

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Реконструкция электрической части системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»

Обучающийся

Д. В. Грдинарь

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н. проф., П.А. Николаев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

В работе осуществлена реконструкция электрической части участка системы собственных нужд электрической станции на примере АО «Вилюйская ГЭС-3».

Основной гипотезой в работе является предположение, что в результате внедрения новых схемных решений и модернизации оборудования вследствие разработки проекта реконструкции системы собственных нужд на АО «Вилюйская ГЭС-3», будут значительно повышены показатели и характеристики надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом. Данная гипотеза подтверждена в работе на основе расчётно-аналитических доводов.

Результатом работы является разработка проекта реконструкции системы собственных нужд на АО «Вилюйская ГЭС-3», после которой будут значительно повышены показатели и характеристики надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 81 печатная страница и графической частью, содержащей шесть основных чертежей, выполненных в САПР «AutoCAD».

Расчётно-пояснительная записка работы состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка использованных источников из 20 наименований. Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» с использованием для визуализации данных и полученных результатов 12 таблиц и 9 рисунков.

## Содержание

Введение .....	4
1 Исходная характеристика электрической части системы собственных нужд .....	7
1.1 Характеристика схемы и оборудования АО «Виллойская ГЭС-3» .....	7
1.2 Характеристика схемы и оборудования системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» .....	10
1.3 Требования, предъявляемые к системам собственных нужд энергетических объектов .....	14
2 Реконструкция электрической части системы собственных нужд.....	20
2.1 Расчёт электрических нагрузок участка собственных нужд.....	20
2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции собственных нужд..	24
2.3 Расчёт токов короткого замыкания в системе собственных нужд .....	27
2.4 Выбор и проверка проводников в системе собственных нужд.....	33
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе собственных нужд .....	37
2.6 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в системе собственных нужд .....	44
2.7 Мероприятия по охране труда и технике безопасности в системе собственных нужд .....	52
3 Расчёт технико-экономических показателей проекта реконструкции .....	65
Заключение .....	76
Список используемых источников.....	79

## Введение

Известно, что гидроэлектростанции (далее – ГЭС) являются важной составляющей в системе электроэнергетики многих стран мира.

Они преобразуют энергию движущейся воды в электрическую энергию. Для обеспечения своей деятельности и поддержания работоспособности, гидроэлектростанции имеют системы собственных нужд (далее – системы СН).

Системы собственных нужд, которые применяются на современных гидроэлектростанциях, представляют собой комплекс технологического оборудования, электрооборудования и автоматики, обеспечивающего функционирование ГЭС независимо от внешних источников питания.

Также системы СН питают системы контроля и учёта электроэнергии, системы подогрева температуры воздуха в производственных помещениях и подогрева масла в маслонаполненном оборудовании. Кроме того, системы СН также питают многочисленные потребители вторичных цепей, обеспечивая надёжную защиту, нужный уровень автоматизации и аварийного оповещения персонала.

Известно, что в случае нарушения работы системы СН, возможна вероятность аварии на самой электростанции, что повлечёт технические, экономические и экологические негативные последствия.

Таким образом, система обеспечения собственных нужд является одним из важнейших технологических систем, обеспечивающих надёжную работу гидроэлектростанций отечественной и мировой электроэнергетики.

Кроме того, системы СН играют ключевую роль в обеспечении непрерывности и безопасности работы ГЭС.

Известно, что эти системы требуют постоянного мониторинга, технического обслуживания и, при необходимости, модернизации, а также внедрения новых схемных решений в случае подключения новых ответственных потребителей.

Следовательно, реконструкция участков системы СН на электростанциях является актуальной задачей, способной значительно повысить параметры надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом.

Данные аспекты обуславливают практическую значимость и актуальность данной работы.

Основной целью работы является реконструкция электрической части участка системы собственных нужд электрической станции на примере АО «Вилюйская ГЭС-3».

Основной гипотезой в работе является предположение, что в результате внедрения новых схемных решений и модернизации оборудования вследствие разработки проекта реконструкции системы собственных нужд на АО «Вилюйская ГЭС-3», будут значительно повышены показатели и характеристики надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом. Данную гипотезу планируется доказать в работе, основываясь на расчётах и аналитических доводах.

«Объектом исследования является электрическая часть участка системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Предметом исследования выступают схема и оборудование системы собственных нужд объекта исследования» [3].

Для реализации основной цели, в работе необходимо провести решение следующих основных поставленных задач:

- провести детальный анализ исходных данных по объекту проектирования. Для этого в работе рассматривается общая характеристика схемы и оборудования АО «Вилюйская ГЭС-3», а также приводится детальное описание схемы и оборудования системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3». Кроме того, приводятся требования, предъявляемые к системам собственных нужд

энергетических объектов;

- на основании приведённых исходных данных по объекту проектирования, с учётом требований нормативной документации, необходимо предложить и обосновать мероприятия по реконструкции участка системы собственных нужд объекта исследования;
- осуществить разработку мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения объекта проектирования, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности;
- провести расчёт необходимых экономических показателей, необходимых для реализации предложенного проекта электроснабжения.

Таким образом, установлено, что все принятые технические решения в работе должны быть подтверждены соответствующими практическими расчётами и проверками.

Результатом работы является разработка проекта реконструкции системы собственных нужд на АО «Вилюйская ГЭС-3», после которой будут значительно повышены показатели и характеристики надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом.

В работе применяются методы анализа нормативной литературы, метод аналогии (сравнения), а также основные электротехнические и экономические методы расчёта.

Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, научная литература, учебные пособия, типовые проекты, а также интернет-источники.

# **1 Исходная характеристика электрической части системы собственных нужд**

## **1.1 Характеристика схемы и оборудования АО «Вилюйская ГЭС-3»**

Далее в работе, с целью уточнения технических характеристик исходных данных, а также условий на выполнение проекта, проводится краткая характеристика схемы и оборудования АО «Вилюйская ГЭС-3», на которой далее будет рассматриваться реконструкция участка собственных нужд.

Гидроэлектростанция Вилюйская ГЭС-3 (Светлинская ГЭС) расположена на реке Вилюй у посёлка Светлый Республики Саха (Якутия).

Она является одной из крупнейших гидроэлектростанций в Республике и одной из самых молодых в регионе [1]. Проект данной ГЭС был разработан в 1978 году, строительство началось в 1984 г., а первый энергоблок введён в эксплуатацию в 2004 г. Строительство Вилюйской ГЭС-3 было связано с потребностью в электроэнергии для промышленности и населения Якутии.

Вилюйская ГЭС-3 непосредственно входит в состав энергетической системы Якутии, обеспечивая электроэнергией регион и даже соседние области.

Кроме того, Вилюйская ГЭС-3 имеет важное социальное значение для региона, создавая рабочие места и обеспечивая население и промышленность электроэнергией.

Вилюйская ГЭС-3 по производству электроэнергии является одним из лидеров региона, производя более 800 млн. кВт·ч ежегодно. В 2022 году было произведено 823 млн. кВт·ч [2].

Данная организация непосредственно отвечает за организацию и контроль производственного процесса на Вилюйской ТЭЦ-3.

План расположения Вилюйской ГЭС-3 на реке Вилюй показан в работе на рисунке 1 [13].

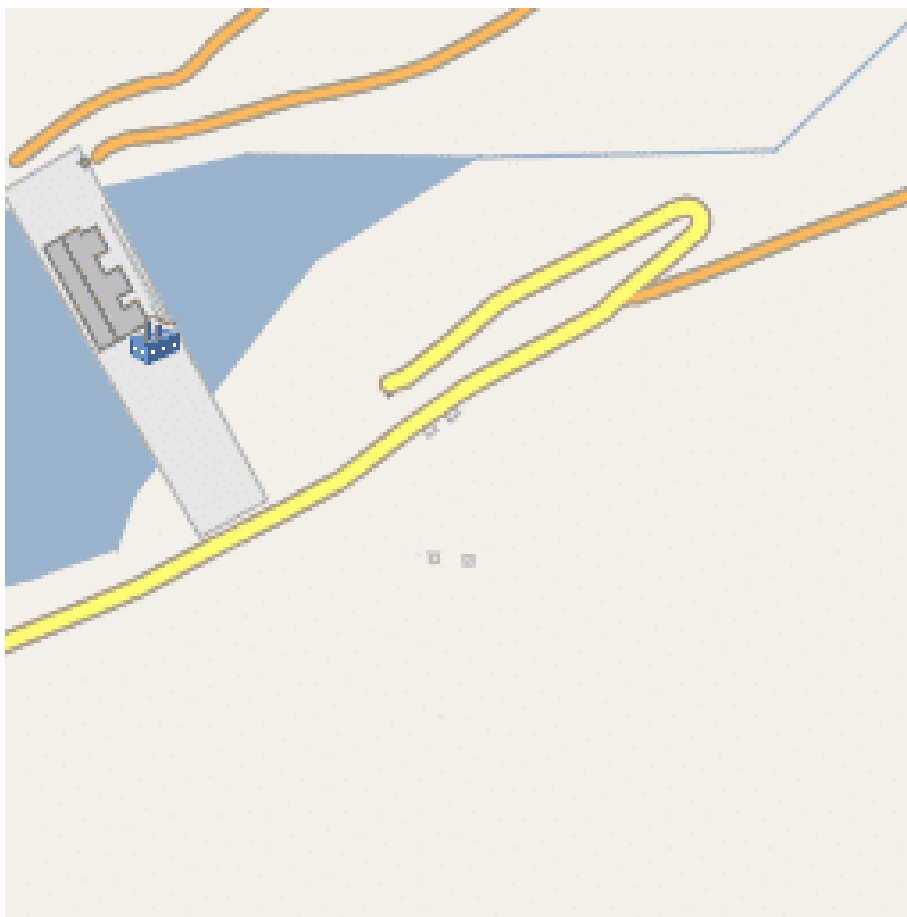


Рисунок 1 – План расположения Вилуйской ГЭС-3 на реке Вилуй  
Внешний вид Вилуйской ГЭС-3 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Внешний вид Вилуйской ГЭС-3



На Вилу́йской ГЭС-3 установлены три гидрогенератора марки СВ 1280/145-68УХЛ4 (установлены в 2004, 2005, 2008 гг.). Они через блочные трансформаторы выдают электроэнергию номинальным напряжением 220 кВ в сеть потребителей (через распределительное устройство 220 кВ).

Кроме того, есть также четвёртый (резервный) гидрогенератор той же марки, который через блочный трансформатор выдаёт электроэнергию в распределительное устройство 16 кВ.

Таким образом, суммарная мощность Вилу́йской ГЭС-3 составляет  $3 \times 92,5 = 277,5$  МВт (без учёта мощности резервного энергоблока),  $4 \times 92,5 = 370$  МВт (полная мощность ГЭС с учётом мощности резервного энергоблока).

Структурная схема рассматриваемой в работе АО «Вилу́йская ГЭС-3» представлена на рисунке 3.

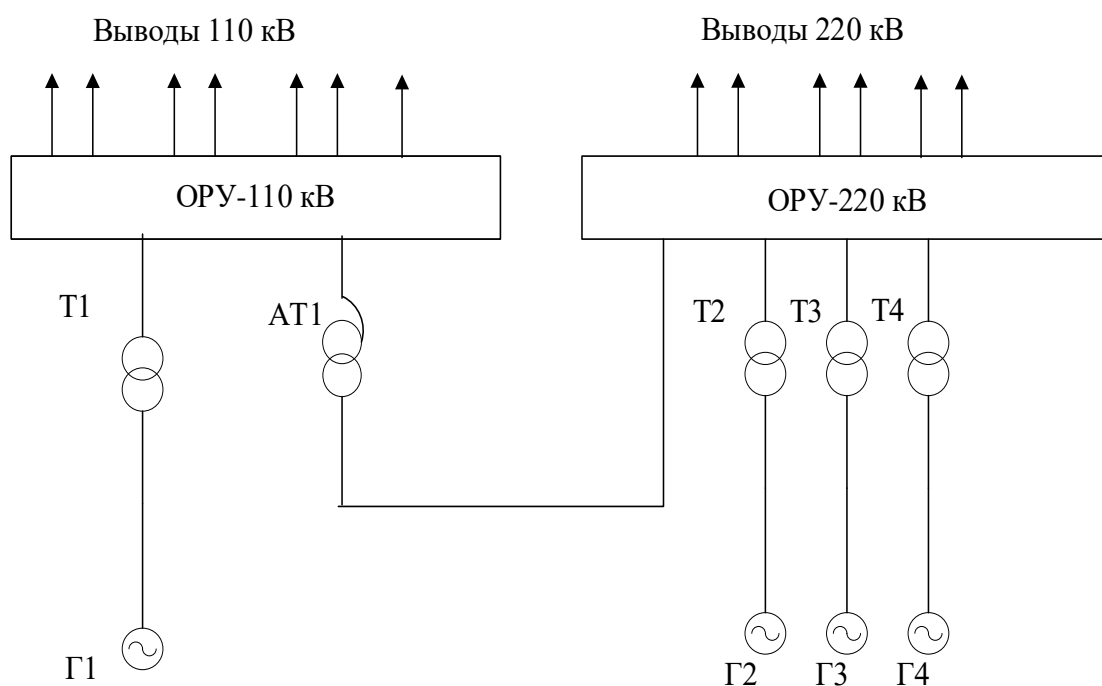


Рисунок 3 – Структурная схема АО «Вилу́йская ГЭС-3»

Далее в работе, основываясь на приведённой информации о структурной схеме, оборудовании и основных потребителях АО «Вилу́йская ГЭС-3», проводится решение поставленных задач.

## 1.2 Характеристика схемы и оборудования системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3»

Система собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» получает питание на генераторном напряжении 6 кВ, и, далее – на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Исходя из проведённого анализа схемы главных электрических соединений АО «Виллюйская ГЭС-3», установлено, система собственных нужд данной гидроэлектростанции состоит из следующих основных составляющих, которые графически представлены на рисунке 4 [14]:

- система собственных нужд генераторных блоков;
- система собственных нужд распределительных устройств напряжением 220 кВ и 110 кВ;
- резервная система собственных нужд.

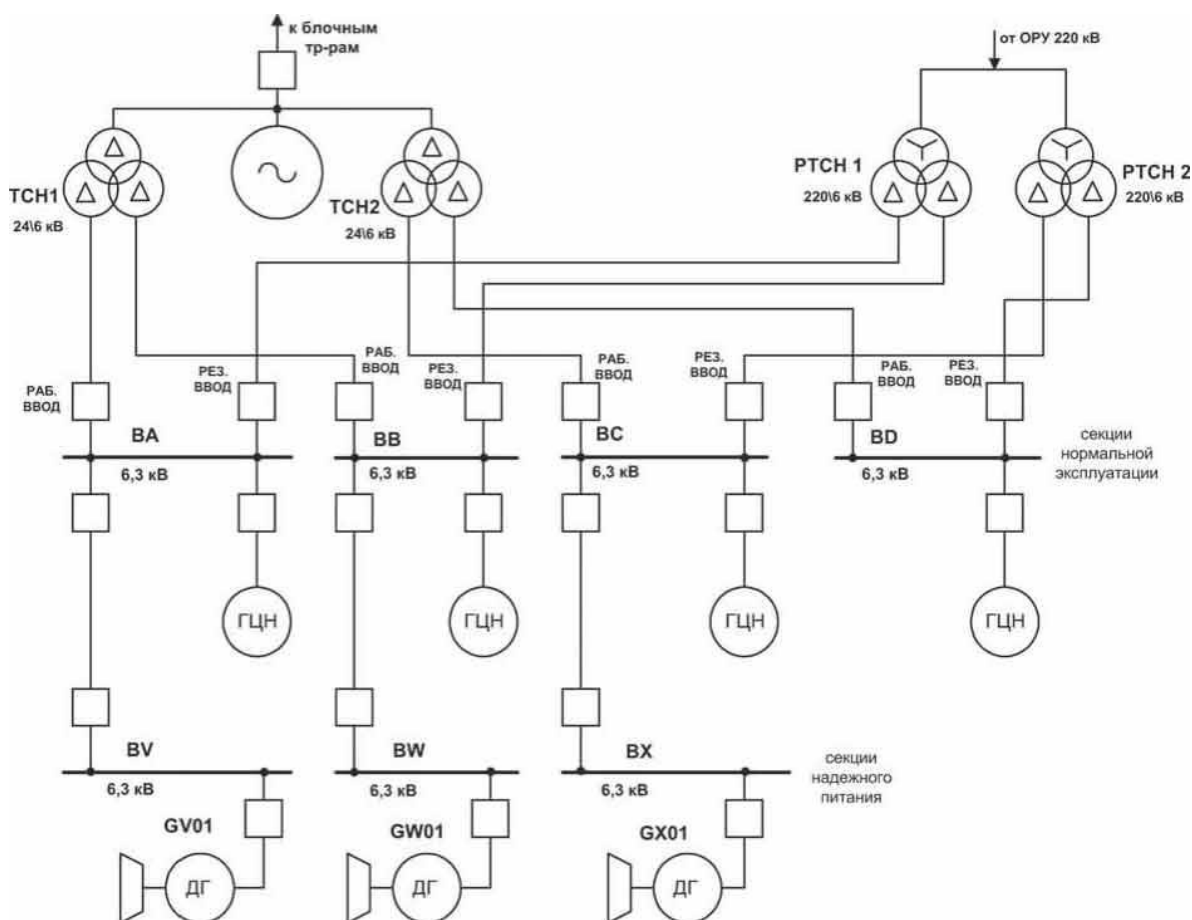


Рисунок 4 – Структурная схема питающей сети 6 кВ системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3»

Установлено, что оборудование СН АО «Виллойская ГЭС-3» относится к 1,2 и 3 категориям надёжности.

К 1 категории надёжности относятся важнейшие механизмы, обеспечивающие питание наиболее важных систем охлаждения генераторов и энергоблоков, а также аварийная автоматика и резервное питание энергоблоков.

Также к этой группе относятся мощные электродвигатели градирен, системы смазки и системы охлаждения гидрогенераторов, работающие на напряжении 6 кВ.

Такие системы относятся к особой группе 1 категории надёжности и должны иметь два отдельных источника питания от гидрогенераторов АО «Виллойская ГЭС-3» с учётом аварийного включения резервного питания от третьего (собственного) источника питания. Таким источником питания являются дизель-генераторы ДГУ-500, рассчитанные на вырабатываемую мощность 500 кВт. Для каждого энергоблока АО «Виллойская ГЭС-3» применяется по два таких устройства.

К 2 категории надёжности системы СН АО «Виллойская ГЭС-3» относятся потребители системы видеонаблюдения, некоторых резервных цепей автоматики и сигнализации, производственных лабораторий (рассмотрены дальше), а также многие системы жизнеобеспечения работы энергоблоков на АО «Виллойская ГЭС-3».

Эти системы имеют два независимых источника питания с резервированием на стороне 0,4 кВ. Все потребители 2 категории АО «Виллойская ГЭС-3» работают на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

К 3 категории системы СН АО «Виллойская ГЭС-3» относятся все остальные приёмники, не играющие важной роли в жизнеобеспечении технологического процесса. Они имеют один источник питания, резервирование отсутствует.

Таким образом, все потребители системы СН АО «Виллойская ГЭС-3» вносят свой вклад в систему жизнеобеспечения данной гидроэлектростанции.

В работе детально рассматривается участок системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3», который относится ко II категории надёжности. Данный участок питается от трансформаторной подстанции собственных нужд с напряжением ВН 6 кВ, напряжением НН – 0,38/0,22 кВ (далее – ТПСН-6/0,4 кВ), на которой установлены два силовые трансформатора марки ТСГЛ-630/6.

От данной ТПСН-6/0,4 кВ на напряжении 0,38/0,22 кВ получают питание потребители лабораторий [2]:

- лаборатория технологического контроля (ЛТК);
- лаборатория химического анализа (ЛХА);
- лаборатория метрологии и калибровки (ЛМК).

В рамках плановых работ будет запущено новейшее оборудование СН, которое будет интегрировано с текущей системой СН.

Электроснабжение новых потребителей системы СН планируется осуществить через щиты собственных нужд, получающие питание из двух секций сборных шин 6 кВ ТПСН АО «Вилюйская ГЭС-3».

С первой секции ТПСН-6/0,4 кВ АО «Вилюйская ГЭС-3» получают электроэнергию следующие новые потребители:

- ЩСН-ЛТК-1 – основной щит внутренних нужд лаборатории по технологическому контролю;
- ЩСН-ЛТК-2 – дополнительный щит этой же лаборатории.

С второй секции ТПСН-6/0,4 кВ АО «Вилюйская ГЭС-3» получают электроэнергию следующие новые потребители:

- ЩСН-ЛХА – щит для лаборатории химанализа;
- ЩСН-ЛМК – щит для отдела метрологии и калибровки.

Данные по существующим и новым потребителям, включая их номинальную мощность, которые подключены к ТПСН-6/0,4 кВ данного сегмента системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3», указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные потребителей ТПСН-6/0,4 кВ

Наименование потребителя	$P_{ном}$ , кВт	Существующий/ новый (РЩ)
СШ-1 6 кВ		
ЩСН-ЛТК-1		
РЩ-1	11,0	Существующий
РЩ-2	50,0	Существующий
РЩ-3	30,0	Существующий
РЩ-4	1,5	Существующий
РЩ-5	1,5	Новый
Всего по ЩСН-ЛТК-1	94,0	-
ЩСН-ЛТК-2		
РЩ-6	11,0	Существующий
РЩ-7	50,0	Существующий
РЩ-8	30,0	Существующий
РЩ-9	1,5	Существующий
РЩ-10	1,5	Существующий
РЩ-11	5,50	Новый
РЩ-12	37,0	Новый
Всего по ЩСН-ЛТК-2	136,5	-
Всего по СШ-1-6 кВ	230,5	-
СШ-2 6 кВ		
ЩСН-ЛХА		
РЩ-13	15,0	Существующий
РЩ-14	15,0	Существующий
РЩ-15	7,5	Существующий
РЩ-16	5,5	Существующий
РЩ-17	7,5	Новый
РЩ-18	1,5	Новый
РЩ-19	5,5	Новый
Всего по ЩСН-ЛХА	57,5	-
ЩСН-ЛМК		
РЩ-20	30,0	Существующий
РЩ-21	30,0	Существующий
РЩ-22	110,0	Существующий
Всего по ЩСН-ЛМК	170,0	-
Всего по СШ-2-6 кВ	227,5	-
Освещение	18,5	-
Всего по ТПСН	402,6	-

Таким образом, в работе установлено, что реконструкция участка системы СН осуществляется в работе путём подключения дополнительных потребителей к существующей системе собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3». Решение поставленной задачи по техническому обоснованию мероприятий данной реконструкции, осуществляется во втором разделе работы.

### **1.3 Требования, предъявляемые к системам собственных нужд энергетических объектов**

Известно, что системы собственных нужд энергетических объектов, в частности, электростанций энергосистемы, включают в себя все компоненты, необходимые для нормальной и безопасной работы самой электростанции.

Системы собственных нужд электростанций обязаны соответствовать высоким техническим стандартам, учитывающим особенности конструкции, эксплуатации и безопасности энергетических объектов [3].

При анализе основных источников литературы установлено, что ключевые требования к системам собственных нужд электростанций включают следующие основные аспекты [5]:

- обеспечение высоких показателей надёжности и устойчивости: системы СН должны быть спроектированы с учетом высокой степени надежности и стойкости к возможным нагрузкам и внешним воздействиям;
- внедрение средств для повышения энергетической эффективности в системе СН с учетом текущих технологических возможностей и требований к снижению потребления энергоресурсов;
- применение средств автоматизации, контроля и управления, что предусматривает применение современных средств автоматизации для оптимизации работы системы СН электростанции, а также систем дистанционного мониторинга, контроля и управления и прочих передовых аналогичных систем;
- обеспечение безопасности персонала на всех уровнях, включая системы мониторинга, детекции и предотвращения чрезвычайных ситуаций, а также средства пожаротушения и электробезопасности;
- соблюдение экологических норм с разработкой и внедрением технологий, способствующих минимизации отрицательного воздействия энергетических объектов (включая СН электростанций)

на окружающую среду;

- соблюдение сроков обслуживания и ремонта всей системы СН, включая разработку планов и программ технического обслуживания, необходимых для поддержания нормальной работы систем собственных нужд электростанции;
- обеспечение качественного и своевременного контроля и мониторинга параметров в системе СН, включая установку средств контроля и измерения ключевых параметров, таких как электрические параметры сети, а также температуры, давления, влажности, с целью для оперативного реагирования на возможные их изменения;
- внедрение современных систем и схемных решений, гарантирующих непрерывность энергоснабжения системы СН в случае сбоев в основной питающей сети.
- полное соответствие всем применимым нормативам, включая санитарные, строительные, технические и другие стандарты.

Эти требования взаимосвязаны и направлены на обеспечение стабильной и эффективной работы электростанции, минимизацию рисков и соблюдение нормативных требований в энергетической отрасли.

Системы собственных нужд гидроэлектростанций играют ключевую роль в обеспечении их стабильной работы, поэтому к ним предъявляются высокие требования. Эти требования могут варьироваться в зависимости от конкретной ГЭС, ее мощности, местоположения и других факторов.

При этом основные аспекты, которые стоит учесть при проектировании систем собственных нужд энергетических объектов, включают следующие основные составляющие:

- потребляемая мощность: учет всех потребителей электроэнергии, включая отдельные потребители, инженерные и технические системы, а также освещение (учёт всех перечисленных составляющих системы собственных нужд энергетических объектов поможет определить необходимую мощность и выбрать соответствующее

оборудование, например, трансформаторы, сети, аппараты);

- резервирование: необходимо учитывать категории надёжности потребителей, принимая с учётом этого схему питания и распределения электроэнергии (в случае необходимости, рекомендуется применять аварийные и резервные источники питания, такие как дизель-генераторы или батареи, чтобы обеспечивать непрерывность электроснабжения системы собственных нужд энергетических объектов в экстренных ситуациях, например, при отключении основных источников питания);
- безопасность: необходимо предусмотреть системы защиты от перегрузок, коротких замыканий, а также заземление и молниезащиту, применение которых способствует локализации аварий и возникновения опасных режимов в системе собственных нужд энергетических объектов [10];
- автоматизация: автоматизированные системы управления позволяют автоматически контролировать и регулировать электропотребление, учитывая динамические нагрузки и способствуют значительной экономии электроэнергии на всех участках системы собственных нужд энергетических объектов;
- энергоэффективность: использование современных технологий, таких как LED-освещение, частотно регулируемые электродвигатели и прочие аналогичные потребители, способствует минимизации энергопотребления системы собственных нужд энергетических объектов;
- равномерное распределение нагрузки по фазам: правильное и равномерное распределение нагрузки между фазами системы собственных нужд энергетических объектов, позволит избежать перегрузки и обеспечит равномерное распределение мощности, а также способствует минимизации потерь электроэнергии в сетях;
- гибкость и модульность: способность быстро и без особых затрат



изменять конфигурацию сети в соответствии с изменяющимися потребностями технологического процесса, а также с расширением распределительных устройств питающей подстанции или распределительного пункта системы собственных нужд энергетических объектов;

- локализация отказов: в случае возникновения проблем и аварий, система собственных нужд энергетических объектов должна обеспечивать возможность быстрой локализации отказа, минимизируя воздействие на другие части системы электроснабжения энергообъекта (данная задача решается внедрением новых современных устройств микропроцессорной защиты и автоматики на объекте проектирования);
- соответствие системы собственных нужд энергетических объектов требованиям основных нормативов и стандартов в сфере строительства, энергетики, природопользования.

Таким образом, правильное проектирование системы собственных нужд энергетических объектов обеспечивают безопасность, а также экономию ресурсов и долгосрочную надежность эксплуатации.

Известно, что в системах собственных нужд энергетических объектов применяются известные принципы надёжности электроснабжения, с учётом внедрения аспектов резервирования, секционирования и электробезопасности.

Резервирование в системах собственных нужд гидроэлектростанций является одним из ключевых моментов, обеспечивающих надежность и безопасность их функционирования.

Главной целью резервирования является обеспечение непрерывности питания и работы важных узлов и составляющих гидроэлектростанции при отказе или выходе из строя основного оборудования.

При этом важнейшие элементы системы, относящиеся к 1 категории надёжности или к особой группе, должны иметь двойное резервирование, что означает наличие двух резервных источников или узлов на случай отказа

основного.

Также принцип «двойного сквозного резервирования» рекомендован и для потребителей 2 категории надёжности.

Известно, что при резервировании в современных системах электроснабжения СН должна применяться автоматика. При выходе из строя основного источника питания или оборудования система автоматически переключается на резервный источник, минимизируя простои.

В системах СН, щиты собственных нужд, устройства управления, защиты и автоматики часто имеют резервные блоки или модули.

Также для данной цели в системах собственных нужд могут быть резервные силовые трансформаторы, готовые к быстрому включению в случае необходимости. Однако такой способ резервирования не рекомендуется [5], потому что требует время на установку и ввод в работу такого оборудования, а для потребителей 1 категории и особой группы такие длительные перерывы в электроснабжении недопустимы. Следовательно, такой способ резервирования может быть применён только для потребителей 3 категории надёжности.

В системе СН ГЭС для критически важных узлов и систем (например, системы автоматического управления турбинами) предусматривается резервное электропитание от собственного источника.

Регулярное тестирование и проверка резервных систем обеспечивают их готовность к работе в экстренных ситуациях.

В некоторых системах собственных нужд ГЭС применяется методика модульного резервирования, когда отдельные модули или компоненты системы могут быть быстро заменены на рабочие. Данный способ резервирования может быть применён для потребителей 2 и 3 категорий надёжности.

Таким образом, резервирование в системах собственных нужд гидроэлектростанций обеспечивает повышенную надёжность, устойчивость к отказам и снижает риски аварийных ситуаций.

Подход к обеспечению резервирования и его уровень зависят от важности конкретной системы, категорий надёжности её потребителей, а также особенностей эксплуатации и потенциальных рисков.

Указанные нормы и требования основных документов, предъявляемые к системам собственных нужд энергетических объектов, обязательны к применению в системе электроснабжения рассматриваемого участка сети системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Выводы по разделу.

В работе установлено, что реконструкция участка системы СН осуществляется в работе путём подключения дополнительных потребителей к существующей системе собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Определено, что данный аспект сопровождается внесением изменений в существующую схему участка системы собственных нужд электрической станции на примере АО «Виллюйская ГЭС-3».

На основании анализа требований нормативных документов к проектированию, модернизации и реконструкции, установлено, что внедрение составляющих надёжности, секционирования, экономичности и резервирование в системах собственных нужд гидроэлектростанций обеспечивает повышенную надежность, устойчивость к отказам.

Установлено, что подход к обеспечению данных параметров зависят от важности конкретной системы, категорий надёжности её потребителей, а также особенностей эксплуатации и потенциальных рисков.

На основании проведённого анализа установлено, что указанные нормы и требования основных документов, предъявляемые к системам собственных нужд энергетических объектов, обязательны к применению в системе электроснабжения рассматриваемого участка сети системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

## **2 Реконструкция электрической части системы собственных нужд**

### **2.1 Расчёт электрических нагрузок участка собственных нужд**

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3».

Основными целями расчёта электрических нагрузок на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3» являются [7]:

- расчёт значений максимальных, минимальных, пиковых и средних нагрузок потребителей на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3», провести анализ совокупности нагрузок всей системы объекта;
- обоснование правильность выбора оборудования и сетей системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»;
- подтверждение правильности и рациональности использования схемных решений на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3»;
- обеспечение условий надежности, с целью гарантии стабильного и безотказного функционирования на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3», с учетом работы всех её потребителей;
- обосновании оптимизации на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3», с целью выявления возможных резервов мощности и обеспечение экономической эффективности эксплуатации оборудования;
- обеспечение планирования развития участка собственных нужд и всей системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3»;

- определение необходимости и возможности расширения или модернизации на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Виллюйская ГЭС-3» в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе;
- обеспечение условий безопасности, способные гарантировать безопасность эксплуатации оборудования при максимальных и минимальных нагрузках, снижение перегрузки и недопущение возникновения и развития аварийных режимов;
- гарантирование электромагнитной и электромеханической совместимости нагрузок оборудования и сетей с существующими параметрами электрических сетей собственных нужд системы электроснабжения АО «Виллюйская ГЭС-3».

Следовательно, расчет электрических нагрузок участка собственных нужд гидроэлектростанции позволяет обеспечить эффективное, безопасное и экономически обоснованное функционирование всей системы электроснабжения.

Для решения поставленной задачи, проводится расчёт нагрузок на всех звеньях реконструируемой системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Виллюйская ГЭС-3».

Таким образом, искомые расчётные нагрузки будут определены на всех уровнях системы электроснабжения АО «Виллюйская ГЭС-3».

Приводится методика расчёта электрических нагрузок для одиночных потребителей на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Виллюйская ГЭС-3».

«Активная расчётная нагрузка» [11]:

$$P_{p.1} = K_3 \cdot P_{уст.}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $P_{уст.}$  – номинальная установленная мощность потребителей СН;

$K_3$  – коэффициент загрузки [6].

«Реактивная расчётная нагрузка» [8]:

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где « $tg \varphi$  – коэффициент реактивной мощности» [8].

«Полная расчётная нагрузка» [11]:

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}. \quad (3)$$

«Расчётный ток» [11]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (4)$$

где « $U_{ном.}$  – номинальное напряжение сети, кВ» [1].

Для РЩ-1 на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3» по (1) – (4):

$$P_p = 11 \cdot 1 = 11 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 11 \cdot 1,17 = 14,63 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{11^2 + 14,63^2} = 18,3 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{18,3}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 28,16 \text{ А.}$$

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок РЩ-1 на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилюйская ГЭС-3» занесены в таблицу 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок

Наименование потребителя	Расчётные данные			
	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
СШ-1 6 кВ				
ЩСН-ЛТК-1				
РЩ-1	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-2	50	58,50	76,96	118,39
РЩ-3	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-4	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-5	1,5	1,13	1,88	2,88
Всего по ЩСН-ЛТК-1	94,0	111,11	145,54	223,91
ЩСН-ЛТК-2				
РЩ-6	11	14,63	18,30	28,16
РЩ-7	50	58,50	76,96	118,39
РЩ-8	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-9	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-10	1,5	1,13	1,88	2,88
РЩ-11	5,50	6,44	8,47	13,02
РЩ-12	37,00	27,75	46,25	71,15
Всего по ЩСН-ЛТК-2	136,50	145,30	199,36	306,70
Всего по СШ-1-6 кВ	230,5	256,41	344,78	530,43
СШ-2 6 кВ				
ЩСН-ЛХА				
РЩ-13	15	19,95	24,96	38,40
РЩ-14	15	17,55	23,09	35,52
РЩ-15	7,5	8,78	11,54	17,76
РЩ-16	5,5	6,44	8,47	13,02
РЩ-17	7,5	5,63	9,38	14,42
РЩ-18	1,5	1,76	2,31	3,55
РЩ-19	5,5	4,13	6,88	10,58
Всего по ЩСН-ЛХА	57,50	64,22	86,20	132,61
ЩСН-ЛМК				
РЩ-20	30	39,90	49,92	76,80
РЩ-21	30	35,10	46,17	71,04
РЩ-22	110	128,70	169,30	260,47
Всего по ЩСН-ЛМК	170	203,70	265,32	408,18
Всего по СШ-2-6 кВ	227,5	267,92	351,49	540,74
Всего по ТПСН	458	524,33	696,19	1071,1
Освещение	18,5	7,40	19,93	30,65
Всего ТПСН с освещением	476,5	531,73	714,00	1098,45

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок участка СН АО «Виллюйская ГЭС-3» используются в работе далее при выборе мощности силовых трансформаторов на ТПСН, а также проводников и аппаратов.

## 2.2 Проверка силовых трансформаторов подстанции собственных нужд

Известно, что выбор и проверка силовых трансформаторов для подстанции собственных нужд, является важнейшим этапом проектирования и реконструкции всей системы СН.

Правильный выбор и проверка типа и мощности трансформаторов на ТПСН обеспечивают надежность и продолжительность службы оборудования, а также безопасность для персонала и экономичность работы всей системы СН.

На выбор силовых трансформаторов ТПСН влияют следующие параметры и характеристики:

- номинальная мощность трансформатора, которая определяется на основании значений максимальной нагрузки и нормированных коэффициентов загрузки трансформаторов на ТПСН;
- классы напряжения, учитывающие значение входного и выходного напряжения трансформатора, которые принимаются в соответствии с параметрами источника питания и потребителей;
- тип охлаждения: на выбор силового трансформатора также влияет тип охлаждения (масляное, воздушное), который зависит от условий среды, финансовых возможностей и электромагнитной совместимости трансформатора с сетью, в которую он устанавливается;
- требования к защите трансформатора, которая учитывает возможность и целесообразность использования трансформаторов с минимальным набором защит или максимальным. Данный фактор определяется конфигурацией питающей сети и её схемой (известно, что при радиальной схеме питания трансформатора защита будет значительно проще, чем при магистральной);



– экономическая эффективность, учитывающая суммарную стоимость жизненного рабочего цикла трансформатора, включая капиталовложения, а также стоимость эксплуатации и обслуживания.

Как было указано ранее, на ТПСН-6/0,4 кВ реконструируемого участка системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилуйская ГЭС-3» установлены два силовых трансформатора ТСГЛ-630/6.

Проверяется правильность выбора данных трансформаторов с учётом внедрения дополнительной нагрузки на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилуйская ГЭС-3».

Номинальная мощность трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{см.}}}{N\beta_T}, \text{ кВА}, \quad (5)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ » – номинальная мощность силового трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ;

$S_{\text{ном.т.р}}$  – расчетная мощность трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ;

$P_p$  – суммарная активная нагрузка ТПСН-6/0,4 кВ;

$P_{\text{см.}}$  – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей.

По условию (5):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{476,5}{2 \cdot 0,7} = 340,36 \text{ кВА}.$$

Учитывая условия и полученные результаты, можно предположить, что два сухих силовых трансформатора марки ТСГЛ-630/6, находящиеся на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилуйская ГЭС-3», обеспечат надёжное питание всей системы электроснабжения объекта без потери надёжности и с требуемыми параметрами резервирования и экономичности.

Для окончательного подтверждения данного факта, требуется проверка силовых трансформаторов на допустимую перегрузку в нормальном и аварийном режимах работы. В нормальном режиме работы [12]:

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (6)$$

Условия проверки выполняются:

$$K_3^H = \frac{714}{630 \cdot 2} = 0,57 \leq 0,8.$$

В аварийном режиме работы [12]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,6. \quad (7)$$

Проверка выполняется:

$$K_3^{n.ав} = \frac{714}{630 \cdot (2-1)} = 1,13 \leq 1,4.$$

Учитывая условия и полученные результаты, установлено окончательно, что два сухих силовых трансформатора марки ТСГЛ-630/6, находящиеся на реконструируемом участке системы собственных нужд системы электроснабжения АО «Вилуйская ГЭС-3», обеспечат надёжное питание всей системы электроснабжения объекта без потери надёжности и с требуемыми параметрами резервирования и экономичности. Следовательно, данные силовые трансформаторы не требуют замены в связи с реконструкцией системы СН объекта.

### 2.3 Расчёт токов короткого замыкания в системе собственных нужд

Далее в работе необходимо рассчитать тока трёхфазного и двухфазного короткого замыкания (далее – КЗ) в основных расчётных точках системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Согласно заданию на выполнение работы, необходимо провести расчёт токов КЗ в двух режимах: в максимальном режиме (трёхфазный ток КЗ) и минимальном режиме работы (двухфазный ток КЗ).

Причём, в первом случае полученные токи КЗ используются для проверки основного оборудования на термическую и электродинамическую стойкости к токам КЗ, а во втором – для проверки чувствительности уставок релейной защиты и автоматики.

Исходные данные для расчёта принимаются согласно заданию на выполнение работы с учётом оборудования, которое выбрано в работе и рекомендовано к установке на объекте проектирования в результате проведения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений объекта.

Расчёт токов КЗ проводится в сети 6 кВ (одна расчётная точка) и в сети до 1 кВ (две расчётные точки).

Таким образом, исходная схема предполагает расчёт токов КЗ в трёх расчётных точках:

- на выводах силового трансформатора 6 кВ (расчётная точка сети К1);
- на выводах обмотки 0,4 кВ силового трансформатора (расчётная точка сети К2);
- в конце защищаемой сети СН напряжением 0,4 кВ (расчётная точка сети К3).

Расчетная схема сети для расчёта токов трёхфазного и двухфазного токов короткого замыкания аварийного режима в расчётных точках системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3», представлена на рисунке 5.

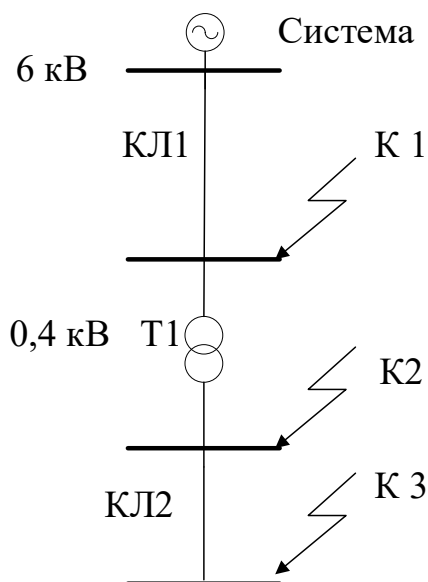


Рисунок 5 – Расчетная схема сети для расчёта токов трёхфазного и двухфазного токов короткого замыкания аварийного режима в расчётных точках системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»

Схема замещения сети для расчёта токов трёхфазного и двухфазного токов короткого замыкания аварийного режима в расчётных точках системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» показана на рисунке 6.

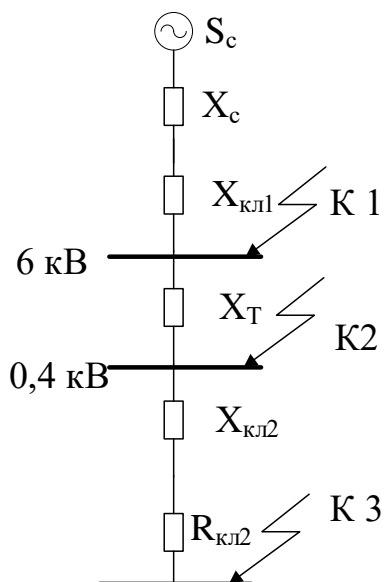


Рисунок 6 – Схема замещения сети для расчёта токов трёхфазного и двухфазного токов короткого замыкания аварийного режима в расчётных точках системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»

Таким образом, в работе определяются максимально возможные параметры аварийного режима.

По данным расчётной схемы, согласно методике [17], определяются параметры её элементов. Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора питающей ТПСН-6/0,4 кВ системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» [11]:

$$S_{\sigma} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА}.$$

Базисные напряжения принимаются с учётом повышенного напряжения на шинах питающей ТПСН-6/0,4 кВ системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» [4]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (8)$$

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{кВ}.$$

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{кВ}.$$

Значение базисного тока принимается с учётом базисного напряжения и мощности, определённых в работе ранее [11]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (9)$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,03 \text{ кА}.$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА}.$$

Значение индуктивного сопротивления энергосистемы принимается по исходным параметрам и заданию на работу, равным 0,05 о.е.

Индуктивные сопротивления питающей кабельной линии электропередачи, питающей ТПСН-6/0,4 кВ системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» [15]:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (10)$$

$$X_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

$$X_{KL2} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

Для питающей КЛ-6 кВ, принимая во внимание сечение и длину выбранного кабеля 6 кВ:

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (11)$$

$$R_{KL1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,63}{6,3^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

$$R_{KL2} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,63}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

Индуктивные сопротивления силового трансформатора питающей ТПСН-6/0,4 кВ [17]:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (12)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

Ток трёхфазного КЗ в точке К1 с учётом подпитки от системы и обобщённого сопротивления [16]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E}{z_{\kappa 1}} \cdot I_{\sigma, \kappa A}. \quad (13)$$

Суммарное сопротивление к точке К1, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений [2]:

$$Z_{\Sigma k 1} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1})^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (14)$$

$$Z_{\Sigma k 1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,03 = 1,25 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление к точке К2, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений [2]:

$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T)^2 + R_{KЛ2}^2}. \quad (15)$$

$$Z_{\Sigma k 2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,9 = 3,71 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление к точке К3, учитывая значения активных и индуктивных сопротивлений [2]:

$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(X_c + X_{KЛ1} + X_T + X_{KЛ2})^2 + (R_{KЛ1} + R_{KЛ2})^2}. \quad (16)$$

$$Z_{\Sigma k 3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,9 = 1,84 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [16]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (17)$$

$$i_{y\partial.\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА}.$$

$$i_{y\partial.\kappa2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА}.$$

$$i_{y\partial.\kappa3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА}.$$

«Двухфазный несимметричный ток КЗ» [16]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}. \quad (18)$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,25 = 1,09 \text{ кА}.$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,71 = 3,23 \text{ кА}.$$

$$I_{\kappa1}^{(2)} = 0,87 \cdot 1,84 = 1,60 \text{ кА}.$$

Результаты расчётов токов КЗ сведён в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра		
		Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_{\kappa3}^{(3)}$	кА	1,25	3,71	1,84
$I_{\kappa3}^{(2)}$	кА	1,09	3,23	1,60
$I_{y\partial.\kappa}$	кА	2,47	5,25	2,60

Результаты расчета токов короткого замыкания на участке системы СН АО «Виллойская ГЭС-3», будут использованы в работе далее при проверке на термическую и электродинамическую стойкости к токам КЗ выбранного основного оборудования объекта реконструкции.



## 2.4 Выбор и проверка проводников в системе собственных нужд

Согласно требованиям и нормам [5], для электроснабжения объектов системы СН при питании на напряжении 0,38/0,22 кВ и нахождения в помещении ГЭС, допускается применять только изолированные проводники.

При этом рекомендуется применять скрытую прокладку на всей трассе системы электроснабжения объектов системы СН. Исходя из этого, для применения в системе участка собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» на стороне 6 кВ и 0,38/0,22 кВ, принимаются кабельные линии для канализации электроэнергии.

Известно, что современные кабельные линии электропередачи имеют ряд значительных преимуществ по сравнению с устаревшими разработками изолированных проводов и кабелей [11]:

- высокая надёжность конструкции;
- высокая безопасность вследствие лучшей изоляции проводника;
- высокая механическая устойчивость к повреждениям;
- большая пропускная способность,
- меньшие потери электроэнергии за счёт сниженных значений удельного сопротивления;
- долговечность;
- защита от радиопомех и электромагнитных полей;
- возможность применения в агрессивных средах;
- удобство монтажа, эксплуатации и ремонта.

Таким образом, выбор современных кабельных линий 6 кВ и 0,38/0,22 кВ для применения в системе собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3», является важной задачей.

Сечение кабельной линии (далее – КЛ) выбирают по экономической плотности тока, а проверяют – по условиям нормального и максимального режима.

Ток КЛ в нормальном режиме [7]:

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (19)$$

«Максимальный ток КЛ в послеаварийном режиме [11]:

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (20)$$

«Проверка КЛ по условиям аварийного режима» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}. \quad (21)$$

где « $I_{доп}$  – допустимый ток КЛ, А;

$I_{p.max}$  – максимальный ток КЛ, А» [11].

«Выбор КЛ-6 кВ по экономической плотности тока» [2]:

$$F_э = \frac{I_{p.}}{j_э}. \quad (22)$$

«Расчётный ток нормального режима КЛ-6 кВ» [2]:

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 36,4 \text{ А.}$$

Таким образом:

$$F_э = \frac{36,4}{1,6} = 22,7 \text{ мм}^2.$$

«Для КЛ-6 кВ принимается кабель марки АСБл-6 (3×25)» [12].

Максимальный ток КЛ-6 кВ для питания ТПСН-6/0,4 кВ:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ A.}$$

Условия проверки питающей КЛ-6 кВ ТПСН-6/0,4 кВ по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме выполняется:

$$90 \text{ A} \geq 51 \text{ A.}$$

«Окончательно выбирается силовой кабель марки АСБл-6 (3×25)» [15].

Результаты выбора кабелей питающей сети реконструируемого участка собственных нужд СН АО «Вилюйская ГЭС-3» приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабелей питающей сети реконструируемого участка собственных нужд СН АО «Вилюйская ГЭС-3»

Потребитель	$I_p$ , А	Марка силового кабеля	$I_{дон}$ , А
СШ-1 6 кВ			
ЩСН-ЛТК-1	223,91	ВВГнг-LS (5×70)	237
ЩСН-ЛТК-2	306,70	ВВГнг-LS (5×120)	321
СШ-2 6 кВ			
ЩСН-ЛХА	132,61	ВВГнг-LS (5×35)	158,0
ЩСН-ЛМК	408,18	ВВГнг-LS (5×240)	468,0

Для распределительной сети выбраны четырёхжильные кабели марки ВВГнг-LS. Такие кабели имеют ряд преимуществ [9]:

- повышенная пожаробезопасность (LS): кабели марки ВВГнг-LS обладает повышенной огнестойкостью благодаря применению негорючей изоляции и оболочки;
- влагостойкость и хорошая устойчивость к агрессивным средам: кабели марки ВВГнг-LS имеют водостойкую оболочку, что позволяет использовать их в условиях повышенной влажности и при воздействии агрессивных сред;
- повышенная механическая прочность: кабели марки ВВГнг-LS отличается высокой механической прочностью, что обеспечивает его надежную работу даже в условиях механического воздействия;

- кабели марки ВВГнг-LS обладают низким уровнем потерь электроэнергии и хорошей электрической изоляцией, что важно для эффективной передачи электроэнергии;
- кабели марки ВВГнг-LS имеют длительный срок службы и эксплуатации.

Результаты выбора сечения кабелей распределительной сети участка СН АО «Виллойская ГЭС-3» представлены в форме таблицы 5.

Таблица 5 – Результаты выбора сечения кабелей распределительной сети участка СН АО «Виллойская ГЭС-3»

Наименование потребителя	$I_p, A$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$
РЩ-1	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-2	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЩ-3	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	64,0
РЩ-4	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-5	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-6	18,30	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-7	76,96	ВВГнг-LS (4×10)	84,0
РЩ-8	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-9	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-10	1,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-11	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-12	46,25	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-13	24,96	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-14	23,09	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-15	11,54	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-16	8,47	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-17	9,38	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-18	2,31	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-19	6,88	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
РЩ-20	49,92	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-21	46,17	ВВГнг-LS (4×6)	60,0
РЩ-22	169,30	ВВГнг-LS (4×50)	196,0
ЩРО	19,930	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0
ЩАО	1,99	ВВГнг-LS (4×2,5)	42,0

Результаты выбора сечения кабелей питающей и распределительной сети участка СН АО «Виллойская ГЭС-3» отвечают нормативным положениям и методике выбора кабельных линий. Следовательно, они могут быть рекомендованы к применению на данном объекте реконструкции.

## **2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе собственных нужд**

Выбор и проверка электрических аппаратов для системы собственных нужд – это ключевой аспект для обеспечения надежного и безопасного функционирования участка. Неправильный выбор или неисправность электрического аппарата может привести к перебоям в работе, дорогостоящему ремонту или даже аварийным ситуациям.

Таким образом, выбор и проверка электрических аппаратов на участке системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» – это важнейший этап работы, который направлен на обеспечение надежной и безопасной работы не только самой системы электроснабжения данного объекта системы СН, но и всей энергосистемы в целом.

В связи с этим, требуется выбор и проверка новых электрических аппаратов на реконструируемом участке системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Исходя из схемы электроснабжения на реконструируемом участке системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3», к электрическим аппаратам со стороны источника питания 6 кВ, которые необходимо выбрать и проверить, относятся:

- выключатель высокого напряжения;
- предохранители плавкие;
- выключатели нагрузки;
- ограничители перенапряжения.

При выборе электрических аппаратов необходимо учитывать параметры надёжности, безопасности, лёгкости и удобства монтажа, обслуживания, а также объём и периодичность ремонтов.

Проводится выбор электрических аппаратов для установки на ТПСН-6/0,4 кВ системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» на стороне 6 кВ системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Важнейшим электрическим аппаратом в сети выше 1 кВ, является выключатель высокого напряжения. С одной стороны это – коммутационный аппарат, обеспечивающий включение и отключение сети по мере необходимости в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режимах, а с другой – это совершенный аппарат защиты, который защищает сеть от ненормальных режимов путём её отключения, что даёт возможность локализовать аварии в сети.

Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из условий [18]:

- по номинальному напряжению [18]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (23)$$

где « $U_{уст}$ ,  $U_{ном}$  – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя» [18];

- по максимальному рабочему току [18]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad (24)$$

где « $I_{раб.макс}$ ,  $I_n$  – соответственно максимальный рабочий ток и номинальное значение тока выключателя» [18];

- «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн} \quad (25)$$

где « $I_{пт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания;

$I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выключателя, кА» [18];

- «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (26)$$

где « $i_{a\tau}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания;

$\beta_n$  – значение содержания аperiodической составляющей тока КЗ;

$\tau$  – время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [18]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (27)$$

где « $t_{з.мин}$  – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{с.в}$  – собственное время отключения выключателя, с» [18];

– «проверка на электродинамическую устойчивость» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (28)$$

где « $i_{нр.с}$  – действующее значение сквозного тока КЗ;

$i_y$  – ударный ток, кА» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (29)$$

где « $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ ;

$I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ ;

$t_T$  – длительность тока термической устойчивости, с» [18].

«Тепловой импульс» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (30)$$

Для защиты и коммутации ТПСН-6/0,4 кВ системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» на стороне 6 кВ, предлагается установить современные выключатели вакуумного типа марки VD-4-10-20/630-У2-48.

Такие современные вакуумные выключатели высокого напряжения имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами выключателей:

- длительный срок службы;
- простота в обслуживании;
- компактность;
- долговечность;
- хорошая коммутационная способность;
- безопасность обслуживания за счёт семи основных блокировок;
- лёгкое отключение больших токов короткого замыкания за счёт «вакуумной дуги»;
- безотказность в работе;
- приемлемая цена;
- улучшенные изоляционные свойства.

Результаты выбора выключателей представлены в форме таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей ТПСН-6/0,4 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Выключатели VD-4-10-20/630-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном} = 630 \text{ А.}$
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 1,25 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 32 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Наличие всех приведённых характеристик обуславливает целесообразность применения данного аппарата в системе собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3».



Выбранные выключатели удовлетворяют всем требуемым условиям.

В ячейках вместе с данным выключателем, являющимся основным коммутационным и защитным аппаратом на питающем РП-6 кВ, устанавливаются также ограничители перенапряжения (далее – ОПН) марки ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

ОПН необходимы в сети, где устанавливается вакуумный выключатель, потому что возникновение явления «вакуумной дуги» провоцирует внутренние перенапряжения, которые необходимо погасить.

Для питания цепей вторичной коммутации на питающем РП-6 кВ, к которым относится релейная защита, автоматика и сигнализация, проводится выбор измерительных трансформаторов тока марки ТПОЛМ-10.

Их детальный выбор представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в ячейках РУ-6 кВ питающей ТПСН-6/0,4 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТПОЛМ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 6 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 50,98 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 100 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,47 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,25^2 \cdot 3 =$ $= 4,69 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ, необходимых для защиты и коммутации питающей и распределительной сети реконструируемого участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Как было указано ранее, для защиты питающей сети 0,4 кВ в системе собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» применяются автоматические выключатели (автоматы).

Автоматические выключатели (или автоматы) используются для защиты электрических сетей и оборудования от перегрузок и коротких замыканий, а также для нечастных коммутаций потребителей.

Известно, что автоматы защищают сеть от токов короткого замыкания любого режима (трёхфазного, двухфазного, однофазного), а также перегрузки. Для этой цели у автоматов есть соответствующие расцепители (электромагнитный, тепловой и нулевой). В работе необходимо выбрать все уставки этих расцепителей, а также проверить их на условия устойчивой работы в питающей и распределительной сети участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Исходя из схемы электроснабжения, для защиты и коммутации питающей и распределительной сети участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», в работе необходимо выбрать следующие типы автоматов:

- автомат ввода питающей ТПСН-10/0,4 кВ;
- вводные автоматы (для защиты и коммутации СРШ-0,4 кВ);
- линейные автоматы потребителей (для защиты и коммутации отдельных групп потребителей участка системы СН).

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (31)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (32)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [15]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (33)$$

«Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем» [15]:

$$I_{y.э.р} \geq K \cdot I_{y.т.р.}, \quad (34)$$

где « $K$  – кратность тока уставки расцепителя» [19].

Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации участка системы электроснабжения участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» представлены в форме таблицы 8.

Таблица 8 – Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации участка системы электроснабжения участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»

Потребитель	$I_p, A$	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{y.т.р.}, A$	$I_{y.э.р.}, A$
Вводные автоматы ТПСН	969,2	ВА 55-41	1000	1000	3000
Секционный автомат ТПСН	860,12	ВА 55-41	1000	1000	3000
Вводной автомат ЩСН-ЛТК-1	223,91	ВА 52-35	250	200	600
Вводной автомат ЩСН-ЛТК-2	306,70	ВА 52-37	400	320	960
Вводной автомат ЩСН-ЛХА	132,61	ВА 52-35	250	200	600
Вводной автомат ЩСН-ЛМК	408,18	ВА 57-39	630	630	1890
РЩ-1	18,30	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-2	76,96	ВА 52-31	100	100	300
РЩ-3	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-4	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-5	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-6	18,30	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-7	76,96	ВА 52-31	100	100	300
РЩ-8	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-9	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-10	1,88	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-11	8,47	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-12	46,25	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-13	24,96	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-14	23,09	ВА 47-29	25	25	75
РЩ-15	11,54	ВА 47-29	16	16	48
РЩ-16	8,47	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-17	9,38	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-18	2,31	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9
РЩ-19	6,88	ВА 47-29	10	10	30
РЩ-20	49,92	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-21	46,17	ВА 52-31	100	63	189
РЩ-22	169,30	ВА 52-35	250	200	600
ЩРО	19,93	ВА 47-29	25	25	75
ЩАО	1,99	ВА 47-29	6,3	6,3	18,9

Таким образом, при выборе и проверке электрических аппаратов питающей и распределительной сети были выбраны и проверены основные коммутационные и защитные аппараты, необходимые для обеспечения надёжности схемы электроснабжения участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3». Они показаны в графической части работы.

## **2.6 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии в системе собственных нужд**

В работе проводится аргументированный выбор системы учёта и контроля электроэнергии на участке системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Системы автоматизации учета энергоресурсов в системе собственных нужд представляют собой комплексное решение для мониторинга, учета и анализа потребления электроэнергии, тепловой энергии, воды и других ресурсов на промышленных объектах.

Эти системы призваны оптимизировать потребление ресурсов, снижать затраты и повышать эффективность работы энергообъекта.

Такие системы очень хорошо себя зарекомендовали в различных сетях и системах, включая системы учёта собственных нужд.

Типы систем автоматизации учёта энергоресурсов представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Типы систем автоматизации учёта энергоресурсов

В последние годы для применения на различных объектах энергетики, стали находить широкое применение автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии (далее – АИИСКУЭ).

АИИСКУЭ представляет собой совокупность технических и программных средств, предназначенных для автоматизации процессов учета потребления и передачи электроэнергии, а также для формирования необходимой коммерческой информации для расчетов между потребителями и поставщиками.

Основные функции АИИСКУЭ включают:

- учет потребления электроэнергии: система регистрирует данные с учетных приборов в автоматическом режиме, позволяя оперативно и точно определять объемы потребленной и переданной электроэнергии;
- мониторинг потребления электроэнергии и состояния параметров в текущий момент времени: функция, учитывающая отображение текущего состояния сети, электропотребления, напряжения, тока и других параметров в реальном времени;

- анализ технических данных: система позволяет проводить анализ данных, выявлять аномалии, зоны и участки потерь электроэнергии, несанкционированные подключения и другие нарушения, которые передаются поставщику и потребителю электроэнергии;
- формирование отчетов: данная функция включает автоматическое создание отчетов о потреблении электроэнергии для различных периодов, что обеспечивает прозрачность и точность расчетов между участниками рынка, а также позволяет разработать план потребления электроэнергии на будущее и скорректировать излишки потребления в настоящем времени;
- архивирование данных: хранение истории показаний и другой релевантной информации для последующего анализа и контроля;
- обеспечение безопасности: данная функция включает защиту от несанкционированного доступа, а также ведение журналов событий и операций в системе.

Преимущества использования АИИСКУЭ, по сравнению с устаревшими классическими средствами учёта и контроля электроэнергии, следующие:

- значительное повышение точности учёта и качества передаваемой информации;
- минимизация ошибок, связанных с человеческим фактором;
- оперативность, обеспечение мгновенного доступа к актуальной информации о потреблении электроэнергии;
- значительная экономия ресурсов за счёт использования многотарифности системы учёта потреблённой электроэнергии, а также рационального планирования её потребления (по отчётам);
- оптимизация потребления электроэнергии, выявление и устранение потерь;
- четкая и прозрачная система расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии, а также между всеми участниками энергорынка (например, в случае транзита электроэнергии).

Компоненты АИИСКУЭ включают в себя учетные приборы (счетчики), средства связи, серверы данных, программное обеспечение для обработки и анализа информации, а также рабочие станции для операторов системы.

Внедрение и использование АИИСКУЭ становится все более актуальным в условиях модернизации энергетических систем и перехода к цифровой экономике.

Таким образом, в работе, исходя из поставленной задачи, предлагается выбрать для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на реконструируемом участке системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», АИИСКУЭ с многотарифным учётом, так как остальные виды энергоносителей непосредственно на ТПСН-6/0,4 кВ участка СН АО «Виллюйская ГЭС-3» учитывать нет необходимости (рисунок 8).

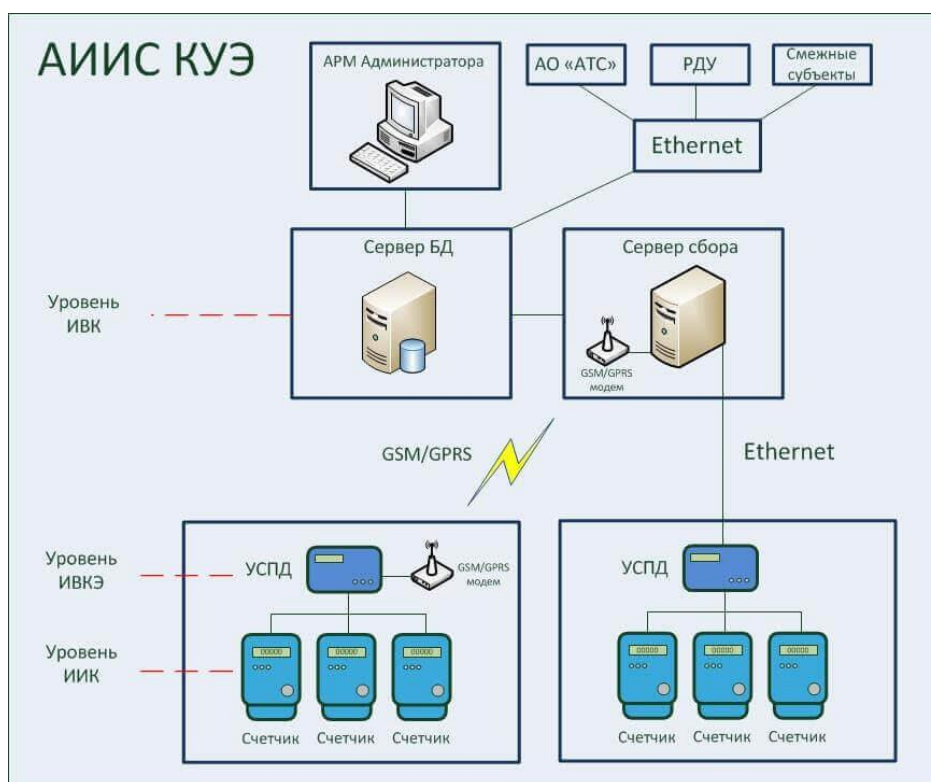


Рисунок 8 – Структурная схема выбранного типа АИИСКУЭ для применения в системе собственных нужд объекта реконструкции

Далее выбирается марка и производитель выбранного типа АИИСКУЭ для применения в качестве системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-

3». Для минимизации коммерческих и инструментальных потерь электрической энергии, на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», предлагается внедрить современную АИИСКУЭ, которая даст технико-экономический эффект за счёт значительно меньших суммарных погрешностей измерительной системы, а также предотвратит возможные кражи электроэнергии.

При этом в работе, на основе сравнительного анализа ведущих разработок данной продукции, предлагается выбрать марку и производителя АИИСКУЭ. Выбор оптимальной автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией для систем собственных нужд энергетических объектов, представляет собой многогранный аналитический процесс, предполагающий анализ ряда факторов, охватывающих как технические аспекты, так и экономические соображения.

Сущностная структура принимаемого решения подчиняется принципу сопряжения опережающего планирования и системного подхода. Важной отправной точкой при этом является глубокий анализ потребностей данной структуры СН, с пониманием функциональных требований к автоматизированной системе, таких как мониторинг и управление электроосвещением, климатическими параметрами, и уровнем энергопотребления как на индивидуальном, так и на общем уровне системы СН. Также следует принять во внимание бюджетное планирование.

Принятие управленческих решений в этой сфере зависит от выделенных финансовых ресурсов на интеграцию и эксплуатацию автоматизированной системы. Оно подразумевает оценку оптимального баланса между качеством и стоимостью решения.

Сегодня на рынке существует множество вариантов систем управления, включая различные концепции.

Выбор между ними требует анализа технических характеристик и функциональных возможностей, с учетом предполагаемого диапазона задач и желаемой степени автоматизации.



Также следует учитывать масштабируемость системы. Гибкость и легкость интеграции дополнительных функций или расширение масштаба системы являются значимыми аспектами, позволяющими адаптировать систему к будущим изменениям в потребностях.

Кроме того, совместимость с существующими системами безопасности, информационной инфраструктурой и прочими подсистемами в системе собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» требует тщательного анализа, чтобы избежать конфликтов и обеспечить согласованное функционирование.

Поддержка удаленного управления через сеть интернет также является критически важным параметром. Это позволяет операторам и диспетчерам системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» мониторить и регулировать систему в режиме реального времени, обеспечивая высокий уровень гибкости и реакции.

Уровень энергоэффективности системы также имеет свою значимость. Современные требования к экономии энергоресурсов обязывают уделить внимание возможностям мониторинга и управления энергопотреблением, а также оптимизации энергетических процессов. Принятие решения также предполагает учет совместимости выбранной системы с существующим оборудованием и технологической базой. Кроме того, важной составляющей является анализ обзоров и рекомендаций от экспертов и пользователей, опираясь на опыт применения аналогичных систем управления в аналогичных контекстах. Согласно учету этих факторов, осуществляется выбор целесообразного варианта системы управления электроэнергией, способного наилучшим образом соответствовать запросам и ожиданиям, предъявляемым к системам собственных нужд энергетических объектов.

На основе анализа ведущих мировых и отечественных разработок в данном направлении, в работе предложено применить АИИСКУЭ на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02.

Установлено, что АИИСКУЭ на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02 обладает несколькими значительными преимуществами, способствующими более эффективному и удобному управлению энергопотреблением в системе собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»:

- высокая точность измерений: электронные счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 обеспечивают высокую точность измерений электроэнергии, что позволяет более точно определить расход электроэнергии для отдельных потребителей СН;
- многозонность и многотарифность: программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 могут разделять потребление электроэнергии на разные зоны или группы потребителей, что полезно для более детального анализа и управления энергопотреблением на различных участках СН;
- удаленный мониторинг: современные программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 могут быть интегрированы в системы дистанционного мониторинга. Это позволяет операторам и диспетчерам следить за потреблением электроэнергии удаленно, что упрощает процессы управления и обнаружения ненормальных режимов, а также хищений электроэнергии;
- программируемость и настройка: программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 предоставляют возможность настройки параметров в соответствии с конкретными потребностями здания, включая всех его потребителей. Данный аспект включает установку пороговых значений, временных интервалов мониторинга и других параметров;
- автоматизированное оповещение: при достижении определенных уровней потребления электроэнергии или других событий, программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 могут

автоматически отправлять уведомления на указанные адреса электронной почты или мобильные устройства;

- энергоэффективность: АИИСКУЭ на базе современных программируемых счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02 позволяет более активно следить за потреблением электроэнергии и выявлять потенциальные зоны энергоизбыточного потребления, а также несанкционированный доступ к сетям;
- интеграция с другими системами: современные счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 могут быть интегрированы с другими системами управления, такими как системы безопасности и другими аналогичными системами в системе собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»;
- качественный учёт параметров и потребления электроэнергии: программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 облегчают учёт и формирование счетов для отдельных абонентов или зон, что важно для системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»;
- экономия времени и ресурсов: автоматизация процессов сбора данных о потреблении электроэнергии и анализа позволяет снизить затраты на ручной контроль и оптимизировать ресурсы;
- долгосрочная надежность: современные программируемые счётчики марки МЕРКУРИЙ 200.02 обладают повышенной надежностью и долгим сроком службы, что обеспечивает стабильность системы управления электроэнергией в системе собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Конструктивное выполнение и основной функционал современных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02 представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Конструктивное выполнение и основной функционал современных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02

Таким образом, выбор АИИСКУЭ на базе трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02 оправдывается вышеуказанными преимуществами, обеспечивая более эффективное, гибкое и интеллектуальное управление электроэнергией в реконструируемой системе собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

## **2.7 Мероприятия по охране труда и технике безопасности в системе собственных нужд**

Охрана труда является важным аспектом деятельности АО «Виллюйская ГЭС-3».

Известно, что в системе собственных нужд гидроэлектростанций существуют ряд потенциальных производственных опасностей, характерных также системе СН АО «Виллюйская ГЭС-3», которые требуют особого внимания и мер по их предотвращению и развитию:

- электрические опасности: связаны с высокими напряжениями, которые присутствуют в электроустановках системы собственных нужд. Необходимо соблюдать правила безопасной работы с

- электрооборудованием, использовать средства индивидуальной защиты;
- опасности, связанные с механическими воздействиями: включают в себя риск получения травм при работе с механическим оборудованием, транспортными средствами и подъемными механизмами. Для недопущения их возникновения, важно соблюдать правила безопасности при работе с этими средствами;
  - риск пожара (пожароопасность): обусловлен наличием электрического оборудования, а также легковоспламеняющихся и горючих смазочных и топливных материалов. Для предотвращения пожарной опасности в системе СН ГЭС, необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, регулярно проверять состояние электрооборудования и средств пожаротушения;
  - опасности при обслуживании гидроагрегатов: включают в себя риск попадания обслуживающего персонала под действие вращающихся и движущихся частей, а также риск работы в условиях ограниченного пространства. Для предупреждения аварийных случаев в этом направлении, необходимо соблюдать правила безопасности, использовать блокировки и замки, а также обеспечивать доступ к безопасным зонам;
  - взрывоопасность: возможна в результате неправильного обращения с химическими веществами, горючими и взрывоопасными материалами в лабораториях, получающих питание от системы собственных нужд. Для предотвращения аварий и несчастных случаев, необходимо строго соблюдать инструкции по безопасности при работе с такими веществами;
  - опасности при подъемно-транспортных работах: связаны с риском падения грузов, аварийного падения кранового оборудования и прочее. Для предупреждения этого требуется строгое соблюдение правил работы с подъемниками и транспортными средствами;

- риск утопления: связан с наличием водных резервуаров, каналов и плотин на гидроэлектростанции. Необходимо строгое соблюдение правил безопасности при работе вблизи водоемов, а также поддержание необходимого уровня воды и регулирование сбросов.

Приведённый перечень опасностей в СН АО «Вилюйская ГЭС-3» требуют постоянного мониторинга, обучения персонала, соблюдения правил и использования соответствующих средств индивидуальной и коллективной защиты для обеспечения безопасности работников на данном объекте.

Как и в любой другой организации, электротехнический персонал, занятый на АО «Вилюйская ГЭС-3», несет ответственность за соблюдение правил и мероприятий по охране труда.

Мероприятия по обеспечению охраны труда и техники безопасности при выполнении работ в системе собственных нужд гидроэлектростанций представляют собой комплекс организационных, технических и производственных мер, направленных на минимизацию рисков и обеспечение безопасности персонала.

Данный комплекс включает на объектах системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» выполнение следующих аспектов, которые реализуются поэтапно (обязательно и в случае необходимости):

- проведение предварительной оценки рисков, связанных с конкретными видами работ в системе СН;
- выявление опасных зон и потенциальных источников опасности на объектах системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»;
- составление детального плана проведения работ с учетом всех требований по охране труда и технике безопасности;
- обучение и подготовка персонала, включая проведение инструктажей и обучения сотрудников по правилам охраны труда и безопасной работе на объектах системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3»;

- проверка знаний и навыков сотрудников, выполняющих работы на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»;
- выдача и обязательное использование соответствующих средств индивидуальной защиты (защитных касок, очков, респираторов, перчаток и прочих аналогичных средств защиты персонала);
- контроль за исправностью оборудования в системе СН, предусматривающий регулярную проверку состояния и работоспособности используемого оборудования и инструментов;
- систематические проверки технического состояния оборудования на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» специалистами с соответствующей квалификацией;
- обеспечение наличия средств для оказания первой медицинской помощи и плановая тренировка персонала по действиям в случае несчастного случая;
- учёт, анализ и детальное расследование всех происшествий и несчастных случаев в системе СН объекта реконструкции;
- постоянный мониторинг и обновление соблюдения всех действующих нормативов и стандартов в области охраны труда и техники безопасности на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»;
- регулярный анализ произошедших инцидентов на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» с целью выявления причин и разработки мер по их предотвращению;
- проведение тренингов, семинаров и курсов, направленных на повышение уровня знаний и навыков работников по охране труда и технике безопасности на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Регулярное и строгое соблюдение вышеописанных мероприятий содействует обеспечению безопасных условий труда и предотвращению

потенциальных рисков при выполнении работ в системе собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Известно, что мероприятия по электробезопасности и пожарной безопасности в системе собственных нужд гидроэлектростанций являются критически важными для обеспечения безопасности персонала и предотвращения чрезвычайных ситуаций.

Одним из основных требований по обеспечению безопасности при работе на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» является соблюдение правил электробезопасности [11].

Данный аспект включает в себя применение соответствующей персональной защитной спецодежды и обуви, обеспечение надлежащего заземления и защиты от поражения электрическим током.

Кроме того, персонал должен проходить обучение по охране труда и электробезопасности, получать инструктаж.

Периодически на предприятии проводится систематическая проверка знаний и умений.

Результаты проверки должны быть отражены в соответствующих журналах по технике безопасности.

Также на станции должны быть установлены аварийные кнопки и системы автоматического отключения электроэнергии при возникновении опасных ситуаций.

При работе на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» также необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, использовать соответствующие средства индивидуальной защиты, контролировать уровень шума и вибрации, а также соблюдать правила по обращению с химическими веществами (в химических лабораториях).

На объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» обеспечивается высокий уровень соблюдения норм электробезопасности. Персонал, работающий на станции, проходит специальную подготовку и обучение, которое включает в себя не только правила эксплуатации



оборудования, но и правила охраны труда и меры безопасности при работе с электроустановками.

Все работы на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» проводятся в соответствии с требованиями нормативных документов и технических инструкций, включая правила по электробезопасности. Персонал имеет соответствующие квалификационные удостоверения и проходит регулярные медицинские осмотры, чтобы обеспечить безопасность работы на станции.

Основные обязанности электротехнического персонала в области электробезопасности на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», состоят в неукоснительном соблюдении следующих требований, а именно [12]:

- соблюдение правил и инструкций по электробезопасности: в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации и внутренними правилами предприятия, электротехнический персонал должен соблюдать все правила и инструкции по технике безопасности, касающиеся работы с электричеством и электрооборудованием;
- проведение проверки оборудования: работники, относящиеся к категории электротехнического персонала, должны регулярно проводить проверку электрооборудования на предмет соответствия требованиям электробезопасности и правилам эксплуатации;
- проведение предупредительных мероприятий: в случае обнаружения каких-либо нарушений или неполадок в работе электрооборудования, электротехнический персонал должен незамедлительно провести предупредительные мероприятия, чтобы предотвратить возможную аварию или несчастный случай;
- обеспечение норм электробезопасности при работе с электричеством: электротехнический персонал должен использовать все необходимые

средства защиты, такие как защитные перчатки, очки и каски, при работе с электрооборудованием;

- проведение инструктажа и обучения: работники, относящиеся к категории электротехнического персонала, обязаны проводить инструктажи и обучение для других сотрудников, работающих с электрооборудованием, чтобы повысить их знания и навыки по электробезопасности;
- сообщение об авариях: в случае возникновения аварии или несчастного случая на объекте, электротехнический персонал должен незамедлительно сообщить об этом ответственным лицам на предприятии;
- проведение профилактических работ: электротехнический персонал должен проводить регулярные профилактические работы на электрооборудовании, чтобы предотвратить возможные нарушения в его работе и снизить вероятность аварий;
- регулярная проверка знаний и повышение квалификации: работники, относящиеся к категории электротехнического персонала, обязаны следить за новыми технологиями и стандартами в области охраны труда и непосредственно электробезопасности, чтобы поддерживать свои знания в актуальном состоянии на высоком уровне и улучшать свои профессиональные навыки;
- сотрудничество с другими специалистами: электротехнический персонал должен сотрудничать с другими специалистами предприятия, такими как инженеры, технологи и рабочие, чтобы обеспечить безопасность работы на объекте и повысить эффективность производства.

Соблюдение электротехническим персоналом обязанностей по охране труда на предприятии является важным фактором в обеспечении электробезопасности и эффективности работы всего предприятия.

В связи с этим, на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» уделяется особое внимание организации обучения и повышения квалификации своих сотрудников в области электробезопасности при выполнении работ.

Такие меры позволяют сохранять безопасность и здоровье работников, а также повышать уровень производительности и конкурентоспособности предприятия.

Кроме того, также необходимо привести мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Возникновения пожара на объектах на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» возможно при следующих обстоятельствах [16]:

- при коротких замыканиях;
- при прямых попаданиях молнии;
- при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгорания;
- при перегреве токоведущих частей от перегрузки, а также в результате короткого замыкания;
- при возникновении дугового разряда в электроустановках;
- при возникновении внутренних перенапряжений.

Так как на объекте реконструкции установлены два сухих трансформатора ТПСН-6/0,4 кВ, следовательно, опасность возгорания масла в них отсутствует.

Пожарная безопасность на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» в работе обеспечивается применением и использованием следующих основных технических и организационных мероприятий [16]:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций электрооборудования, а также производственных зданий и сооружений;
- обеспечением качественной системой оповещения пожарной безопасности (пожарная сигнализация, пожарные извещатели);

- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и прочие);
- периодическими проверками состояния оборудования и знаний персонала;
- организацией качественной планировки и организации по пожарным входам и экстренной эвакуации людей.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», представляют два силовых маслонаполненных трансформатора, в которых существует высокая вероятность пожара и взрыва при неправильных условиях эксплуатации.

Следует вести постоянный контроль за нагрузкой трансформаторов подстанции, не допускать систематические перегрузки трансформаторов больше, чем установлено нормативами.

Также контролю по нагрузочной способности подлежат силовые кабели, так как их перегрев может привести к возникновению пожара.

Перечисленные мероприятия по пожарной безопасности на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», позволяют не допустить возникновения пожара, предотвратить распространение пожара и быстро и качественно локализовать очаг возгорания.

Таким образом, внедрение данных противопожарных мероприятий на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», позволит сберечь дорогостоящее электрооборудование, а также жизни и здоровье обслуживающего персонала.

Эти мероприятия являются неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности на гидроэлектростанциях и требуют регулярного обновления и контроля для поддержания наивысшего уровня безопасности. Все указанные мероприятия обязательны к применению на объектах системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Известно, что объекты системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» являются источниками повышенной экологической опасности для флоры и фауны [15]. Обеспечение экологической безопасности на гидроэлектростанциях имеет высокий приоритет для устойчивого функционирования и предотвращения негативного воздействия на природную среду.

В результате проведения анализа источников литературы, были выделены следующие основные мероприятия, направленные на обеспечение экологической безопасности в системе собственных нужд гидроэлектростанций, включая АО «Вилуйская ГЭС-3»:

- мониторинг воздействия на окружающую среду, включающий проведение регулярных мониторинговых исследований для оценки воздействия работы гидроэлектростанции на водные ресурсы, живые организмы и состояния почвы;
- соблюдение законодательных норм и требований, заключающееся в регулярном обновлении и адаптации технологических процессов в системе собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», с учетом экологических нормативов и законов;
- применение технологий очистки и обеззараживания воды, заключающееся в использовании современных инновационных технологий очистки сточных вод перед их обратным сбросом в водные объекты гидроэлектростанции;
- управление отходами, предусматривающее разработку и внедрение системы сбора, обработки и утилизации отходов с учетом их воздействия на окружающую среду;
- меры по охране биоразнообразия, которые заключаются в разработке и внедрении программ по охране и восстановлению природных экосистем, включая растительный и животный мир;
- энергосбережение и повышение эффективности, заключающееся во внедрении современных технологий и методов, направленных на

- снижение расхода энергии и увеличение эффективности процессов, с учётом возобновляемых источников энергии;
- разработка и внедрение системы мониторинга состояния технических систем с целью предотвращения аварийных ситуаций и утечек опасных веществ;
  - программы по улучшению качества воздуха, предусматривающие внедрение мер по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, включая использование современных систем фильтрации воздуха;
  - социальное взаимодействие с сообществом, состоящее во взаимодействии с местными органами и сообществом для обсуждения и решения экологических вопросов;
  - обучение и повышение осведомленности персонала, работающего в системе собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», в плане экологической безопасности, а также разработка и внедрение обучающих программ для персонала по экологическим принципам и требованиям безопасности природной среды.

Приведённые основные мероприятия, направленные на обеспечение экологической безопасности в системе собственных нужд гидроэлектростанций, включая АО «Вилуйская ГЭС-3», позволяют минимизировать негативное воздействие гидроэлектростанции и её системы собственных нужд на окружающую среду, с учётом соблюдения принципов экологической безопасности и энергоэффективности.

Выводы по разделу.

Для минимизации экологической безопасности разработан ряд мероприятий, которые необходимо внедрить на предприятии.

В результате внедрения технических решений, обосновано применение следующих новых видов оборудования для внедрения в схему электрических соединений участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3»:

- для усовершенствования технологического процесса, были введены 6 новых СРШ;
- для питания от шин ЩСН указанных СРШ, были использованы современные четырёхжильные силовые кабели ВВГнгLS;
- для защиты и коммутации новых присоединений выбраны новые автоматы марки ВА;
- для повышения надёжности участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» между секциями ЩСН было принято решение об установке секционных выключателей в количестве 3 единиц (марки ВА);
- в качестве новой системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», предложено применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки МЕРКУРИЙ 200.02.

Также в работе были решены задачи, подтверждающие эффективную и надёжную работу участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» в результате внедрения мероприятий по её реконструкции.

Расчётным путём установлено, что силовые трансформаторы сухого типа марки ТСЗЛ-6530/6, установленные на ТПСН-6/0,4 кВ, обеспечат надёжное электроснабжение участка собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» с учётом подключения новых потребителей.

Проверены кабели питающей сети 6 кВ, а также питающей и распределительной сетей 0,38/0,22 кВ участка системы собственных нужд.

С учётом увеличения нагрузки участка системы собственных нужд, проверены на соответствие новым расчётным условиям электрические аппараты для установки в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ ТПСН-6/0,4 кВ.

Проведён расчёт максимальных токов короткого замыкания, на основании чего были проверены электрические аппараты участка системы электроснабжения собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Произведён выбор системы АИИСКУЭ .

Установлено, что выбор системы АИСКУЭ на базе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02, оправдывается значительными техническими преимуществами, обеспечивая более эффективное, гибкое и интеллектуальное управление электроэнергией в реконструируемой системе собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на объектах системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».



### **3 Расчёт технико-экономических показателей проекта реконструкции**

Далее в работе осуществляется расчёт основных экономических показателей проведённой реконструкции на участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» с целью оценки расходов и затрат.

Исходными данными для проведения данного экономического расчёта являются принятые ранее в работе технические решения по выбору основного оборудования с целью его установки на участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» в результате проведённой реконструкции схемы электрических соединений последней.

Ранее установлено, что данная реконструкция обусловлена внедрением новых потребителей на рассматриваемом участке системы собственных нужд гидроэлектростанции.

Таким образом, в результате внедрения технических решений, обосновано применение следующих новых видов оборудования для внедрения в схему электрических соединений участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3»:

- для усовершенствования технологического процесса, были введены 6 новых СРШ;
- для питания от шин ЩСН указанных СРШ, были использованы современные четырёхжильные силовые кабели ВВГнгLS;
- для защиты и коммутации новых присоединений выбраны новые автоматы марки ВА;
- для повышения надёжности участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» между секциями ЩСН было принято решение об установке секционных выключателей в количестве 3 единиц (марки ВА);
- в качестве новой системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд АО

«Виллюйская ГЭС-3», предложено применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки МЕРКУРИЙ 200.02.

Перечисленное новое оборудование, рекомендованное к установке на участке системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», используется в работе далее для расчёта экономических показателей проекта по укрупнённым экономическим показателям.

Исходя из принятых решений ранее в работе, капитальные вложения в реконструкцию участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», с учётом систематизации оборудования по его назначению, типу и расположению, определяются по укрупнённым показателям по следующей формуле [15]:

$$K = K_{СРШ} + K_{КЛ} + K_{АИИСКУЭ}, \quad (35)$$

где  $K_{СРШ}$  – капиталовложения в СРШ, включая шкафы и электрические аппараты (автоматы), которые устанавливаются в них;

$K_{КЛ}$  – капиталовложения в новые кабельные линии для питания новых СРШ;

$K_{АИИСКУЭ}$  - капиталовложения в новую систему АИИСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на всём участке СН.

«Принимаются в работе для всех типов оборудования и сетей, расходы на монтаж и наладку оборудования с учётом величины накладных расходов» [15]:

$$\begin{aligned} M_n &= 0,3C_{осн}. \\ H_p &= 0,1C_{осн}. \end{aligned} \quad (36)$$

Капиталовложения в СРШ, включая шкафы и электрические аппараты (автоматы), которые устанавливаются в них, на объектах участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» определяются [15]:

$$K_{ТП} = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (37)$$

«где  $n$  - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн}$  - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

$M_n$  - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

$H_p$  - накладные расходы, тыс. руб.» [15].

Результаты расчёта стоимости СРШ, включая шкафы и электрические аппараты (автоматы), которые устанавливаются в них, сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчёта стоимости СРШ, включая шкафы и электрические аппараты (автоматы), которые устанавливаются в них

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Шкаф СРШ кВ (комплектация без автоматов)	6	40,0	240,0
Автоматы ВА 47-29 (линейные)	5	2,0	10,0
Автоматы ВА 52-31 (линейные)	1	3,0	3,0
Автоматы ВА 57-39 (секционные)	3	5,0	15,0
Итого	15	-	268,0

Таким образом, суммарные капиталовложения в СРШ, включая шкафы и электрические аппараты (автоматы), которые устанавливаются в них, на объектах участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», составят:

$$K_{ТП} = 268 + 0,3 \cdot 268 + 0,1 \cdot 268 = 375,2 \text{ тыс.руб.}$$

Далее в работе необходимо рассчитать стоимость и суммарные капиталовложения в новые кабельные линии, необходимых для питания новых СРШ участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Капиталовложения в новые кабельные линии, необходимых для питания новых СРШ участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», определяются так [15]:

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (38)$$

где  $l_C$  - длина кабельной линии определённой марки, км;

$C_C$  - стоимость 1 км кабельной линии определённой марки, тыс. руб.

Результаты расчета стоимости новых кабельных линий, необходимых для питания новых СРШ участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета стоимости новых кабельных линий, необходимых для питания новых СРШ участка СН АО «Виллюйская ГЭС-3»

Марка кабеля	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
ВВГнгLS–(4×2,5)	1,2	150,0	180,0
ВВГнгLS–(4×6)	0,2	185,0	37,0
Итого	1,4	-	217,0

Суммарные капиталовложения в новые кабельные линии, необходимых для питания новых СРШ участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», будут составлять:

$$K_C = 217 + 0,3 \cdot 217 + 0,1 \cdot 217 \approx 303,8 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в новую систему АИИСКУЭ, необходимые для учёта и контроля электроэнергии всего участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3»:

$$K_{\text{АИИСКУЭ}} = C_{\text{осн.}} \cdot n + M_n + H_p, \quad (39)$$

«где  $n$  - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{\text{осн}}$  - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

$M_n$  - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

$H_p$  - накладные расходы, тыс. руб.» [15].

На участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» планируется установить новую систему АИИСКУЭ с шестью счётчиками электроэнергии (технический учёт электроэнергии):

- по одному счётчику на каждую секцию ЩСН (всего – 4 единицы);
- по одному счётчику на каждую секцию сборных шин 0,4 кВ ТПСН (всего – 2 единицы).

Таким образом, на рассматриваемом участке собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» будет внедрён качественный технический учёт электроэнергии.

Результаты расчета стоимости внедрения новой АИИСКУЭ на участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» по укрупнённым экономическим показателям сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты расчета стоимости внедрения новой АИИСКУЭ на участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3»

Марка оборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Электронные счётчики МЕРКУРИЙ 200.02	6	30,0	180,0
Система контроля и управления АИИСКУЭ	1	80,0	80,0
Базовая станция АИИСКУЭ (с монитором)	1	120,0	120,0
GSM-модем (в комплектации)	1	60,0	60,0
Центральный сервер обработки данных (установка и настройка удалённого доступа)	1	20,0	20,0
Итого	10	-	460,0

Капиталовложения на внедрение новой системы АИИСКУЭ на участке системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3»:

$$K_{\text{АИИСКУЭ}} = 460 + 0,3 \cdot 460 + 0,1 \cdot 460 = 644,0 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капитальных вложений (суммарных капиталовложений) в реконструкцию участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» осуществляется с учётом всех рассчитанных составляющих:

$$K = 375,2 + 303,8 + 644,0 = 1323,0 \text{ тыс.руб.}$$

Принятые решения подтверждаются в работе далее.

В общем виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) на реконструкцию участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» по укрупнённым экономическим показателям по следующей известной формуле согласно [15]:

$$\text{ЭЗ} = \text{ЗП} + \text{СВ} + A_o + P_{\text{ТО}} + \text{Пр}, \quad (40)$$

«где  $\text{ЗП}$  – заработная плата, тыс. руб.;

$\text{СВ}$  – страховые взносы, тыс. руб.;

$A$  – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

$P$  – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.» [15].

При этом годовая заработная плата электротехнических работников АО «Виллюйская ГЭС-3» [15]:

$$\text{ЗП} = M_0 \cdot N \cdot K_{\text{дон}} \cdot T, \quad (41)$$

«где  $M_0$  – средний месячный оклад рабочего электротехнического

персонала АО «Виллюйская ГЭС-3», тыс. руб.;

$N$  – количество оперативно – технических работников, необходимых для обслуживания рассматриваемого участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3», чел.;

$K_{don}$  – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;  
 $T$  – число месяцев в году» [15].

$$ЗП = 60 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 5400 \text{ тыс.руб.}$$

Страховые взносы от заработной платы электротехнических работников АО «Виллойская ГЭС-3» [15]:

$$СВ = 0,309 \cdot ЗП. \quad (42)$$

$$СВ = 0,309 \cdot 5400 = 1668,6 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые амортизационные отчисления на реконструкцию участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3», по укрупнённым экономическим показателям, определяются, исходя из величины капитальных вложений [20]:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (43)$$

где « $a$ - годовая норма амортизационных отчислений» [20].

$$A_o = 1323 \cdot 0,1 = 132,3 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание, с учётом того, что всё выбранное оборудование, необходимое для реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3», новое и современное [20]:

$$P_{ТО} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (44)$$

где  $r$  - «годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание, %» [20].

$$P_{ТО} = 1323 \cdot 0,05 \approx 66,2 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы принимаются равными 1% от суммарных капиталовложений [15]:

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K. \quad (45)$$

$$Pr = 1323 \cdot 0,01 \approx 13,2 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные издержки на реконструкцию участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» составят:

$$\text{ЭЗ} = 5400 + 1668,6 + 132,3 + 66,2 + 13,2 = 7280,3 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, суммарная стоимость проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» учитывает капиталовложения и суммарные годовые эксплуатационные издержки, определяется так:

$$C = K + \text{ЭЗ}. \quad (46)$$

По условию (46):

$$C = 1323,0 + 7280,3 = 8603,3 \text{ тыс.руб.}$$



Срок окупаемости проекта:

$$C_o = \frac{C}{З}, \text{ лет}, \quad (47)$$

где  $C$  – суммарная стоимость проекта, р.;

$З$  – полученный эффект от внедрения нового электрооборудования,  
р.

Полученный эффект будет выражаться в уменьшении затрат на монтаж, обслуживание и ремонт нового современного электрооборудования, которое выбрано в работе ранее.

Согласно источникам [14,15,19], фактическая экономия при установке нового современного электрооборудования на стадии реконструкции может быть принята в размере 15-25% от суммарных годовых эксплуатационных издержек.

С учётом этого, формула для расчёта полученный эффект от внедрения нового электрооборудования, примет вид:

$$C = k_{эф} \cdot ЭЗ, \text{ тыс.руб.}, \quad (48)$$

где  $k_{эф}$  – коэффициент эффективности капиталовложений в новое электрооборудование (принимается в работе  $k_{эф} = 0,25$ ).

По условию (48):

$$C = 0,25 \cdot 7280,3 \approx 1820,1 \text{ тыс.руб.}$$

Значит, срок окупаемости проекта по условию (47):

$$C_o = \frac{8603,3}{1820,1} \approx 4,73 \text{ года.}$$

Известно, что нормативный срок окупаемости проекта составляет не более 7 лет, если он больше этого значения, можно предположить, что проект не окупится в краткосрочной перспективе. В таком случае необходимо рассмотреть вариант удешевления капиталовложений с одной стороны, а с другой – повышение эффективности внедрения составляющих со снижением затрат на их монтаж [19].

Срок окупаемости данного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» составляет 4,73 года, что соответствует нормативному сроку [19], следовательно, проект экономически эффективен.

Следовательно, полученные результаты могут быть рекомендованы к практическому применению на участке системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Таким образом, в работе рассчитаны основные экономические показатели разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3».

Установлено, что суммарные капиталовложения в объект реконструкции составили 1323 тыс. руб., суммарная величина эксплуатационных издержек – 7280,3 тыс. руб.

Исходя из этого, определена суммарная стоимость проекта реконструкции системы СН, которая составила 8603,3 тыс. руб.

Значит, предложенный проект реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» целесообразен технически и эффективен экономически.

Следовательно, данный проект реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» может быть рекомендован к рассмотрению с целью его практической реализации.

В работе полученные результаты расчёта основных экономических показателей разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллюйская ГЭС-3» представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Сводная таблица технико-экономических показателей разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3»

Статья затрат	Единица измерения	Числовой показатель статьи затрат
Капиталовложения в СРШ, включая шкафы и электрические аппараты	тыс. руб.	375,2
Капиталовложения в новые кабельные линии	тыс. руб.	303,8
Капиталовложения в новую систему АИИСКУЭ	тыс. руб.	644,0
Суммарные капитальные вложения	тыс. руб.	1323,0
Заработная плата	тыс. руб.	5400,0
Страховые взносы	тыс. руб.	1668,6
Годовые амортизационные отчисления	тыс. руб.	132,3
Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание	тыс. руб.	66,2
Прочие расходы	тыс. руб.	13,2
Суммарная величина эксплуатационных издержек	тыс. руб.	7280,3
Суммарная стоимость проекта	тыс. руб.	8603,3
Срок окупаемости проекта	лет	4,73

Полученные результаты технико-экономических показателей разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3» предложено учесть при практической реализации данного проекта.

## Заключение

В результате выполнения работы, осуществлена разработка проекта реконструкции электрической части участка системы собственных нужд электрической станции на примере АО «Виллойская ГЭС-3».

В работе установлено, что реконструкция участка системы СН осуществляется в работе путём подключения дополнительных потребителей к существующей системе собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3».

Определено, что данный аспект сопровождается внесением изменений в существующую схему участка системы собственных нужд электрической станции на примере АО «Виллойская ГЭС-3».

На основании анализа требований нормативных документов к проектированию, модернизации и реконструкции систем собственных нужд энергетических объектов, установлено, что внедрение составляющих надёжности, секционирования, экономичности и резервирование в системах собственных нужд гидроэлектростанций обеспечивает повышенную надежность, устойчивость к отказам и снижает риски аварийных ситуаций.

Установлено, что подход к обеспечению данных параметров зависят от важности конкретной системы, категорий надёжности её потребителей, а также особенностей эксплуатации и потенциальных рисков.

На основании проведённого анализа установлено, что указанные нормы и требования основных документов, предъявляемые к системам собственных нужд энергетических объектов, обязательны к применению в системе электроснабжения рассматриваемого участка сети системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3».

В результате внедрения технических решений, обосновано применение следующих новых видов оборудования для внедрения в схему электрических соединений участка системы собственных нужд АО «Виллойская ГЭС-3»:

- для усовершенствования технологического процесса, были введены 6 новых СРШ;

- для питания от шин ЩСН указанных СРШ, были использованы современные четырёхжильные силовые кабели ВВГнгLS;
- для защиты и коммутации новых присоединений выбраны новые автоматы марки ВА;
- для повышения надёжности участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» между секциями ЩСН было принято решение об установке секционных выключателей в количестве 3 единиц (марки ВА);
- в качестве новой системы учёта и контроля электроэнергии на рассматриваемом участке системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3», предложено применить систему АИИСКУЭ с двухтарифным учётом электроэнергии, марки МЕРКУРИЙ 200.02.

Также в работе были решены задачи, подтверждающие эффективную и надёжную работу участка системы собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» в результате внедрения мероприятий по её реконструкции.

Расчётным путём установлено, что силовые трансформаторы сухого типа марки ТСЗЛ-6530/6, установленные на ТПСН-6/0,4 кВ, обеспечат надёжное электроснабжение участка собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3» с учётом подключения новых потребителей.

С учётом увеличения нагрузки участка системы собственных нужд, проверены на соответствие новым расчётным условиям электрические аппараты для установки в РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ ТПСН-6/0,4 кВ.

Проверены кабели питающей сети 6 кВ, а также питающей и распределительной сетей 0,38/0,22 кВ участка системы собственных нужд.

Проведён расчёт максимальных токов короткого замыкания, на основании чего были проверены электрические аппараты участка системы электроснабжения собственных нужд АО «Вилуйская ГЭС-3».

Установлено, что выбор системы АИИСКУЭ на базе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки МЕРКУРИЙ 200.02, оправдывается значительными техническими преимуществами,

обеспечивая более эффективное, гибкое и интеллектуальное управление электроэнергией в реконструируемой системе собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на объектах системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Рассчитаны основные экономические показатели разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3».

Установлено, что суммарные капиталовложения в объект реконструкции составили 1323 тыс. руб., суммарная величина эксплуатационных издержек – 7280,3 тыс. руб. Исходя из этого, определена суммарная стоимость проекта реконструкции системы СН, которая составила 8603,3 тыс. руб. Значит, проект реконструкции целесообразен технически и эффективен экономически.

Расчётный срок окупаемости разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» составил 4,73 года, что соответствует нормативному сроку, следовательно, проект экономически эффективен. Полученные результаты технических и экономических показателей разработанного проекта реконструкции участка системы собственных нужд АО «Вилюйская ГЭС-3» предложено учесть при практической реализации данного проекта.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём подтверждена гипотеза, что в результате внедрения новых схемных решений и модернизации оборудования вследствие разработки проекта реконструкции системы собственных нужд на АО «Вилюйская ГЭС-3», будут значительно повышены показатели и характеристики надёжности, экономичности, безопасности, экологичности не только системы собственных нужд, но и всей электростанции и энергосистемы в целом.

## Список используемых источников

1. АО «Вилюйская ГЭС-3» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.shpp.ru/> (дата обращения: 15.10.2023).
2. Вилюйская ГЭС-3 (Светлинская) [Электронный ресурс]: URL: <http://wikimapia.org/9734446/ru/Вилюйская-ГЭС-3-Светлинская> (дата обращения: 15.10.2023).
3. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845729.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).
4. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 23.11.2023).
5. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 23.11.2023).
6. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 23.11.2023).
7. Классификация автоматических выключателей ИЭК [Электронный ресурс]: URL: <https://www.21vek-220v.ru/articles/uznaem-v-lico-klassifikaciya-avtomaticheskix-vyklyuchatelej-iek> (дата обращения: 23.11.2023).
8. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение сельского хозяйства. Дипломное проектирование. СПб.:

Лань, 2018. 316 с.

10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.

12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

13. Светлинская ГЭС (Вилюйская ГЭС-III) [Электронный ресурс]: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Светлинская\\_ГЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/Светлинская_ГЭС) (дата обращения: 15.10.2023).

14. Собственные нужды подстанций, потребители, классификация [Электронный ресурс]: URL: <https://pue8.ru/elektrotehnik/903-sobstvennye-nuzhdy-podstantsij.html>. (дата обращения: 23.11.2023).

15. СТО 34.01-23.1-001-2017 Объем и нормы испытаний электрооборудования. [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293734/4293734154.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).

16. СТО 70238424.27.100.041-2009 Системы питания собственных нужд ТЭС. Условия создания. Нормы и требования. [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200083781> (дата обращения: 23.11.2023).

17. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 15.10.2023).

18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изменениями на 13 июня 2023 года). [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902186281> (дата обращения: 23.11.2023).

19. Электрическая часть электростанций - Собственные нужды электрических станций. [Электронный ресурс]: URL:



<https://forca.ru/knigi/arhivy/elektricheskaya-chast-elektrostanciy-28.html> (дата обращения: 23.11.2023).

20. Электроснабжение собственных нужд электростанций и подстанций.

[Электронный ресурс]: URL:

[https://ozlib.com/839859/tehnika/elektrosnabzhenie\\_sobstvennyh\\_nuzhd\\_elektrostantsiy\\_podstantsiy](https://ozlib.com/839859/tehnika/elektrosnabzhenie_sobstvennyh_nuzhd_elektrostantsiy_podstantsiy) (дата обращения: 23.11.2023).