

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

Кафедра «Гидроэнергетики, гидроэлектростанций, электроэнергетических
систем и электрических сетей»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ инициалы, фамилия
подпись, дата «_____» _____ 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**МОНИТОРИНГ ДОПУСТИМОСТИ ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ
ГЭС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	_____ подпись, дата	<u>Начальник</u> <u>оперативной службы</u> <u>филиала ПАО</u> <u>«РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени</u> <u>П.С. Непорожного»</u> должность	<u>И.Ю. Погоняйченко</u> инициалы, фамилия
Выпускник	_____ подпись, дата	<u>Инженер 1 категории</u> <u>службы РЗАиМ</u> <u>филиала ПАО</u> <u>«РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени</u> <u>П.С. Непорожного»</u> должность	<u>А.А. Демшин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	_____ подпись, дата	<u>Инженер 1 категории</u> <u>службы РЗАиМ</u> <u>филиала ПАО</u> <u>«РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени</u> <u>П.С. Непорожного»</u> должность	<u>М.С. Размахнин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	_____ подпись, дата		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020

АННОТАЦИЯ

В настоящее время, при возникновении аварийного режима на гидроэлектростанциях, существует большая вероятность ошибочных действий со стороны оперативного персонала при её ликвидации. Это приводит к лишним финансовым затратам, теряется большое количество времени на постройку грамотного устранения аварийного режима. Для исключения ошибочных и алогичных действий со стороны оперативного персонала, был осуществлён мониторинг допустимости послеаварийных режимов ГЭС в виде программного обеспечения. Программное обеспечение представляет собой алгоритм, включающий в себя четкую компоновку действий оперативного персонала при срабатывании защит РЗиА для грамотного устранения аварийных режимов. Программное обеспечение максимально простое в плане использования и является типовым, что позволяет применять его на любой ГЭС.

АВТОРЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Мониторинг допустимости послеаварийных режимов ГЭС».

Цель работы:

Разработка мониторинга допустимости послеаварийных режимов ГЭС в виде программного обеспечения.

Основные задачи:

Минимизировать ошибочные и алогичные действия оперативного персонала во время ликвидации аварии.

Создать максимально простое в использовании программное обеспечение.

Провести анализ действий оперативного персонала с учетом всех местных и типовых инструкций по ликвидации аварий.

Научная новизна:

Создание программного обеспечения для оперативного персонала, которое позволит более грамотно и быстро ликвидировать аварийный режим.

Практическая значимость работы:

В дальнейшем, результат работы может быть использован в эксплуатации на Майнской ГЭС для оценки эффективности.

Личный вклад автора:

Систематизация собранных данных, создание программного обеспечения.

Апробация работы:

Результаты диссертационной работы были представлены на следующих конференциях:

- V Всероссийской научно - практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ», Саяногорск р.п. Черемушки, 2019 года.

- VI Всероссийской научно — практической конференции молодых ученых, специалистов, аспирантов и студентов «ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В XXI ВЕКЕ», Саяногорск р.п. Черемушки, 2020 года.

Структура и объём диссертации:

Диссертация состоит из введения, количества глав, заключения и списка литературы. Материал изложен на 38 страницах, содержит 9 рисунков.

Ключевые слова:

Программное обеспечение, финансовые затраты, анализ, действия, персонал

ABSTRACT

Final qualifying work on the theme "Monitoring the permissibility of post-accident regimes of hydropower plants"

Purpose of work:

Development of monitoring the admissibility of post-accident regimes of HPPs in the form of software

Main task:

Eliminate erroneous and illogical actions of operational personnel during the liquidation of an accident.

Create the easiest to use software.

Conduct an analysis of the actions of operational personnel, taking into account all local and standard instructions for the elimination of accidents.

Scientific novelty:

Creation of software for operational personnel, which will allow for more competent and quick emergency response.

Practical significance of the work:

In the future, the result of the work can be used in operation at the Main hydroelectric station to assess effectiveness.

Personal contribution of the author:

Systematization of the collected data, the creation of software.

Approbation of work:

The results of the thesis were presented at the following conferences:

- V All-Russian scientific and practical conference of young scientists, specialists, graduate students and students of "HYDROELECTRIC STATIONS IN THE XXI CENTURY", Sayanogorsk r.p. Cheryomushki, 2019.

- VI All-Russian scientific and practical conference of young scientists, specialists, graduate students and students "HYDROELECTRIC STATIONS IN THE XXI CENTURY", Sayanogorsk r.p. Cheryomushki, 2020.

Structure and scope of the thesis:

The dissertation consists of introduction, number of chapters, conclusion and list of references. The material is presented on 38 pages, contains 9 figures.

Keywords:

Software, financial costs, analysis, actions, staff

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 Постановка задачи.....	8
1.1 Защиты, рассмотренные в программном обеспечении	8
2 Этапы формирования программного обеспечения.....	9
2.1 Схема блока генератор – трансформатор Майнской ГЭС	9
2.2 Главный экран	12
2.3 Срабатывание защит РЗиА	13
2.5 Выходные воздействия от защит	13
2.6 Всплывающее окно с действиями оперативного персонала	14
2.7 Карточка пожаротушения	15
2.8 Исходный код программы	16
3 Назначение и краткая характеристика защиты РЗА основного оборудования ГЭС.....	17
3.1 Назначение и состав	17
3.2 Цепи тока	18
3.3 Цепи напряжения	19
3.4 Выходные цепи.....	20
3.5 Характеристика защит генератора	20
3.5.1 Продольная дифференциальная защита.....	20
3.5.2 Защита от замыканий на землю обмоток статора.....	20
3.5.3 Защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и перегрузок.....	21
3.5.4 Защита от симметричных КЗ и перегрузок.....	22
3.5.5 Дистанционная защита от симметричных КЗ.....	23
3.5.6 Дистанционная защита от внешних междуфазных КЗ.....	23
4 Обслуживание в аварийных режимах	24
4.1 Анализ действия оперативного персонала исполнительного уровня Майнской ГЭС в послеаварийном режиме	25
4.1.1 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора	25
4.1.2 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора.....	26
4.1.3 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора.....	27
4.1.4 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от симметричных замыканий, первая ступень ($Z1<$) ...	27
4.1.5 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий, вторая ступень ($Z2<$).....	28
4.1.6 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0).....	29

4.2 Анализ действия начальника смены станции Майнской ГЭС в послеаварийном режиме	31
4.2.1 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора	31
4.2.2 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора.....	32
4.2.3 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора.....	33
4.2.4 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от симметричных замыканий, первая ступень ($Z1<$) ...	34
4.2.5 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий, вторая ступень ($Z2<$).....	35
4.2.6 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0).....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	37
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	39

ВВЕДЕНИЕ

Проблема: Возможность ошибочных или алогичных действий оперативного персонала во время возникновения и ликвидации аварийных режимов на оборудовании электрических станций и ограниченного времени анализа большого объема необходимой информации.

Цель: Описать алгоритм мониторинга послеаварийного состояния основного и вспомогательного оборудования электрической станции путем автоматического анализа аварийных сигналов АСУТП и описания последовательности действий оперативного персонала при ликвидации аварий и их последствий.

Актуальность темы: В настоящее время, при ликвидации аварий и устранении неисправностей основного и вспомогательного оборудования ГЭС, оперативный персонал руководствуется требованиями местных и типовых инструкций, содержащих большой объем информации. Оборудование, установленное на ГЭС, не является типовым и, как правило, поставляется разными заводами-изготовителями, имеет свои особенности. Запомнить и держать в голове во время аварийной ситуации все нюансы работы оборудования и требования инструкций способен не каждый работник. Кроме того, современные системы АСУТП построены таким образом, что во время возникновения аварии сигналы, от поврежденного оборудования, смешиваются с предупредительными и аварийными сигналами от всех станционных систем связанных общим электроэнергетическим и технологическим режимами работы, что замедляет анализ и увеличивает время ликвидации аварийной ситуации. Последнее напрямую связано с увеличением убытков предприятия из-за простоя оборудования. Данный алгоритм автоматического мониторинга и анализа аварийных сигналов АСУТП будет иметь краткий и четкий план в виде типовых поставленных задач, который позволит минимизировать количество ошибок персонала, время ликвидации аварии, финансовые затраты предприятия и силы оперативного персонала.

1 Постановка задачи

Мониторинг допустимости послеаварийных режимов осуществлен с помощью программного обеспечения, которое представляет собой определенный алгоритм. Алгоритм создан на основе существующих местных и типовых инструкций по ликвидации аварий и устранения неполадок основного оборудования. Он позволит визуализировать действия оперативного персонала в виде необходимых указаний.

В зависимости от срабатывания устройств РЗА был разработан типовой план действий для оперативного персонала.

Рассмотрим планировку алгоритма на блоке генератор – трансформатор Майнской ГЭС.

На монитор оперативного персонала, в случае аварийной ситуации в блоке генератор – трансформатор, выводится следующая информация:

1. Срабатывание защит РЗА;
2. Выходные воздействия от защит ГТ;
3. Порядок действий оперативного персонала;
4. Блок генератор - трансформатор.

Постановка задачи: исследовать реальные действия оперативного персонала для ликвидации аварии и устранения неполадок, тем самым исключить распространение аварии во время её ликвидации. Визуализировать весь процесс в виде программного обеспечения в целях экономии времени ликвидации аварии, сил персонала и финансовых затрат.

Программное обеспечение написано в программе CSharp «VisualStudio» на объектно-ориентированном языке программирования.

1.1 Защиты, рассмотренные в программном обеспечении

В программе будут рассмотрены данные защиты:

1. Продольная дифференциальная защита.
2. Защита обратной последовательности от несимметричных коротких замыканий и перегрузок обмотки статора.
3. Защита от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора.
4. Защита от замыканий на землю обмотки статора
5. Дистанционная защита от внешних междуфазных замыканий.
6. Дистанционная защита от симметричных замыканий.

2 Этапы формирования программного обеспечения

2.1 Схема блока генератор – трансформатор Майнской ГЭС

При срабатывании устройств РЗА, на схеме указываются зоны действия защит и оборудование, которое необходимо осмотреть. Зоны действия защит и оборудование, которое потенциально может быть подвержено повреждениям, показаны на схеме синим цветом. При срабатывании защит, схема выдается на монитор дежурного для наглядности.

В номинальном режиме, схема блока генератор – трансформатор представлена на рисунке 2.1.

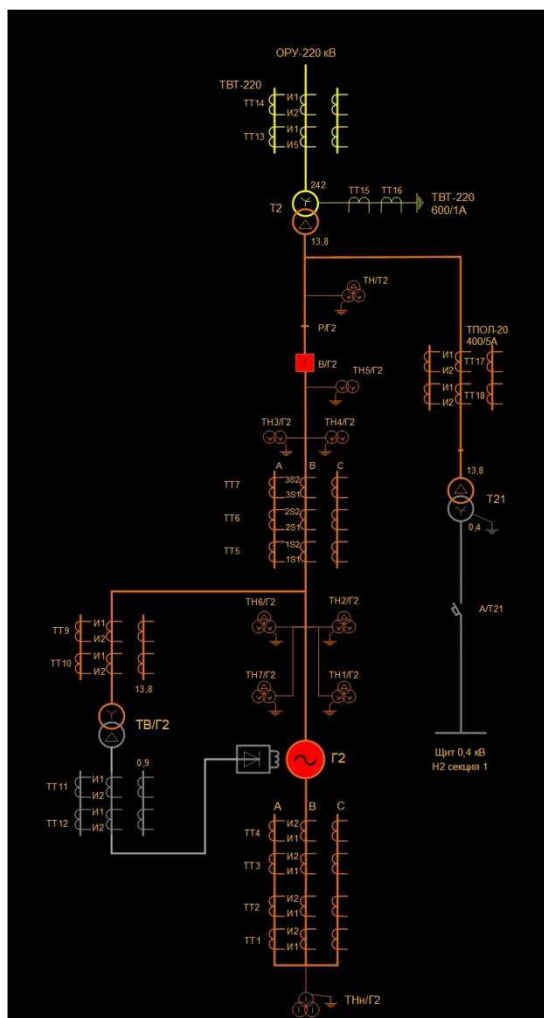


Рисунок 2.1 – Схема блока генератор – трансформатор Майнской ГЭС в номинальном режиме

При срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора, оперативному персоналу необходимо осмотреть видимые токоведущие части генератора в зоне действия продольной дифференциальной защиты (от ТТ6(7)

КГВ до ТТ1(3) КНВ), а также выпрямительный трансформатор ТВ и трансформаторы напряжения ТН1-Г, ТН2-Г. Показываем на схеме зону действия защиты и данное оборудование.

Схема, при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора, представлена на рисунке 2.2.

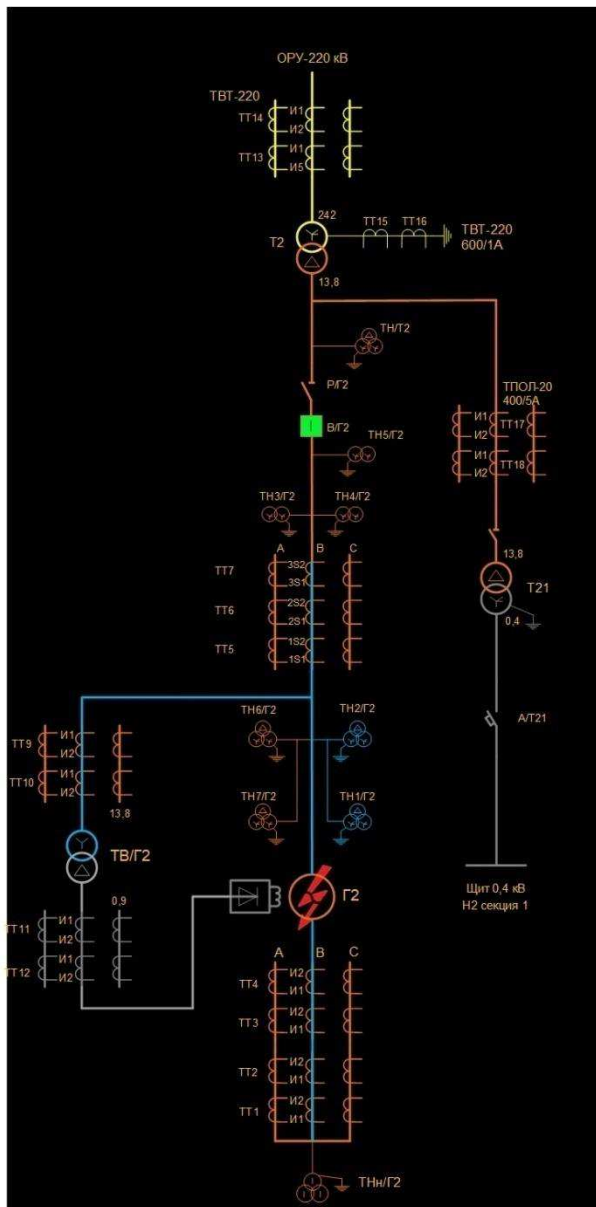


Рисунок 2.2 – Схема блока генератор – трансформатор МайнскойГЭС при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора

При срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора, оперативному персоналу необходимо осмотреть зону действия резервных защит (генератор, трансформатор, ошиновка трансформатора, выпрямительный трансформатор ТВ, трансформатор собственных нужд Т21, трансформаторы напряжения ТН, ТН1, ТН2). Показываем на схеме зону действия защиты и данное оборудование.

Схема, присрабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора представлена на рисунке 2.3.

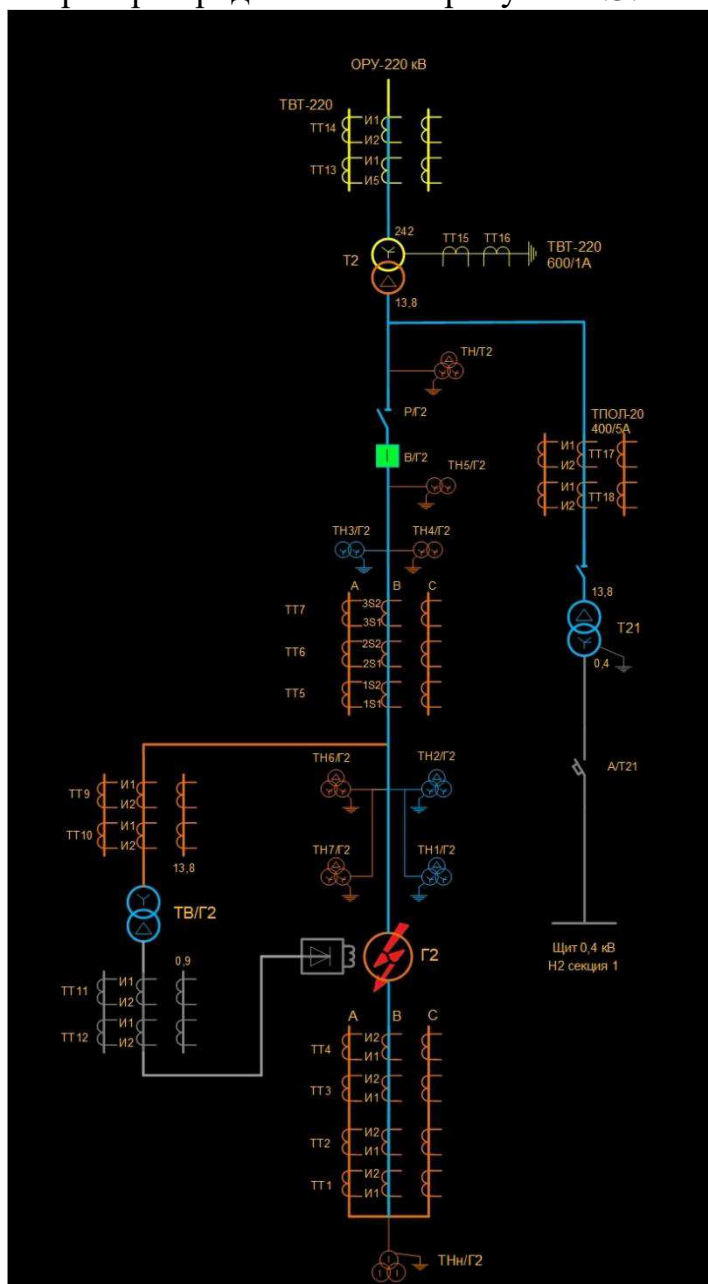


Рисунок 2.3 – Схема блока генератор – трансформатор Майнской ГЭС при срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора

При срабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора, оперативному персоналу необходимо произвести внешний осмотр оборудования, входящего в зону действия защиты (обмотка статора полностью, обмотка ВН трансформатора возбуждения ТВ, обмотка НН трансформатора блока, обмотки ВН ТСН, ТТ1-Г÷ТТ7-Г, ТН1, ТН2, ТНн, ТН-Т, оборудование генераторного напряжения (В-Г, Р-Г, токопроводы 13,8 кВ, ОПН и конденсаторы HECS-80S)). Показываем на схеме зону действия защиты и данное оборудование.

Схема, присрабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора представлена на рисунке 2.4.

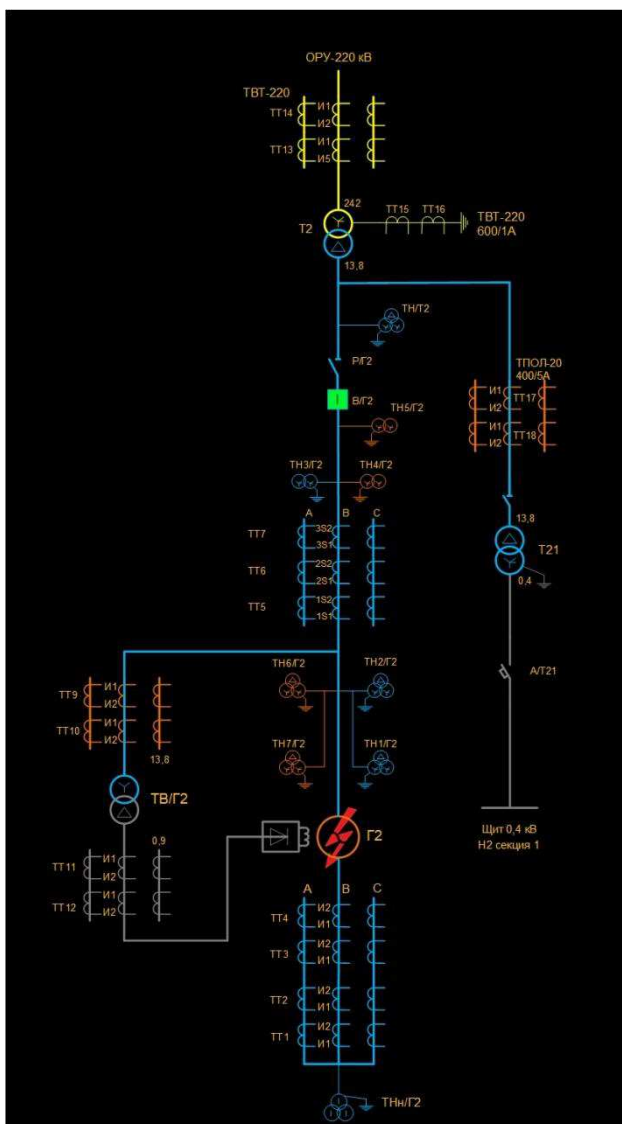


Рисунок 2.4 – Схема блока генератор – трансформатор Майнской ГЭС присрабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора

2.2 Главный экран

На главном экране дежурному выводится следующая информация:

1. Срабатывание защит РЗиА.
2. Выходные воздействия от защит ГТ.

В зависимости от срабатывания устройств РЗиА можно определить вид аварии и разработать типовой план действий для оперативного персонала. В первой колонке находится список защит РЗиА. Информация о срабатывании защиты берется из АСУ ТП в виде сигнала. Во второй колонке показаны воздействия, согласно матрице отключений.

2.3 Срабатывание защит РЗиА

Первая колонка выводит на монитор список защит, которые сработали в аварийном режиме. Сигнал о их срабатывании берется из АСУ ТП. Это показано на рисунке 2.5.

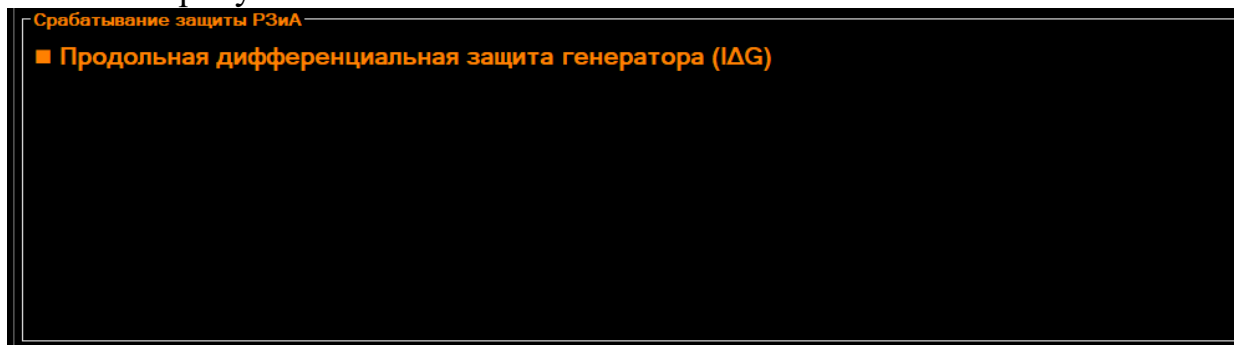


Рисунок 2.5 – срабатывание защит РЗиА

Так как показать действие программы в реальной эксплуатации является недоступным вариантом, для моделирования аварии добавлены кнопки «Авария», чтобы показать принцип действия программного обеспечения (рисунок 2.6).

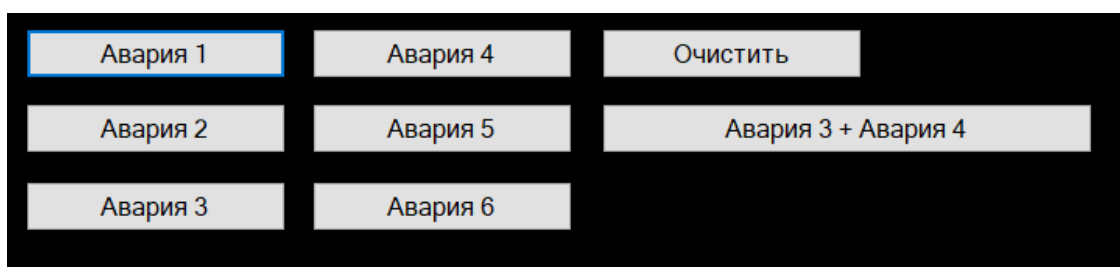


Рисунок 2.6 – кнопки «Авария»

2.5 Выходные воздействия от защит

Выходные воздействия от защит генератора, согласно матрице отключений, показывают список происходящих процессов вследствие срабатывания данных защит. Также при срабатывании УРОВ, список выходных воздействий может изменяться, следовательно, изменяются действия оперативного персонала (рисунок 2.7).

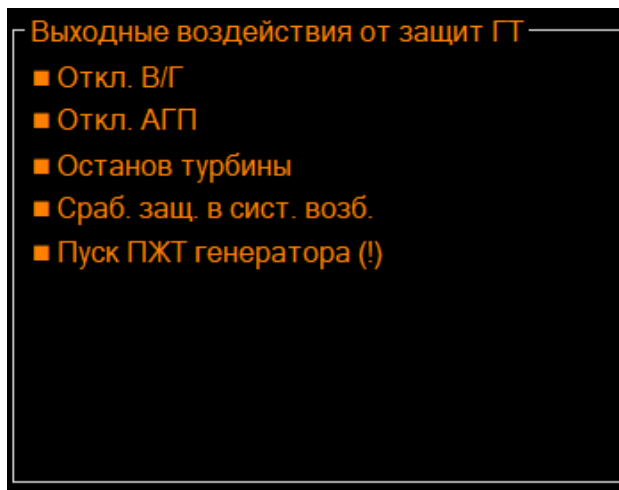


Рисунок 2.7 – выходные воздействия от защит ГТ

2.6 Всплывающее окно с действиями оперативного персонала

Так как не каждый работник способен держать в голове все действия, указанных в инструкциях, всплывающее окно с подробным описанием действий оперативного персонала помогает снизить развитие различных ошибочных ситуаций. Данная программа позволяет визуализировать краткие выдержки из инструкций для более слаженной и быстрой работы при устранении неполадок и ликвидации аварии в целом.

Действия оперативного персонала будут показаны во всплывающем окне, так как не каждому дежурному данная подсказка может пригодиться. Основные действия, применяемые независимо от аварийного режима, показаны в самой первой строке (рисунок 2.8).

Порядок действий оперативного персонала

- Зафиксировать сигнал записью в Оперативном журнале;
- Сообщить о случившемся вышестоящему оперативному персоналу;
- Установить причину неисправности (по возможности);
- Сообщить о случившемся персоналу СТСУ;
- Принять меры по устранению неисправности (приступить к выполнению мероприятий, предписанных настоящей инструкцией, и указаний, полученных от персонала СТСУ);
- (!) Пуск ПЖТ генератора осуществляется при необходимости (появление дыма, треск и т.д.).

Рисунок 2.8 – Основные действия, которые выполняются независимо от аварийного режима

Далее идут действия оперативного персонала, которые выполняются в зависимости от срабатывания определенной защиты (рисунок 2.9).

Продольная дифференциальная защита генератора (ΔG)

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г;
- Проверить гашение полей гидрогенератора по приборам на шкафах возбуждения или показаниям АСУТП;
- Осмотреть видимые токоведущие части генератора в зоне действия продольной дифференциальной защиты (от ТТ6(7) КГВ до ТТ1(3) КНВ), а также выпрямительный трансформатор ТВ; и трансформаторы напряжения ТН1-Г, ТН2-Г;
- Проконтролировать останов генератора;
- При возникновении пожара на гидрогенераторе приступить к его тушению, действуя согласно карточкам пожаротушения; (Визуализировать карточку пожаротушения)
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1,Н2,Н3;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС; (Выполнить расчет количества открываемых затворов и высоту их открытия)
- Отключить разъединитель Р-Г отключившегося генератора;
- Вывести генератор в ремонт.

Рисунок 2.9 – Действия, которые выполняются в зависимости от срабатывания определенной защиты

При срабатывании разных защит в различных комбинациях, действия оперативного персонала могут меняться. Далее действия оперативного персонала будут показаны автоматически программой на мониторе в виде всплывающего окна. Если срабатывает несколько защит, то всплывающее окно с действиями оперативного персонала выносится в свернутом виде (рисунок 2.10).

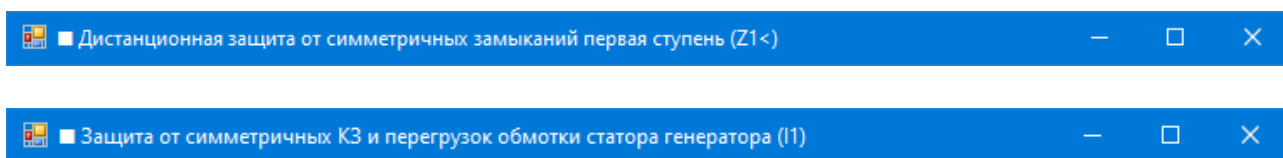


Рисунок 2.10 – Действия, которые выполняются в зависимости от срабатывания определенной защиты

2.7 Карточка пожаротушения

В случае, если в действиях оперативного персонала прописано требование по пожаротушению, то на главном экране можно открыть карточку пожаротушения, если в этом дежурный видит для себя необходимость. Действия прописаны в таблице 2.1, схема карточки пожаротушения генератора представлена на рисунке 2.11.

Таблица 2.1 – Карточка пожаротушения

Вызвать пожарную команду по телефону 9-01 с телефона 10-70 (10-71) или по телефону 01 через АТС п. Майна с телефона 4-12-96.
Сообщить о пожаре НСС по прямому телефону или по телефонам 13-70, 13-71.
НСС МГЭС – объявить по поисковой связи о пожаре.
ДИ ЦПУ - сообщить о пожаре в ПЧ, администрации ГЭС по списку №1, в центр мониторинга, объявить по МГЭС сбор членам ДПФ (место сбора - на монтажной площадке).
НСС МГЭС - отключить В-Г2, развозбудить Г2.
НСС МГЭС - открыть вручную затвор с эл. приводом ПТ2/2 и открыть затвор ПТ1/2. В случае отказа (задержки) в открытии затворов ПТ2/2, ПТ1/2 открыть затвор ПТ3/2.

НСС МГЭС - включить (продублировать пуск) НПТ с ЦПУ.
НСС МГЭС - отключить: автомат F1- “Питание цепей управления В/Г2” Р-Г2; РН-Г2; АГП; ТН1, ТН2, ТНн в ШГ2/Г2; ТН3, ТН4, ТН5 в ШУ НЕС Г2, автоматы QF2.1, QF2.2 начального возбуждения Г1 на п. 1ШЛД1, 2ШЛД1 ЦПТ; автомат питания КЗР на п МА23Г2.
НСС МГЭС - по команде НСС после проверки отсутствия напряжения включить Рз-Г2, установить п/з на шины постоянного тока ТП/Г2.
НСС МГЭС - провести инструктаж, выдать письменный допуск на тушение пожара старшему пожарного подразделения (РТП).
До прибытия ИТР ПТС и СЭ ответственным представителем для консультаций при РТП является НСС МГЭС.

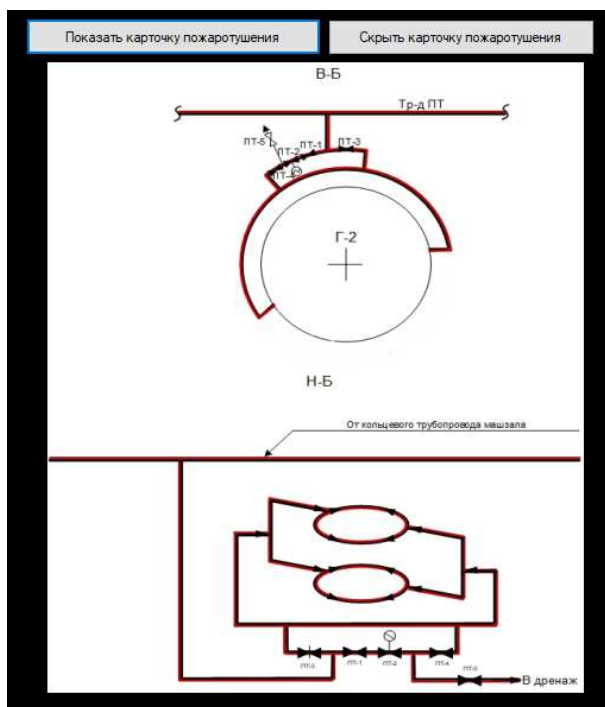


Рисунок 2.11 – Схема карточки пожаротушения генератора

2.8 Исходный код программы

Программное обеспечение написано в программе CSharp «VisualStudio» на объекто-ориентированном языке программирования. Пример исходного кода программы представлен на рисунке 2.12.


```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;

namespace WindowsFormsApp13
{
    class Program
    {
        public partial class Form1 : Form
        {
            public Form1()
            {
                InitializeComponent();
            }

            private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                label1.Text = "■ Продольная дифференциальная защита генератора (IΔG) ";
                label2.Text = "■ Межфазное короткое замыкание статора";
                label3.Text = "■ Откл. В/Г";
                label4.Text = "■ Откл. АП";
                label5.Text = "■ Останов турбины";
                label6.Text = "■ Сраб. защ. в сист. возб.";
                label7.Text = "■ Пуск ПДТ генератора (!)";
                pictureBox1.Image = Image.FromFile("D:\\12.jpg");
                Form2 f = new Form2();
                f.ShowDialog();
            }

            private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
            {
                label1.Text = " ";
                label2.Text = " ";
                label3.Text = " ";
                label4.Text = " ";
                label5.Text = " ";
                label6.Text = " ";
                label7.Text = " ";
                pictureBox1.Image = Image.FromFile("D:\\11.jpg");
            }
        }
    }
}

```

Рисунок 2.12 – Исходный код программы

3 Назначение и краткая характеристика защиты РЗА основного оборудования ГЭС

3.1 Назначение и состав

В состав комплекса МПЗ блока ГТ входят два взаиморезервируемых шкафа МБ2 (1-й комплект) и МБ3 (2-й комплект) типа ШЭ1111-179GT01(02) производства НПП «ЭКРА», включающие в себя защиты генератора и силового трансформатора, а также трансформатора выпрямительного и отпаечных(ого) трансформаторов(а) собственных нужд.

Наличие 2-х одинаковых комплектов защит, дублирующих друг друга, имеющих отдельное питание по оперативным цепям постоянного тока и отдельное подключение к измерительным трансформаторам тока и напряжения позволяет обеспечить как общее резервирование защит, так и аппаратное резервирование. Общими для обоих комплектов защит являются цепи КИВ-220.

Рассмотрим следующие защиты, которые примут участие в данном программном обеспечении (таблица 3.1):

Таблица 3.1 – Список защит РЗА

Наименование защиты	Обозначение
Продольная дифференциальная защита.	$I_{\Delta G}$
Защита от замыканий на землю обмотки статора.	$U_N (U_0)$
Защита обратной последовательности от	I_2

несимметричных коротких замыканий и перегрузок обмотки статора.	
Защита от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора.	I_1
Дистанционная защита от симметричных замыканий.	$Z1<$
Дистанционная защита от внешних междуфазных замыканий.	$Z2<$

3.2 Цепи тока

Каждый из комплектов защит имеет независимые друг от друга токовые цепи (таблица 3.2).

Для защит генератора используются трансформаторы тока (ТТ), установленные в каждой фазе генератора на главных выводах обмотки статора генератора и нулевых выводах обмотки статора генератора (ТТ установлены в камере нулевых выводов).

Таблица 3.2 – Место установки защит генератора

Обозначение ТТ	Место установки	Защиты Г
ТТ3(ТТ1)	Нулевые выводы обмотки статора Г.	$I_{\Delta G}; I_2; I_1;$ $Z1<; Z2<;$
ТТ7(ТТ6)	Главные выводы обмотки статора Г.	$I_{\Delta G};$

Для защит трансформатора блока используются разные трансформаторы тока, установленные в каждой фазе выводов трансформатора блока (ТБ) со стороны обмотки ВН и ТТ установленные в заземленной нейтрали обмоток ВН ТБ, соединенных в звезду. По низкой стороне ТБ используются ТТ, установленные в каждой фазе генератора на главных выводах обмотки статора генератора (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Место установки защит блочного трансформатора

Обозначение ТТ	Место установки	Защиты трансформатора блока Т
ТТ7(ТТ6)	Главные выводы обмотки статора Г.	$I_{\Delta T}$
ТТ15(ТТ16)	Нейтральные выводы ВН трансформатора бока.	$I_{0(груб)}; I_{0(чувств)}$

ТТ14(ТТ13)	Выводы ВН трансформатора блока.	$I_{\Delta T}$, $I > T$, $I1 > T$, РТ-ВН, РОТ1 Т; РОТ2 Т
------------	---------------------------------	---

Для защиты выпрямительного трансформатора используются ТТ установленные на выводах обмоток ВН и НН трансформатора ТВ (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Место установки защит выпрямительного трансформатора

Обозначение ТТ	Место установки	Защиты
ТТ9(ТТ10)	Выводы ВН трансформатора ТВ	$I \gg TE$; $I > TE$
ТТ11(ТТ12)	Выводы НН трансформатора ТВ	I_p ; $I_p >$; $I_p > R_g$; $I_p <$; $\Phi_i <$

Защиты трансформатора с.н. (ТСН) подключены к ТТ установленным со стороны обмотки ВН трансформатора.

3.3 Цепи напряжения

Каждый из комплектов защит имеет независимые друг от друга цепи напряжения.

Защиты генератора подключены к ТН1(ТН2), установленным на каждой фазе главных выводов, и к ТНн, установленном в нейтрали генератора.

ТН1(ТН2) – группа из однофазных ТН первичные обмотки которых подключены между каждой фазой главных выводов генератора и землей, а вторичные обмотки собираются: основная по схеме «звезда», дополнительная по схеме «разомкнутый треугольник».

ТНн – однофазный ТН подключен между нейтралью генератора и землей.

Цепи напряжения защит Г подключаются к обмотке «звезда» и обмотке «разомкнутый треугольник» ТН1 (ТН2), обмотке ТНн через переключающие устройства, установленные в шкафу ШГ:

Защиты Т подключены к ТН-Т установленному на стороне 13,8 кВ силового трансформатора в составе комплекса генераторного выключателя.

ТН-Т – группа из однофазных ТН первичные обмотки которых подключены между каждой фазой НН Т и землей соединяются в «звезду», а вторичные обмотки собираются: основная по схеме «звезда», дополнительная по схеме «разомкнутый треугольник».

Цепи напряжения МП защит 1-го комплекта и 2-го комплекта блочного трансформатора подключаются к трансформатору напряжения через автоматические выключатели. В каждом комплекте защит имеется устройство контроля исправности цепей напряжения генератора (КИН) для блокирования защит, которые могут ложно срабатывать при возникновении неисправностей в цепях трансформаторов напряжения (дистанционная защита).

При неисправности цепей ТН (обрыв одной, 2-х, 3-х фаз или нулевого провода цепей вторичных обмоток ТН, соединенных в «звезду» или «разомкнутый треугольник») устройство КИН действует на предупредительный сигнал и блокирует действия дистанционных защит.

При восстановлении нормального режима заблокированные защиты автоматически вводятся в работу.

3.4 Выходные цепи

Действие каждого шкафа защит на отключение выключателей, пуск УРОВ, отключение АПГ, гашение поля, разгрузку турбины, пуск пожаротушения и останов задается программно и осуществляется через соответствующие выходные реле в каждом комплекте защит.

3.5 Характеристика защит генератора

3.5.1 Продольная дифференциальная защита

Продольная дифференциальная защита генератора ($I\Delta G$) является основной быстродействующей защитой от междуфазных коротких замыканий в обмотке статора Г и на его выводах.

Защита выполнена в 3-х фазном исполнении и подключена к трансформаторам тока ТТ7(ТТ6) и ТТ3(ТТ1), установленным в главных и нулевых выводах Г.

Защита по принципу действия не работает при внешних коротких замыканиях и асинхронном режиме генератора.

Защита действует на:

- отключение генераторного выключателя;
- отключение АПГ;
- останов турбины;
- пуск АПГ Г.

3.5.2 Защита от замыканий на землю обмоток статора

Защита от замыканий на землю обмотки статора ($U_N U_0$) обеспечивает 100% охват обмотки статора генератора и имеет в своем составе три функциональных органа:

- орган основной гармоники (U_{0g});
- орган третьей гармоники (U_{03});
- орган напряжения обратной последовательности (U_2).

Орган основной гармоники реагирует на основную составляющую напряжения нулевой последовательности, защищает 85-95% витков обмотки статора Г со стороны главных выводов генератора и подключен к обмотке

разомкнутого треугольника ТН главных выводов генератора и имеет три ступени:

Первая ступень с уставкой $3U_0=5В$ действует на предупредительный сигнал.

Вторая ступень с уставкой 10В и выдержкой времени 0,5 с на разгрузку агрегата по активной мощности.

Третья ступень с уставкой 15В и выдержкой времени 0,5 с действует на:

- отключение генераторного выключателя;
- отключение АГП;
- останов турбины.

Орган третьей гармоники реагирует на отношение напряжения третьей гармоники нейтрали и главных выводов генератора, защищает порядка 30% витков обмотки статора со стороны нейтрали и подключен к обмотке разомкнутого треугольника ТН главных выводов и к ТН нейтрали генератора.

Орган третьей гармоники с выдержкой времени 0,5с действует на:

- отключение генераторного выключателя;
- отключение АГП;
- останов турбины.

Орган напряжения обратной последовательности блокирует действие земляной защиты статора генератора при внешних несимметричных к.з.

3.5.3 Защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и перегрузок

Защита обратной последовательности от несимметричных КЗ и перегрузок (I_2) предназначена для ликвидации недопустимых перегрузок генератора токами обратной последовательности при внешних несимметричных к.з. и других несимметричных режимах энергосистемы, а также при несимметричных к.з. в генераторе. Защита подключена к ТТЗ(ТТ1) установленным в нулевых выводах генератора. Защита реагирует на относительный ток обратной последовательности и содержит следующие функциональные блоки:

- сигнальный орган;
- пусковой орган;
- интегральный орган;
- отсечка.

Сигнальный орган имеет уставку срабатывания $I_2=0,11I_{ном}$ и с независимой от тока выдержкой времени действует на предупредительный сигнал.

Пусковой орган не имеет сигнализации и без выдержки времени с уставкой срабатывания $I_2=0,3I_{ном}$ запускает интегральный орган.

Интегральный орган срабатывает при несимметричных режимах, сопровождающихся токами I_2 с зависимой от тока выдержкой времени.

Характеристика срабатывания интегрального органа учитывает допустимые длительности протекания токов обратной последовательности в генераторе, а также процесс охлаждения генератора после устранения перегрузки.

Интегральный орган действует на:

- отключение генераторного выключателя;
- гашение поля Г.

Осечка I_2 является защитой от внешних несимметричных коротких замыканий, резервирует защиты оборудования 220 кВ и генератора, имеет две степени.

I степень осечки I_2 имеет три независимые выдержками времени и действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателя СВ1 (СВ2) - с $\Delta t_1=6,5$ с;
- отключение и пуск УРОВ выключателя В-Д79 (СВ1, В-Д80) - с $\Delta t_2=7,0$ с;
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г - с $\Delta t_3=7,5$ с.

При оперативном ускорении I степень осечки I_2 с выдержкой времени 0,5 сек действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателей В-Д79 (СВ1, В-Д80) и СВ1 (СВ2);
- отключение генераторного выключателя;
- гашение поля Г.

II степень осечки I_2 без выдержки времени действует на:

- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г.

3.5.4 Защита от симметричных КЗ и перегрузок

Защита от симметричных КЗ и перегрузок (I_1) предназначена для ликвидации недопустимых перегрузок токами прямой последовательности обмотки статора генератора.

Защита подключена к ТТЗ (ТТ1), установленным со стороны нулевых выводов генератора.

Защита выполнена с зависимой от тока I_1 выдержкой времени и содержит следующие функциональные органы:

- сигнальный;
- пусковой;
- интегральный;
- токовая отсечка.

Сигнальный орган срабатывает с независимой выдержкой времени при токе статора генератора более $1,07 I_{ном}$ и действует на предупредительный сигнал.

Пусковой орган не имеет выдержки времени, при увеличении тока статора генератора более $1,10 I_{\text{ном}}$ действует на пуск интегрального органа.

Интегральный орган имеет зависимость от тока I_1 выдержку времени с учетом интегральной перегрузочной характеристики генератора токами прямой последовательности и действует на:

- отключение генераторного выключателя;
- гашение поля Г.

Токовая отсечка I_1 является резервной защитой от внешних симметричных коротких замыканий, резервирует защиты оборудования 220 кВ и генератора, выполнена с пуском по минимальному напряжению.

При увеличении тока статора генератора более $1,22 I_{\text{ном}}$ и одновременном снижении напряжения на главных выводах генератора менее $0,66 U_{\text{ном}}$ токовая отсечка с тремя независимыми выдержками времени действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателя СВ1 (СВ2) - с $\Delta t_1=6,5$ с;
- отключение и пуск УРОВ выключателя В-Д79 (СВ1, В-Д80) - с $\Delta t_2=7,0$ с;
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г - с $\Delta t_3=7,5$ с.

При оперативном ускорении отсечка I_1 с выдержкой времени 0,5 сек действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателей В-Д79 (СВ1, В-Д80) и СВ1 (СВ2);
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г.

3.5.5 Дистанционная защита от симметричных КЗ

Дистанционная защита от симметричных КЗ ($Z1<$) резервирует основные защиты генератора и блочного трансформатора при междуфазных коротких замыканиях (ближнее резервирование).

Защита выполнена на основе дистанционного органа, измеряющего междуфазное сопротивление (фазы А и В) $Z1$ до места повреждения и подключенных к ТТЗ(ТТ1) в нейтрали генератора и ТН главных выводов генератора.

Дистанционная защита от симметричных КЗ имеет две ступени с независимыми выдержками времени, не работает ложно при качаниях, блокируется при неисправностях цепей напряжения. Действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателей В-Д79 (СВ1, В-Д80) и СВ1 (СВ2) – с $\Delta t_1=1$ с;
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г - с $\Delta t_2=1,5$ с.

3.5.6 Дистанционная защита от внешних междуфазных КЗ

Дистанционная защита от внешних междуфазных КЗ ($Z2<$) резервирует защиты оборудования 220 кВ, а также основные защиты генератора и блочного трансформатора при междуфазных коротких замыканиях (дальнее резервирование).

Защита выполнена на основе дистанционных органов, измеряющих междуфазные сопротивление $Z2$ до места повреждения и подключенных к ТТЗ(ТТ1) в нейтрали генератора и ТН главных выводов генератора и имеет более чувствительные уставки чем защита $Z1<$.

Дистанционная защита от внешних междуфазных КЗ имеет три ступени с независимыми выдержками времени, блокируется при неисправностях цепей напряжения. Действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателя СВ1 (СВ2) - с $\Delta t1=10$ с;
- отключение и пуск УРОВ выключателя В-Д79 (СВ1, В-Д80) - с $\Delta t2=10,5$ с;
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г- с $\Delta t3=11$ с.

При оперативном ускорении дистанционная защита от междуфазных КЗ ($Z2<$) с выдержкой времени 0,5 сек действует на:

- отключение и пуск УРОВ выключателей В-Д79 (СВ1, В-Д80) и СВ1 (СВ2);
- отключение генераторного выключателя и гашение поля Г.

4 Обслуживание в аварийных режимах

Большинство неисправностей комплектов защит могут устраняться только персоналом службы РЗА (СТСУ) поэтому при прохождении сигналов о неисправности комплектов защит блока генератор-трансформатор, оперативному персоналу необходимо:

- зафиксировать сигнал записью в оперативном журнале;
- сообщить о случившемся вышестоящему оперативному персоналу;
- установить причину неисправности (по возможности);
- сообщить о случившемся персоналу СТСУ;
- принять меры по устранению неисправности (приступить к выполнению мероприятий, предписанных настоящей инструкцией, и указаний, полученных от персонала СТСУ).

При срабатывании защит генератора, блочного трансформатора, выпрямительного трансформатора, трансформатора с.н. оперативный персонал обязан:

- определить, что произошло (по сигнализации в АСУ ТП и свечению светодиодных индикаторов на лицевой панели терминала);

- зафиксировать сигналы срабатывания защит, поступившие на АРМ, (аварийные и предупредительные) записью в Оперативном журнале;
- зафиксировать сигналы срабатывания защит по свечению светодиодных индикаторов на лицевой панели терминала записью в Оперативном журнале;
- сообщить о случившемся вышестоящему оперативному персоналу;
- осмотреть комплекты защит генератора и отключившиеся коммутационные аппараты. Зафиксировать результаты осмотра в Оперативном журнале;
- сообщить о результатах осмотра и записях в журнале вышестоящему оперативному персоналу; сообщить о случившемся персоналу СТСУ.

Также разработка нового программного обеспечения позволит оперативному персоналу не тратить время на определение аварии, так как программа выведет на монитор дежурному полную информацию о произошедшей аварии и вынесет полную инструкцию по её устранению, включая также профилактические действия.

4.1 Анализ действия оперативного персонала исполнительного уровня Майнской ГЭС в послеаварийном режиме

Анализ действий оперативного персонала был проведен в целях конкретизации и точности выполнения необходимых действий для ликвидации аварии и устранения неполадок основного оборудования. Данная информация, собранная из местных и типовых инструкций, выведена на монитор в виде всплывающего окна.

4.1.1 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора

В случае срабатывания продольной дифференциальной защиты генератора, необходимо выполнить следующие действия:

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г;
- Проверить гашение полей гидрогенератора по приборам на шкафах возбуждения или показаниям АСУТП;
- Осмотреть видимые токоведущие части генератора в зоне действия продольной дифференциальной защиты (от ТТ6(7) КГВ до ТТ1(3) КНВ), а также выпрямительный трансформатор ТВ и трансформаторы напряжения ТН1-Г, ТН2-Г;
- Проконтролировать останов генератора;
- При возникновении пожара на гидрогенераторе приступить к его тушению, действуя согласно карточкам пожаротушения
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1,Н2,Н3;

- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- Отключить разъединитель Р-Г отключившегося генератора;
- Вывести генератор в ремонт.

4.1.2 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора

В случае срабатывания защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора (I_2), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием резервных защит (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Проверить отключение трансформатора блока со стороны 220 кВ;
- Осмотреть выключатели СВ-220 кВ и В-220 кВ трансформатора блока;
- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Проверить срабатывание 1 степени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- При отказе гидромехзащит выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1, Н2, Н3.

При отключении генератора действием резервной защиты I_2 (основные защиты генератора не работали):

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г, отключение СВ-220 кВ, отключение В-220 кВ трансформатора блока;
- Проверить гашение полей гидрогенератора по приборам на шкафах возбуждения или показаниям АСУТП;
- Осмотреть зону действия резервных защит (генератор, трансформатор, ошиновка трансформатора, выпрямительный трансформатор ТВ, трансформатор собственных нужд Т21, трансформаторы напряжения ТН, ТН1, ТН2);
- Проверить срабатывание 1 степени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- При отказе гидромехзащит выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1, Н2, Н3;
- Выяснить причину отказа основных защит;
- Отключить разъединитель Р-Г отключившегося генератора;
- При необходимости, после осмотра вывести генератор в ремонт.

4.1.3 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора

В случае срабатывания защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора (I_1), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием резервных защит (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Проверить отключение трансформатора блока со стороны 220 кВ;
- Осмотреть выключатели СВ-220 кВ и В-220кВ трансформатора блока;
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1, Н2, Н3.

При отключении генератора действием резервной защиты I_2 (основные защиты генератора не работали):

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г, отключение СВ-220 кВ, отключение В-220 кВ трансформатора блока;
- Проверить гашение полей гидрогенератора по приборам на шкафах возбуждения или показаниям АСУТП;
- Осмотреть зону действия резервных защит (генератор, трансформатор, ошиновка трансформатора, выпрямительный трансформатор ТВ, трансформаторы собственных нужд Т11, Т12, трансформаторы напряжения ТН, ТН1, ТН2);
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1,Н2,Н3;
- Выяснить причину отказа основных защит;
- Отключить разъединитель Р-Г отключившегося генератора;
- При необходимости, после осмотра вывести генератор в ремонт.

4.1.4 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от симметричных замыканий, первая ступень ($Z1<$)

В случае срабатывания дистанционной защиты от симметричных замыканий первая ступень ($Z1<$), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием первой ступени дистанционной защиты $Z1<$ (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Проверить отключение трансформатора блока со стороны 220 кВ;
- Осмотреть выключатели СВ-220 кВ и В-220кВ трансформатора блока;
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1,Н2,Н3;
- Осмотреть защиты линий 220 кВ. Проверить отсутствие сигналов о неисправности линейных защит 220 кВ, которые могли привести к отказу отключения выключателя;
- Осмотреть цепи ТН1 ТН2, проверить температуру ТН1, ТН2 с помощью тепловизора.

При отключении генератора действием дистанционной защиты $Z1<$ (основные защиты генератора не работали):

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г, отключение СВ-220 кВ, отключение В-220 кВ трансформатора блока, отключение А-ТСН;
- Проверить гашение полей гидрогенератора;
- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- При наличии резерва, включить в сеть резервные генераторы для восстановления графика нагрузки с разрешения ДД ХРДУ;
- Проконтролировать работу АВР щитов СН Н1, Н2, Н3;
- Выяснить причину отказа основных защит;
- Отключить разъединитель Р-Г отключившегося генератора;
- При необходимости, после осмотра вывести генератор в ремонт по типовому бланку переключений.

4.1.5 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий, вторая ступень ($Z2<$)

При срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий вторая ступень ($Z2<$), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием первой ступени дистанционной защиты $Z_{2<}$ (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Проверить отключение трансформатора блока со стороны 220 кВ;
- Осмотреть выключатели СВ-220 кВ и В-220кВ трансформатора блока;
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- Осмотреть защиты линий 220 кВ. Проверить отсутствие сигналов о неисправности линейных защит 220 кВ, которые могли привести к отказу отключения выключателя;
- Осмотреть цепи ТН1 ТН2, проверить температуру ТН1, ТН2 с помощью тепловизора.

При отключении трансформатора действием первой ступени дистанционной защиты $Z_{2<}$ (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Проверить отключение трансформатора блока со стороны 220 кВ;
- Осмотреть выключатели СВ-220 кВ и В-220кВ трансформатора блока;
- Проверить срабатывание 1 ступени защиты от разгона или защит от вибрации и останов генератора;
- Если генератор остался на холостом ходу выполнить останов ГА вручную;
- Проконтролировать останов генератора;
- Осмотреть защиты линий 220 кВ. Проверить отсутствие сигналов о неисправности линейных защит 220 кВ, которые могли привести к отказу отключения выключателя;
- Осмотреть цепи ТН1 ТН2, проверить температуру ТН1, ТН2 с помощью тепловизора.

4.1.6 Действия оперативного персонала Майнской ГЭС при срабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0)

В случае срабатывания защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0), необходимо выполнить следующие действия:

Первая ступень защиты от замыкания на землю при увеличении $3U_0$ более 5В действует на предупредительный сигнал.

При прохождении предупредительного сигнала о снижении изоляции в цепи генераторного напряжения оперативный персонал должен:

- Проконтролировать текущие значения $3U_0$ по мониторам на терминалах МПЗ;

- Выполнить осмотр оборудования, входящего в зону действия защиты (обмотка статора от нейтрали генератора до главных выводов, генераторный комплекс НЕС, ТН1, ТН2, токопроводы 13,8 кВ, ТСН, обмотка НН трансформатора блока).

- После отключения выключателя генераторного выключателя выполнить контроль текущих значений напряжения нулевой последовательности U_{0T} на трансформаторе блока. Если напряжение нулевой последовательности U_{0T} , контролируемое со стороны трансформатора более 5 вольт следует предположить, что ухудшение изоляции произошло в зоне между выключателем и обмоткой НН блочного трансформатора или обмотками ВН ТСН в этом случае вывести из работы блочный трансформатор с ТСН согласно типовому бланку переключений;

- Произвести внешний осмотр оборудования, входящего в зону действия защиты (обмотка статора полностью, обмотка ВН трансформатора возбуждения ТВ, обмотка НН трансформатора блока, обмотки ВН ТСН, ТТ1-Г÷ТТ7-Г, ТН1, ТН2, ТНн, ТН-Т, оборудование генераторного напряжения (В-Г, Р-Г, токопроводы 13,8 кВ, ОПН и конденсаторы НЕСС-80S));

- В случае отсутствия видимых повреждений необходимо произвести ВВИ статора (блочного трансформатора) и оборудования, входящего в зону действия защиты.

Вторая ступень защиты от замыкания на землю при увеличении $3U_0$ более 10В с выдержкой времени 0,5с действует на разгрузку агрегата по активной мощности. При работе второй ступени защиты на разгрузку агрегата оперативный персонал должен:

- Проконтролировать текущие значения $3U_0$;

- Произвести внешний осмотр оборудования, входящего в зону действия защиты (обмотка статора полностью, обмотка ВН трансформатора возбуждения ТВ, обмотка НН трансформатора блока, обмотки ВН ТСН,

- ТТ1-Г÷ТТ7-Г, ТН1, ТН2, ТНн, ТН-Т, оборудование генераторного напряжения (В-Г, Р-Г, токопроводы 13,8 кВ, ОПН и конденсаторы НЕСС-80S));

- Вывести генератор в ремонт согласно типовому бланку переключений;

- В случае отсутствия видимых повреждений необходимо произвести ВВИ статора (блочного трансформатора) и оборудования, входящего в зону действия защиты.

При действии третьей ступени защиты от замыкания на землю происходит отключение генератора выключателем В-Г, гашение полей ГГ и ВГ. В зависимости от места повреждения возможно срабатывание одного из органов защиты, либо обоих органов с выдачей сигналов « $U_0G(\Delta t)$, $U_0Z(\Delta t)$ ».

При отключении генератора третьей ступенью защиты от замыканий на землю оперативный персонал должен:

- Проверить отключение генератора от сети выключателем В-Г;
- Проверить гашение полей гидрогенератора;
- Проконтролировать автоматический останов ГА;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
 - Выполнить контроль текущих значений напряжения нулевой последовательности U_{0T} на трансформаторе блока. Если напряжение нулевой последовательности U_{0T} , контролируемое со стороны трансформатора более 15 вольт следует предположить, что ухудшение изоляции произошло в зоне между выключателем и обмоткой НН блочного трансформатора или обмотками ВН ТСН в этом случае вывести из работы блочный трансформатор с ТСН согласно типовому бланку переключений;
 - произвести внешний осмотр оборудования, входящего в зону действия защиты (обмотка статора полностью, обмотка ВН трансформатора возбуждения ТВ, обмотка НН трансформатора блока, обмотки ВН ТСН, ТТ1-Г÷ТТ7-Г, ТН1, ТН2, ТНн, ТН-Т, оборудование генераторного напряжения (В-Г, Р-Г, токопроводы 13,8 кВ, ОПН и конденсаторы HECS-80S));
 - Вывести генератор в ремонт по типовому бланку переключений;
 - В случае отсутствия видимых повреждений необходимо провести ВВИ статора и оборудования генераторного напряжения. При нормальном состоянии изоляции генератор можно включать в сеть после проверки и выяснения причины срабатывания защиты.
 - Возбуждение генератора для этого необходимо производить на ручном управлении, контролируя $3U_0$.

4.2 Анализ действия начальника смены станции Майнской ГЭС в послеаварийном режиме

4.2.1 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании продольной дифференциальной защиты генератора

В случае срабатывания продольной дифференциальной защиты генератора, необходимо выполнить следующие действия:

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;

- При наличии резерва, включить в сеть резервные генераторы для восстановления графика нагрузки с разрешения ДД ХРДУ;
- Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
- Обеспечить контроль допустимых параметров (P, Q, U, I, f и др.) оставшегося в работе оборудования;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакасское РДУ.

4.2.2 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора

В случае срабатывания защиты от несимметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора (I2), необходимо выполнить следующие действия:

- В случае срабатывания сигнального органа токовой защиты обратной последовательности, НСС необходимо сообщить ДД ХРДУ и предложить отключить в системе «источник» несимметрии. Если несимметрия на генераторах превысит 10% от тока номинального;

- Разгрузить генераторы по току статора до величины, при которой разность токов не превышает 10% номинального тока с разрешения ДД ХРДУ.

При отключении трансформатора действием резервных защит (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился);

- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;

- произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;

- Осмотреть защиты линий 220 кВ. Проверить отсутствие сигналов о неисправности линейных защит 220 кВ, которые могли привести к отказу отключения выключателя с разрешения ДД ХРДУ;

При отсутствии замечаний допускается повторное включение СВ-220 кВ и отключившегося блока генератор-трансформатор с контролем теплового режима работы оборудования:

- Запрещается включение трансформатора без установления причины отключения, если в распределительных устройствах, к которым он присоединен производятся ремонтные работы или оперативные переключения;

- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакасское РДУ;

При отключении генератора действием резервной защиты I2 (основные защиты генератора не работали):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
 - Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро по команде НСС СШГЭС;
 - При наличии резерва, включить в сеть резервные генераторы для восстановления графика нагрузки с разрешения ДД ХРДУ;
 - Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
 - Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакасское РДУ.

4.2.3 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора

В случае срабатывания защиты от симметричных КЗ и перегрузок обмотки статора генератора (I1), необходимо выполнить следующие действия:

В случае срабатывания сигнального органа защиты от симметричных перегрузок обмотки статора генератора:

- принять меры по перераспределению токовой нагрузки между генераторами станции с разрешения ДД ХРДУ.

При отключении трансформатора действием резервных защит (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
 - Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
 - Осмотреть защиты линий 220 кВ. Проверить отсутствие сигналов о неисправности линейных защит 220 кВ, которые могли привести к отказу отключения выключателя;
 - При отсутствии замечаний допускается повторное включение СВ-220 кВ и отключившегося блока генератор-трансформатор с контролем теплового режима работы оборудования;
 - Запрещается включение трансформатора без установления причины отключения, если в распределительных устройствах, к которым он присоединен производятся ремонтные работы или оперативные переключения.

- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

При отключении генератора действием резервной защиты I2 (основные защиты генератора не работали):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- При наличии резерва, включить в сеть резервные генераторы для восстановления графика нагрузки с разрешения ДД ХРДУ;
- Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

4.2.4 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от симметричных замыканий, первая ступень (Z1<)

В случае срабатывания дистанционной защиты от симметричных замыканий первая ступень (Z1<), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием первой ступени дистанционной защиты Z1<(защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- При отсутствии замечаний допускается повторное включение СВ-220 кВ и выключателя 220 кВ отключившегося блока генератор-трансформатор с контролем теплового режима работы оборудования с разрешения ДД ХРДУ;
- Запрещается включение трансформатора без установления причины отключения, если в распределительных устройствах, к которым он присоединен, производятся ремонтные работы или оперативные переключения.
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

При отключении генератора действием дистанционной защиты $Z1<$ (основные защиты генератора не работали):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

4.2.5 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий, вторая ступень ($Z2<$)

При срабатывании дистанционной защиты от внешних междуфазных замыканий вторая ступень ($Z2<$), необходимо выполнить следующие действия:

При отключении трансформатора действием первой ступени дистанционной защиты $Z2<$ (защиты от внутренних повреждений не работали, выключатель генератора действием МП-защит не отключился):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- При отсутствии замечаний допускается повторное включение СВ-220 кВ и выключателя 220 кВ отключившегося блока генератор-трансформатор с контролем теплового режима работы оборудования с разрешения ДД ХРДУ;
- Запрещается включение трансформатора без установления причины отключения, если в распределительных устройствах, к которым он присоединен производятся ремонтные работы или оперативные переключения.
- отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

При отключении генератора действием дистанционной защиты $Z1<$ (основные защиты генератора не работали):

- Доложить о срабатывании защиты НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;

- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

4.2.6 Действия начальника смены станции Майнской ГЭС при срабатывании защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0)

В случае срабатывания защиты от замыканий на землю обмотки статора (UNU0), необходимо выполнить следующие действия:

Первая ступень защиты от замыкания на землю при увеличении $3U_0$ более 5В действует на предупредительный сигнал.

При прохождении предупредительного сигнала о снижении изоляции в цепи генераторного напряжения начальник смены станции должен:

- Доложить об увеличении напряжения нулевой последовательности на генераторе НСС СШГЭС и ДД ХРДУ;
- При увеличении $3U_0$ более 5В по согласованию с главным инженером СШГЭС и ДД ХРДУ генератор разгрузить и отключить от сети в кратчайшие сроки;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

Вторая ступень защиты от замыкания на землю при увеличении $3U_0$ более 10В с выдержкой времени 0,5с действует на разгрузку агрегата по активной мощности. При работе второй ступени защиты на разгрузку агрегата начальник смены станции должен:

- Согласовать с ДД ОДУ и отключить генератор от сети в кратчайшие сроки;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

При действии третьей ступени защиты от замыкания на землю происходит отключение генератора выключателем В-Г, гашение полей ГГ и ВГ. В

зависимости от места повреждения возможно срабатывание одного из органов защиты, либо обоих органов с выдачей сигналов « $U_0G(\Delta t)$, $U_0Z(\Delta t)$ ».

При отключении генератора третьей ступенью защиты от замыканий на землю начальник смены станции должен:

- Обеспечить пропуск воды через водопропускные сооружения в необходимом объеме (эксплуатационный водосброс), уменьшить при возможности и необходимости сбросы в НБ от СШГЭС;
- При наличии резерва, включить в сеть резервные генераторы для восстановления графика нагрузки с разрешения ДД ХРДУ;
- Произвести оповещение главного инженера, руководителей подразделений ГЭС и подрядных организаций согласно спискам, дежурного персонала центра мониторинга РусГидро;
- Зафиксировать прошедшие сигналы, произвести распечатку сигналов АСУ-ТП;
- Отправить оперативные уведомления в РусГидро, Ростехнадзор, ОДУ Сибири, Хакаское РДУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации на тему «Мониторинг допустимости послеаварийных режимов ГЭС» было выполнено программное обеспечение на программе С# «VisualStudio» на объектно-ориентированном языке программирования на основе существующих местных и типовых инструкций по ликвидации аварий и устранения неполадок основного оборудования. Данное программное обеспечение выполнено с целью минимизировать количество ошибок персонала, время ликвидации аварии, финансовые затраты предприятия и силы оперативного персонала. Алгоритм

позволит решить такую проблему, как возможность ошибочных или алогичных действий оперативного персонала во время возникновения и ликвидации аварийных режимов на оборудовании электрических станций и ограниченного времени анализа большого объема необходимой информации. Также были исследованы реальные действия оперативного персонала Майнской ГЭС для ликвидации аварии и устранения неполадок, для более точной передачи необходимой информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Инструкция по эксплуатации 13.4.2 «Система автоматического управления гидроагрегатом Майнской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 36 стр.
2. Инструкция по эксплуатации 13.4.3 «Стационарной системы виброконтроля гидроагрегатов Майнской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 26 стр.
3. Инструкция по эксплуатации 13.4.7 «Устройства управления, контроля и защиты электрооборудования собственных нужд Майнской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 20 стр.
4. Инструкция по эксплуатации 13.4.10 «Релейных защит блоков генератор-трансформатор Майнской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 37 стр.
5. Инструкция по эксплуатации 13.4.21 «Системы возбуждения СТС-2П-510-2050-2,5 УХЛ4 гидрогенераторов Майнской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 42 стр.
6. Инструкция по эксплуатации 7.22 «Электрических защит гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 38 стр.
7. Инструкция по эксплуатации 5.38 «Гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС СВФ1-1285/275-42УХЛ4». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 56 стр.
8. Инструкция по эксплуатации 5.44 «Трансформаторов ОРЦ-533000/500-У1 Т1÷Т5». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 59 стр.
9. Инструкция по эксплуатации 4.2 «Инструкция по предотвращению и ликвидации технологических нарушений в электрической части Саяно-Шушенской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 80 стр.
10. Инструкция по эксплуатации 7.46 «Электрических защит блочных трансформаторов Саяно-Шушенской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 37 стр.

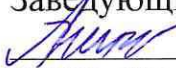
11. Инструкция по эксплуатации 4.3 «Инструкция по предотвращению и ликвидации технологических нарушений на гидротурбинном и гидромеханическом оборудовании Саяно-Шушенской ГЭС». – Филиал ПАО «РусГидро» – «Саяно-Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного». – 37 стр.
12. «Правила переключения в электроустановках». – Москва.:Министерство энергетики Российской Федерации»,2018. – 160 стр.
13. «Правила ликвидации аварий». – Москва.:Министерство энергетики Российской Федерации»,2018. – 63 стр.

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. Чабанов
подпись, дата инициалы, фамилия


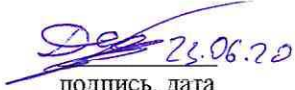

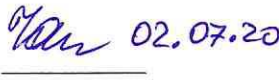
« 2 » 07 2020 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**МОНИТОРИНГ ДОПУСТИМОСТИ ПОСЛЕАВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ
ГЭС**

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

13.04.02.06 Гидроэлектростанции

Научный руководитель	 подпись, дата	<u>Начальник оперативной службы филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»</u> должность	<u>И.Ю. Погоняйченко</u> инициалы, фамилия
Выпускник	 подпись, дата	<u>Инженер 1 категории службы РЗАиМ филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»</u> должность	<u>А.А. Демшин</u> инициалы, фамилия
Рецензент	 подпись, дата	<u>Инженер 1 категории службы РЗАиМ филиала ПАО «РусГидро» - «Саяно- Шушенская ГЭС имени П.С. Непорожного»</u> должность	<u>М.С. Размахнин</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролёр	 подпись, дата		<u>А.А. Чабанова</u> инициалы, фамилия

Саяногорск; Черемушки 2020