твердой изоляции	1. Влагосодержание твердой изоляции;	о.е.	0,018	0,018	0,02	-	Z	$\mu=1-0,09(x-100)$	
		2. Частичные разряды	о.е.	1	2	3	-	Z	$\mu=1-0,01(x-200)$	
Обобщенный узел	Срок службы	1. Срок службы	год	25	30	35	-	S	$\mu=0,07(x-71,428)$	
		1. Срок службы ввода	год	15	20	25	-	S	$\mu=0,03(x-50)$	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Причины отказов узлов и систем силового трансформатора

Таблица Б.1 – Причины отказов узлов и систем силового трансформатора

Функциональный узел	Дефект	Причина
Высоковольтный ввод	1. Повреждения, трещины;	1. Механические воздействия.
	2. Нарушение герметичности вводов	1. Неверная сборка узла; 2. Ослабление контактных соединений.
	3. Смещение токоведущей трубы относительно изоляционного остова	1. Неправильный ремонт или монтаж; 2. Дефект фарфора вывода; 3. Слабая затяжки.
Активная часть (магнитопровод)	1. Дефектность межлистовой изоляции	1. Заводские повреждения.
	2. Пожар в стали	1. Короткозамкнутый контур, возникающий вследствие неправильного заземления; 2. Короткозамкнутый контур, возникающий вследствие повреждения изоляции стяжных шпилек; 3. Касание какой-либо металлической частью стержня в двух точках. 4. Замыкание листов стали, возникающее вследствие местных дефектов межлистовой изоляции; 5. Касание какой-либо металлической частью стержня в двух точках.
	3. Местное замыкание листов стали. (Отличается от пожара в стали размерами дефекта)	1. Наличие каких-либо посторонних токопроводящих, металлических элементов.
	4. Ненормальное гудение, дребезжание и т.п. магнитопровода	1. Раскручивание болтов; 2. Свободное колебание деталей крепления; 2. Колебание отстающих крайних листов стали в ярах, стержнях; 3. Слабая прессовка магнитопровода.
Активная часть (обмотка)	1. Витковое замыкание	1. Дефектны провода (заусенцы, внутренние раковины, плохая пайка и т.п.), не замеченная при изготовлении обмоток. 2. Разрушение изоляции витков (старение в результате длительных перегрузок, естественного износа, недостаточности охлаждения); 3. Неверное выполнение переходов и неправильная укладка витков. 4. Механические повреждения, возникающие из-за толчков и вибрации обмоток при КЗ или др. авариях, приводящие к нарушению изоляции; 5. Понижение уровня масла, приводящее к оголению обмоток;

Продолжение приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

Функциональный узел	Дефект	Причина
Активная часть (обмотка)	2. Обрыв в обмотках	1. Выгорание части витков, возникающее вследствие виткового замыкания в обмотке; 2. Некачественная внутренняя пайка провода; 3. Отгорание выводных концов, возникающее вследствие электродинамических усилий при коротких замыканиях или вследствие плохих соединений.
	3. Пробой на корпус	1. Деформация обмоток, возникающая вследствие коротких замыканий. 2. Загрязнение масла; 3. Возникновение перенапряжения; 4. Дефекты главной изоляции, возникающие вследствие старения или наличия трещин, отверстий, изломов и т.д; 5. Низкий уровень масла; 6. Высокий уровень влажности масла; 7. Попадание сырости и грязи.
	4. Междофазное короткое замыкание обмоток	1. Причины те же, что и при пробое на корпус. 2. Замыкание на отводах и вводах.
Активная часть (главная изоляция)	1. Ненормальное повышение температуры масла и ненормальный нагрев	1. Повреждения внутри трансформатора; 2. Перегрузка; 3. Неисправности системы охлаждения.
	2. Ухудшение качества масла	1. Внутренние повреждения, сопровождаемые крекинг-процессом, когда газообразные продукты разложения масла растворяются в остальном масле. Такой процесс дает понижение температуры вспышки масла; 2. Внутренние повреждения, сопровождаемые разложением масла другой. Выделяемые при этом газы негорючи и содержат водород и метан.
	3. Чрезмерное увлажнение	1. Высокий уровень влажности.
Бак трансформатора	1. Течи масла	1. Некачественная сварка или дефекты сварного шва, возникающие в следствие наличия механических воздействий; 2. В корпусе крана плохо притерта пробка; 3. Низкий уровень качества прокладок и уплотнений в местах фланцевых соединений
	2. Понижение уровня масла в расширительном баке	1. Наличие протечек в баке или системе охлаждения; 2. Залито недостаточное количество масла; 3. Снижение температуры масла.
	3. Повышение уровня масла в расширительном баке	1. Рост температуры масла.

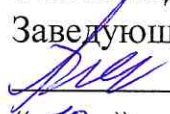
Окончание приложения Б

Окончание таблицы Б.1

Функциональный узел	Дефект	Причина
Бак трансформатора	4. Появление трещин на стекле маслоуказателя	1. Механическое повреждение;
Системы защиты трансформатора	Срабатывание реле газовой защиты при отсутствии повреждений в трансформаторе (ложное срабатывание)	1. Быстрое охлаждение или нагрев масла, приводящий к резкому снижению или повышению уровня масла; 2. Попадание воздуха в трансформатор.
	Отказ реле газовой защиты (несрабатывание) при возникновении или развитии повреждения в трансформаторе	1. Неудовлетворительное состояние контактов реле; 2. Отключена газовая защита на трансформаторе в работе; 3. Заедание поплавков в камере.
Трубопроводы и арматура	1. Течи масла	1. Нарушена герметичность; 2. Повреждение сварного шва от механических или температурных воздействий; 3. Повреждение прокладки под фланцем
	2. Повреждение гофры кабеля	1. Длительное действие циклов нагрева и охлаждения или значительных перегрузок кабеля более допустимых норм; 2. Воздействие различных сотрясений и вибрации, приводящие к межкристаллическому разрушению свинцовой оболочки; 3. Многократные изгибы кабеля; 4. Воздействие различных химических реагентов, которые могут содержаться в почве, приводящие к химической, грунтовой коррозии; 5. Заводские дефекты; 6. Механические повреждения, возникающие при прокладке или других строительных работах, выполняемых в зоне кабельных трасс.
	3. Нарушение герметичности металлоукава	1. Низкий уровень качества.
	4. Подтеки масла на фланцевых соединениях задвижек	1. Низкий уровень качества уплотнений и прокладок в местах фланцевых соединений; 2. Износ уплотнительной резины на фланцах.
	5. Износ уплотнительной резины на фланцах	1. Низкое качество.
	Система охлаждения	1. Индикаторный силикагель изменил цвет
	2. Появление трещин на стекле индикаторного силикагеля	1. Механическое повреждение.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Саяно-Шушенский филиал СФУ
институт

Гидроэнергетики, гидроэлектростанции, электроэнергетических систем и
электрических сетей
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 А.А. Ачитаев
« 10 » 06 2022г.

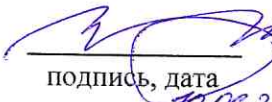
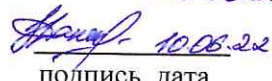

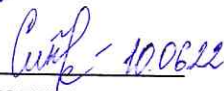
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ
ОБОРУДОВАНИЕМ ОБЪЕКТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ НА
ПРИМЕРЕ БЛОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ САЯНО-
ШУШЕНСКОЙ ГЭС**

тема

13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
код и наименование направления

13.04.02.06 – Гидроэлектростанции
код и наименование магистерской программы

Руководитель	 подпись, дата 10.06.22	Начальник ОС Филиала ПАО «РусГидро» «Саяно –Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного» должность, ученая степень	<u>И.Ю. Погоняйченко</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата 10.06.22	Ведущий инженер СМО Филиала ПАО «РусГидро» «Саяно –Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного» должность, ученая степень	<u>Н.С. Данилова</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата 10.06.22	Ассистент преподавателя кафедры ГЭС Саяно-Шушенского филиала СФУ должность, ученая степень	<u>А.Е. Безубенко</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер	 подпись, дата 10.06.22		<u>К.П. Синельникова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2022