

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 системы электроснабжения на предприятии АО «Карельский  
окатыш»

Студент

Т.Н. Худык

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Аннотация

ВКР состоит из 46 страниц, содержащих 9 рисунков, 3 таблицы, 25 библиографических источника.

Объектом исследования ВКР является реконструкция системы электроснабжения на предприятии АО «Карельский окатыш».

ВКР содержит введение, 3 раздела, заключение, список источников информации.

Во введении приведено краткое описание изучаемого предприятия, определена актуальность темы.

Первый раздел посвящен характеристике предприятия АО «Карельский окатыш», изучению схемы электроснабжения Костомукшского ГОКа.

Во втором разделе описана характеристика потребителей электроэнергии на АО «Карельский окатыш», рассмотрены внешнее и внутреннее электроснабжение предприятия.

Третий раздел – практический, на основе изученных данных производится сбор и анализ выполненных работ в рамках реконструкции и модернизации электрооборудования на АО «Карельский окатыш», внедрения автоматизированной системы диспетчерского контроля и управления электроснабжением (АСДКУЭ) ОАО «Карельский окатыш», технического перевооружения РЗА на предприятии.

В заключении представлены основные выводы целесообразности введения новых технологий в системе электроснабжения Костомукшского ГОКа.

Приложения содержат таблицы, составленные на основании данных, полученных в процессе изучения темы.

## Содержание

Введение.....	5
1 АО «Карельский окатыш» .....	7
1.1 Характеристика предприятия АО «Карельский окатыш» .....	7
1.2 Схема электроснабжения Костомукшского ГОКа.....	8
2 Характеристика потребителей электроэнергии на ГОК Карельский окатыш.....	12
2.1 Внешнее электроснабжение предприятия .....	12
2.2 Внутреннее электроснабжение предприятия.....	13
2.2.1 Система внутреннего электроснабжения карьера.....	13
2.2.2 Система внутреннего электроснабжения ДОФ и ЦПО на АО «Карельский окатыш» .....	16
3. Реконструкция системы электроснабжения на предприятии АО «Карельский окатыш».....	21
3.1 Этапы модернизации электрооборудования на «Карельском окатыше» .....	21
3.2 Автоматизированная система диспетчерского контроля и управления электроснабжением (АСДКУЭ) ОАО «Карельский окатыш».....	27
3.2.1 Автоматизированная система управления технологическими процессами подстанций (АСУТП ПС).....	32
3.2.2 Автоматизированная система диспетчерского управления электроснабжением (АСДУЭ).....	33
3.2.3 Автоматизированная система технического учета электроэнергии (АСТУЭ) .....	35
3.3 Релейная защита, автоматика и вторичные цепи в рамках реконструкции электроснабжения предприятия АО «Карельский окатыш» .....	36
Заключение.....	42
Список используемых источников.....	44

Приложение А Перечень трансформаторов ГПП АО «Карельский окатыш» .....	47
Приложение Б Перечень механизмов РП ДОФ с указанием даты замены МВ на ВВ.....	48
Приложение В Перечень механизмов РП ЦПО с указанием даты замены МВ на ВВ.....	52

## Введение

АО «Карельский окатыш» - комбинат по добыче и переработке железной руды. Продукция предприятия - офлюсованные и не офлюсованные окатыши любых качественных характеристик. Сырьевой базой для производства окатышей является Костомукшское месторождение железной руды - крупнейшее на северо-западе России. Разрабатываются Костомукшский и Корпангский карьеры. Исследованные запасы руды на конец 2021 года составляют 1,270 млрд. тонн. Предприятие входит в горнодобывающий (сырьевой) дивизион горно-металлургической компании ПАО «Северсталь» с 1999 года. АО «Карельский окатыш» занимает третье место в России по объему производства железорудных окатышей - вырабатывает пятую часть всех российских окатышей. На внутреннем рынке основным потребителем является Череповецкий металлургический комбинат. Кроме того, продукция «Карельского окатыша» поставляется на сталелитейные предприятия Финляндии, Чехии, Словакии, Венгрии, Польши, Норвегии, Германии, Турции [4].

Помимо основной деятельности АО «Карельский окатыш» осуществляет стратегические задачи и жизненно важные для города Костомукши и самого комбината функции: производство, передачу и сбыт тепловой энергии, электроснабжение, оказание услуг в сфере водоснабжения, водоотведения и очистки сточных вод.

Система электроснабжения предприятия АО «Карельский окатыш» включает воздушные линии (ВЛ) 110, 10, 6 кВ., ПС Костомукша (ГПП-52) 220/110/35 кВ, 11 ГПП-110/6 кВ, 2 ТРП-110/10 кВ, 24 РП а также токопроводы, которые обеспечивают подвод электроэнергии к потребителям.

В выпускной квалификационной работе рассмотрена реконструкция системы электроснабжения на предприятии АО «Карельский окатыш». Актуальность темы обусловлена необходимостью замены физически и морально устаревшего оборудования, при эксплуатации которого с течением

времени увеличивается риск аварий на подстанциях, нарушается электроснабжение потребителей. От бесперебойной работы этого оборудования зависит не только производство на комбинате, но и жизнь города. При несвоевременной модернизации подстанций возрастёт число аварий, что приведёт к увеличению затрат на ремонт оборудования. Так, в 1987 году из-за аварии на подстанции стоял вопрос об эвакуации Костомукши: сильные морозы вывели из строя два выключателя, обеспечивающие электроснабжение города. Ситуацию спасли специалисты, которым удалось оперативно решить проблему.

Одна из важнейших задач, стоящих перед подразделением энергоуправления – повышение энергоэффективности. По проектам реконструкции и модернизации системы электроснабжения осуществляется замена устаревшего электрооборудования на современное, внедряются такие системы как автоматизация, видеонаблюдение, технический учет.

Для обеспечения надежного электроснабжения действующих и новых потребителей АО «Карельский окатыш» необходимо выполнить значительный объем работ по реконструкции и техническому перевооружению действующих электрических сетей, а также по сооружению новых ПС и ВЛ.

В рамках реконструкции на АО «Карельский окатыш» в настоящее время ведутся работы по реализации проекта автоматизации подстанций и замене устаревшего оборудования на новое. Инвестиции, направленные на реализацию проекта, составили более 500 миллионов рублей. Полностью выполнить работы по реконструкции планируется до декабря 2024 года. По завершению модернизации и реконструкции оборудования значительно сократится время на ликвидацию аварийных ситуаций и восстановлению нормальной схемы электроснабжения. Переключения на ГПП и РП, основную часть которых мастер смены сможет выполнять дистанционно, будут выполняться в короткие сроки.

## **1 АО «Карельский окатыш»**

### **1.1 Характеристика предприятия АО «Карельский окатыш»**

Горно-обогатительный комбинат «Карельский окатыш» расположен в Республике Карелия на Северо-Западе России. Комбинат специализируется на добыче, переработке, транспортировке железной руды.

Комбинат был построен совместно советскими и финскими строителями после того, как в семидесятых годах были открыты и изучены Костомукшское и Корпангское месторождение. Параллельно с горнодобывающим предприятием строился город Костомукша: жилые дома и вся необходимая инфраструктура.

С 1982 года ведутся горные работы на базе Костомукшского месторождения. В начале 1985 года предприятие достигло проектной мощности по добыче руды, производству концентрата и окатышей. Добыча руды на Корпангском месторождении началась весной 2007 года.

Содержание железа окатышей, производимых в результате добычи и переработки, составляет более 67%.

Запасы руды, исследованные на сегодняшний день, составляют 1,270 миллиарда тонн. Предприятие АО «Карельский окатыш» состоит в горнодобывающем дивизионе горно-металлургической компании ПАО "Северсталь".

Основным потребителем продукции компании является металлургический комбинат «Северсталь», расположенный в г. Череповце (Вологодская область). Предприятие также поставляет свою продукцию на экспорт. С финской фирмой «Раутаруукки» предприятие сотрудничает с первых дней своей деятельности.

Свою продукцию ОАО «Карельский окатыш» поставляет также на металлургические предприятия стран Восточной Европы.

АО «Карельский окатыш» занимает третье место в России по объему

производства железорудных окатышей - вырабатывает пятую часть всех российских окатышей. В 2020 году произведено 11,637 млн. тонн готовой продукции.

Основной процент денежных средств, поступающих в казну Карелии от налогоплательщиков, приходит с АО «Карельский окатыш». Стабильная работа предприятия является гарантом стабильности экономики республики.

Помимо основной деятельности АО «Карельский окатыш» в соответствии с законодательством Российской Федерации является территориальной сетевой организацией, одним из видов деятельности которой на российском рынке электрической энергии является оказание потребителям услуг по передаче электрической энергии по электрическим сетям [1]

Предприятие постоянно занимается модернизацией оборудования, оптимизацией процессов производства, улучшением условий труда, повышением объемов производства. Сегодня АО «Карельский окатыш» является одним из самых успешных, стабильных и современных предприятий нашей страны.

## **1.2 Схема электроснабжения Костомукшского ГОКа**

Система электроснабжения предприятия включает отходящие воздушные (ВЛ) и кабельные линии(КЛ) 6, 10 кВ, 11 ГПП 110/6, 2 ТРП-110/10 кВ, 24 РП 6, 10 кВ, более 200 трансформаторных подстанций (ТП) 6/0,4 кВ. Питание ОАО «Карельский окатыш» (Костомукшский ГОК) осуществляется по двум параллельным ВЛ 220кВ Путкинская ГЭС-9 – Подужемская ГЭС-10 – Кривопорожская ГЭС-14 – Костомукша (КГОК) суммарной протяженностью 229 км (с проводом АСО-300). Каскад Кемских ГЭС расположен на реке Кемь, вытекающей из озера Нижнее Куйто и впадающей в Кемскую губу Белого моря. Общая установленная мощность – 330 МВт. В состав каскада входят Путкинская ГЭС (ГЭС-9), Подужемская ГЭС (ГЭС-10), Кривопорожская ГЭС (ГЭС-14), Юшкозерская ГЭС (ГЭС-16). На рисунке 1



изображен энергорайон каскада Кемских ГЭС и Костомукшского ГОКа.

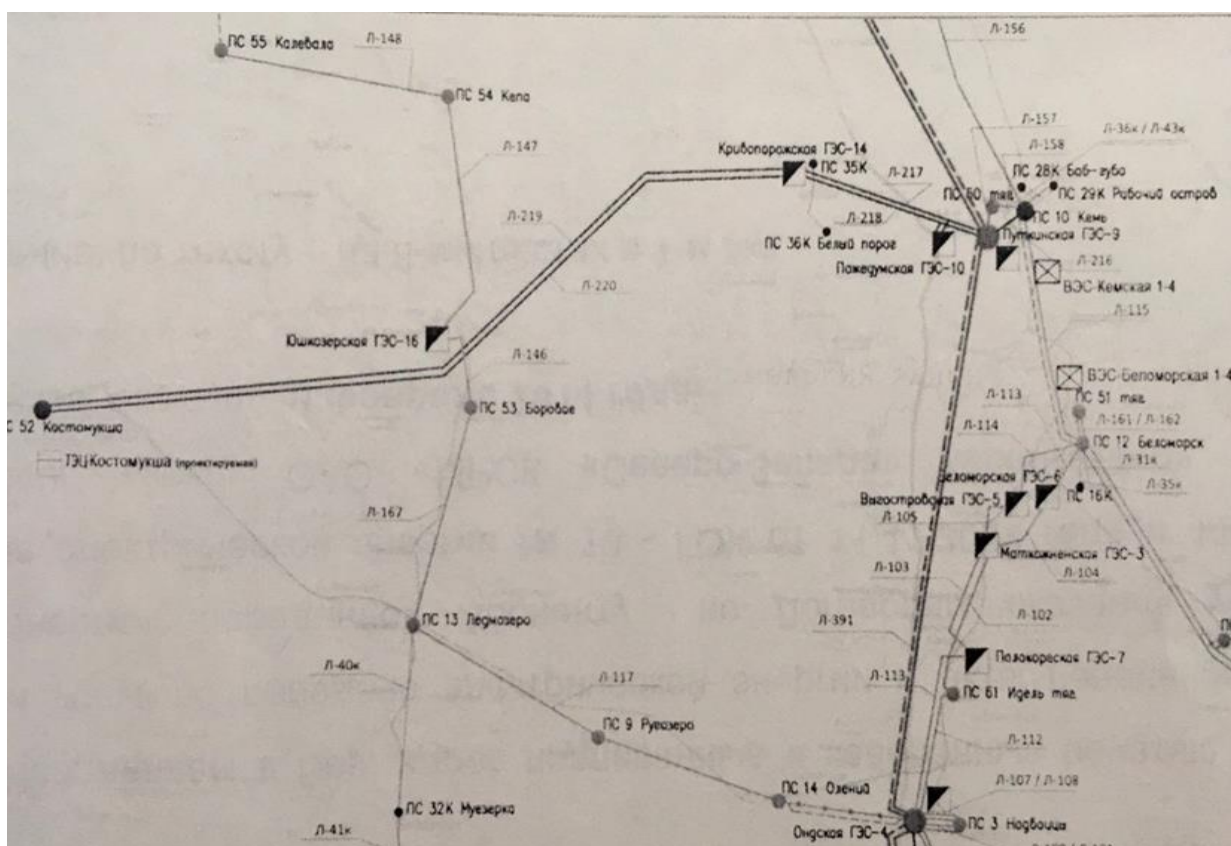


Рисунок 1 – Энергорайон каскада Кемских ГЭС и Костомукшского ГОК

Питающие линии выполнены на отдельных опорах и практически на всем протяжении проходят параллельно на расстоянии 50 м друг от друга. Длительно допустимый ток на каждой ВЛ 220 кВ Кривопорожская ГЭС-14 – Костомукша равен 600 А по условию загрузки ТТ.

Питание потребителей завода и города осуществляется по ВЛ 110кВ от ГПП-52 220/110 кВ. Схема ПС 220 кВ Костомукша указана на рисунке.

Потребляемая мощность ГОКа и города 233 миллиона киловатт электроэнергии. Общая номинальная мощность присоединенных к электрической сети трансформаторов 400 МВА. Перечень трансформаторов ГПП АО «Карельский окатыш» приведен в Приложении А.

Питание потребителей завода и города осуществляется по ВЛ 110кВ от ГПП-52 220/110 кВ. Схема ПС 220 кВ Костомукша указана на рисунке 2.

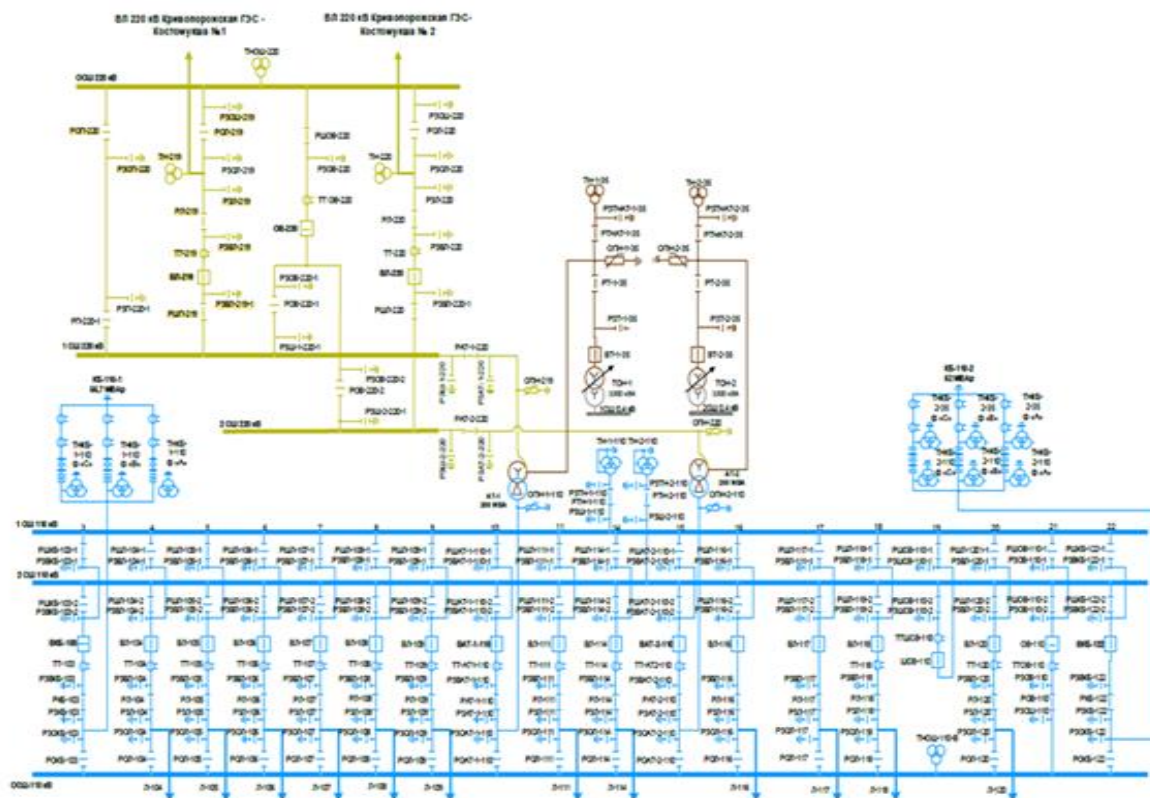


Рисунок 2 - Схема ПС 220 кВ Костомукша

На шинах 110 кВ ПС 220 кВ Костомукша (ГПП-52) установлены две БСК мощностью 52 МВар и 55,7 МВар. По ВЛ 110 кВ Л-118 и Л-120 ГПП-1 и ГПП-2 (ПС Город). По ВЛ 110 кВ Л-106 и Л-107 ГПП-3,4,9,12,14 и ТРП-10,13 (ПС Карьер). По ВЛ-110 кВ Л-108 и Л-109 ГПП-5 и ВЛ 110 кВ Л-111 и Л-114 ГПП-6 (Фабрика обогащения и окомкования). По ВЛ 110 кВ л-104 и Л-105 ГПП-7 (Насосная обратного водоснабжения). По ВЛ 110 кВ Л-116 и Л-117 ГПП-8 (Завод по ремонту горного оборудования).

Основной нагрузкой потребителей, запитанных от ГПП-1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 12, 13, 14 является статическая нагрузка [5]. Величина нагрузки каждой ГПП Костомукшского ГОКа приведена в таблице 1.

От шин 10 кВ ГПП-7 (Насосная обратного водоснабжения) запитаны 12 синхронных двигателей (СД) СДН-2-16-49-6 мощностью 1250 кВт. От шин 10 кВ ГПП-5 и ГПП-6 (Фабрика обогащения и окомкования) запитаны синхронные (СД) и асинхронные (АД). Общая установленная мощность

двигателей питаемых от шин данных ГПП составляет 180 МВт.

Таблица 1 - Величина нагрузки на шинах ГПП потребителей Костомукшского ГОК

Параметр	Наименование ГПП												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	14
Р, МВт	12-13	3-6	23	6	104-108	47-60	14-16	25	15	5-7	5	4-5	15
ВН, кВ	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110
НН, кВ	10	6	6	6	10/6	10/6	6	6	6	10	6	10	6

Изучив схему электроснабжения предприятия, приходим к выводу, что на АО «Карельский окатыш» применяется смешанная схема электропитания потребителей.

Такая схема наиболее подходит для электроснабжения промышленных предприятий и приводит к наиболее высоким техническим и экономическим показателям.

Данный раздел посвящен изучению предприятия АО «Карельский окатыш». Обозначен вид деятельности комбината, определена существующая схема электроснабжения. На сегодняшний день АО «Карельский окатыш» является одним из лидирующих предприятий в области металлургической промышленности.

### **Вывод по разделу 1**

Система электроснабжения комбината обеспечивает питание всей промышленной территории комбината, а также прилегающего города Костомукша, численность населения которого составляет около 40 тысяч человек. Поэтому для Костомукшского ГОКа вопрос надежности и бесперебойной работы электрооборудования является одним из наиболее важных.

## **2 Характеристика потребителей электроэнергии на ГОК Карельский окатыш**

### **2.1 Внешнее электроснабжение предприятия**

Электроснабжение на горнодобывающих предприятиях делится на внешнее и внутреннее.

Под внешним электроснабжением подразумевается комплекс сооружений, обеспечивающих передачу электроэнергии от выбранной точки присоединения к энергосистеме, до приемных подстанций предприятия.

Внутреннее электроснабжение - комплекс линий и подстанций, расположенных на территории предприятия [3].

В соответствии с Федеральным законом от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» и с Постановлением Государственного Комитета Республики Карелия по ценам и тарифам от 26.03.2010 г. № 14 АО «Карельский окатыш» относится к субъектам естественных монополий в сфере оказания услуг по передаче электрической энергии [25], [21].

В соответствии с законодательством АО «Карельский окатыш», как территориальная сетевая организация, содержит комплекс электрических сетей и иных объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих на праве собственности или на ином предусмотренном законами основании, и обеспечивающих устойчивое снабжение электрической энергией конечных потребителей [19].

Зона деятельности АО «Карельский окатыш», как сетевой организации, определяется от питающей подстанции ПС 220 кВ Костомукша (ПС 52) (Акт разграничения балансовой принадлежности электросетей и эксплуатационной ответственности с ПАО «ФСК ЕЭС») до границ балансовой принадлежности электросетей и эксплуатационной ответственности с АО «Прионежская сетевая организация» (Акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности по ГПП-1 110/10 кВ яч. В-1-4, В-1-5, В-1-

6, В-1-8, В-1-10, В-1-11, В-1-13, В-1-14, В-1-19, В-1-20, В-1-22, В-1-23, В-1-29, В-1-30, В-1-36, В-1-37, В-1-43, по РП-14 яч. В-14-5, В-14-10), с Филиалом ПАО «МРСК Северо-Запада» «Карелэнерго» (Акт разграничения балансовой принадлежности электросетей и эксплуатационной ответственности с Филиалом ПАО «МРСК Северо-Запада» «Карелэнерго» ГПП-7 РУ-6 кВ яч. В-7-1), с Петрозаводской дистанцией электроснабжения Петрозаводского отделения Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» (Акт разграничения балансовой принадлежности электросетей и эксплуатационной ответственности по ГПП-2 110/6 кВ яч. В-2-21, В-2-28, В-2-30, по ГПП-1 110/10 кВ яч. В-1-25) О перечне зон деятельности АО «Карельский окатыш» в 2021 году [1].

АО «Карельский окатыш» является единственным источником электроэнергии для таких населенных пунктов, как город Костомукша, (численность населения 39980 тыс.чел) и деревня Вокнаволок (численность населения 398 человек). Поэтому система электроснабжения предприятия имеет также и социальное значение.

## **2.2 Внутреннее электроснабжение предприятия**

### **2.2.1 Система внутреннего электроснабжения карьера**

Костомукшское месторождение железистых кварцитов находится на северном склоне Западно-Карельской возвышенности. Оно включает в себя такие породы, как филлитовидные, кварц-биотитовые и другие сланцы, железистые кварциты и геллефлинты. Месторождение делится на пять участков: Южный (карьер южный), Северный-2 (карьер Северный-2), Северный-3 (карьер Северный -3), Центральный (карьер Центральный) и Западный (карьер Западный).

Источником электроснабжения карьера и комбината в целом является ПС 220/110 кВ Костомукша (ГПП-52). Электроэнергия с ГПП-52 в карьер передается по двум воздушным линиям 110 кВ – Л-106, Л-107.

Электроснабжение Южного участка карьера обеспечивается электрическими сетями от ГПП-9 (110/6 кВ), РП-94. Контактная сеть Южного и Центрального карьеров питается с ТРП-10 (110/10 кВ), а Северного с ТРП-13 (110/10 кВ).

Для электроснабжения Северного карьера были установлены ГПП-12 (110/6 кВ), РП-121 и ТРП 13(110/10).

Корпангское месторождение, где находится карьер Западный, располагается в северной части Костомукшского железорудного района. Горное оборудование Западного участка карьера запитано от ГПП-14 (110/6) и РП-141.

Потребление электроэнергии карьера составляет 16 МВт. На «Карельском окатыше» используют как электрическое, так и дизельное горное оборудование. Практически все экскаваторы (кроме машин с обратной лопатой) и буровые станки (исключая станки Atlas Copco) отечественные электрические.

Бурение взрывных скважин производят станки шарошечного бурения СБШ-250-МНА-32, СБШ-250-МНА-32КП, Atlas Copco PV-275, Flexi ROC D65.

В забоях работают экскаваторы карьерные гусеничные ЭКГ-10, ЭКГ-12 (представлен на рисунке 3), ЭКГ-20К, а также 26-кубовый Komatsu PC-5500 и Caterpillar-390, объем ковша которого 6 кубометров.

В Западном и Центральном карьерах «Карельского окатыша» работают опытно-промышленные комплексы сухой магнитной сепарации (СМС). Первый такой комплекс СМС запустили в 2009 году. Он предназначен для механизированной сортировки крупнодробленых (до 300 мм) засоренных руд с содержанием железа от 10 до 20%.

Руду на фабрику доставляют железнодорожным транспортом. Для питания электровозов в Южном карьере установили ТРП-10 110/10 кВ, а в Северном карьере – ТРП-13 110/10 кВ.





Рисунок 3 - ЭКГ-12, ОАО Карельский окатыш

В качестве источников света для наружного освещения применяются светильники с лампами ДКСТ-20000, ДРЛ - 400-700, КГ-5000.

Помимо электровозов, наиболее мощными потребителями электроэнергии карьера являются экскаваторы ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-10Р, ЭКГ-12,5, ЭКГ-12, буровые станки СБШ-250МН, СБШ-270ИЗ, а также насосы карьерного водоотлива.

Горные работы ведутся по цикличной технологии. Однако в 2023 году планируется внедрить циклично-поточную технологию. Планируется построить два дробильно-конвейерных комплекса (рудный и вскрышной) в Центральном карьере. Из экскаваторных забоев автосамосвалы будут доставлять руду и вскрышу до разгрузочной площадки, затем горную массу станут поднимать конвейеры [4].

Для электроснабжения дробильно-конвейерных комплексов в Центральном карьере строят новую подстанцию ГПП-11 (110/6 кВ). ГПП-11

планируют запитать от ВЛ-110 кВ Л-106, Л-107. С ГПП-11 напряжение пойдет на 4 РП 6 кВ – РП-11, РП-12, РП-13, РП-14. С этих РП и будут получать питание привода конвейеров.

Запуск первого дробильно - конвейерного комплекса планируется на конец 2023 года. Соответственно, нагрузка по карьеру и комбинату в целом возрастет.

Главной задачей предприятия является производство конкурентноспособной продукции. Комбинат постоянно увеличивает планы по добыче железной руды, для чего закупается более мощная техника, устанавливаются новые подстанции. Потребление электроэнергии карьера с годами только увеличивается. Надежное, модернизированное электрооборудование обеспечит бесперебойную работу по добыче и транспортировке железной руды на фабрику.

### **2.2.2 Система внутреннего электроснабжения ДОФ и ЦПО на АО «Карельский окатыш»**

Концентрация электрических нагрузок, высокая энергоёмкость процессов и особенности технологического цикла в наибольшей степени характерны для железорудных горно-обоганительных комплексов (ГОК). В состав таких комплексов, входят фабрики агломерации и окомкования. Снабжение таких предприятий электроэнергией целесообразно осуществлять напряжением 110-220 кВ с устройством одной — двух подстанций глубокого ввода (ПГВ). Схемные решения подстанций и выбор защитно-коммутационной аппаратуры определяются ТЭО [17].

Для распределения электроэнергии внутри производственных корпусов и между ними (если они питаются от одной подстанции) сооружаются распределительные линии по радиальным, магистральным и комбинированным (кольцевым) схемам. Широкое распространение получили схемы с шинными магистралями. РУ главных и цеховых подстанций выполняются двухсекционными с устройством АВР [17].

Схема электроснабжения фабрики окомкования, с тремя обжиговыми



машинами, строится по тому же принципу. Устанавливаются распределительные подстанции: для электродвигателей мощностью до 1000 кВт — 6 кВ, а при мощности порядка 4000 кВт — 10 кВ. На ГПП при этом устанавливаются понизительные трансформаторы, например, 110/6 и 110/10 кВ.

Схемы электроснабжения строятся, в основном, с применением гибких токопроводов: двух- и трёхобмоточных трансформаторов, а также с расщеплённой обмоткой низшего напряжения; масляных, электромагнитных и вакуумных выключателей; комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций.

Дробильно-обогащительная фабрика (ДОФ) и цех производства окатышей (ЦПО) на АО «Карельский окатыш» находятся в 3 км от источника электрического питания на индивидуальной промышленной площадке. Основное назначение цехов – предварительное дробление руды, обогащение, окомкование и обжиг. На рисунке 4 представлены производственные корпуса ДОФ и ЦПО.

Дробильно-обогащительная фабрика представляет собой высокомеханизированное предприятие. Мощность оборудования ДОФ составляет 90-140 МВт. Различные механизмы – дробилки, конвейера, вентиляторы, мельницы, насосы, землесосы объединяются технологические секции (ТС). Каждая ТС потребляет 7-10 МВт электроэнергии.

Система внутреннего электроснабжения ДОФ представляет собой совокупность цеховых подстанций, РП, РУ, кабельных и воздушных линий в пределах промплощадки. Цеховые подстанции и РУ 6-10 кВ пристраиваются к технологическому корпусу или встраиваются в него. Питание РУ осуществляется по кабельным линиям. Для передачи электроэнергии в сетях внутреннего электроснабжения фабрик, наряду с кабелями, широкое распространение получили шинопроводы (нагрузка свыше 1000 А при напряжении 6-10 кВ).



Рисунок 4 – Производственные корпуса ДОФ и ЦПО

Электроснабжение ДОФ и ЦПО на АО «Карельский окатыш» осуществляется от главных подстанций ГПП-5 и ГПП-6, схема которых представлена на рисунке 5, объединенных обходной системой шин, которые понижают напряжение 110/10кВ и 110/6кВ. ГПП в свою очередь получают питание от источника питания по 2-хцепной линии 110 кВ, выполненной сталеалюминиевыми проводами.

Цеховые подстанции (ТП) и распределительные устройства (РУ) 6-10 кВ, как правило, пристраиваются к корпусу или встраиваются в него. Такие РУ запитаны от двух главных вводов, а на секциях установлены 4 вводных выключателя – 2 основных и 2 резервных (РП-53,54,55 10 кВ, РП-56,57,58 6 кВ на ДОФ и РП-60,61,62 10 кВ, РП-63,65,66 6 кВ на ЦПО). Однако, есть и отдельно стоящие подстанции. Их схемы более простые и выполнены двумя

секциями шин с вводными выключателями, соединенными выключателем секционным. (РП-51, РП-52 6 кВ на ДОФ и РП-65, РП-67, РП-68, РП-69 6 кВ на ЦПО). Питание РУ 6 -10 кВ производится по кабельным линиям, а подстанции - по кабелям. Мощность потребления электроэнергии каждого отдельного механизма ДОФ представлена в Приложении Б и ЦПО в Приложении А.

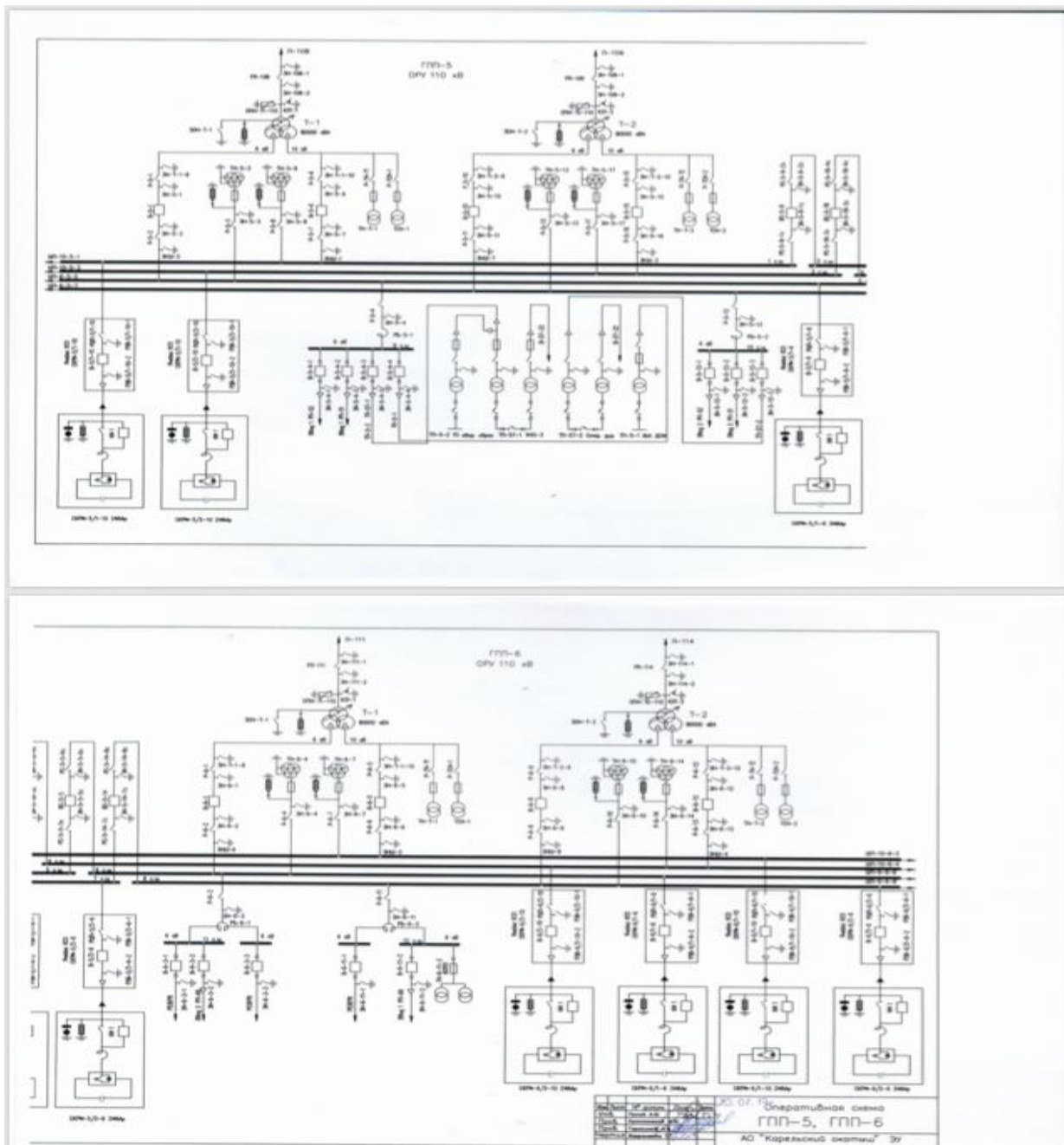


Рисунок 5 - Схема ГПП-5, ГПП-6, питающих ДОФ и ЦПО

В случае аварийной ситуации, даже при недолговременной потере электрического питания на фабрике, происходит расстройство технологического процесса в целом. Запуск всех двенадцати технологических секций занимает от 10 до 24 часов, что приводит к большим потерям на производстве. Реконструкция и модернизация электроснабжения позволит сократить сроки ликвидации аварий, в результате чего уменьшатся простои оборудования и энергопотери на АО «Карельский окатыш».

Во втором разделе ВКР рассмотрены потребители электроэнергии АО «Карельский окатыш», обозначены системы внешнего и внутреннего электроснабжения.

## **Вывод по разделу 2**

Для нормальной работы промышленного производства комбината требуется обеспечение надежного электроснабжения технологического оборудования. Это объясняет наличие на предприятии разных схем электроснабжения радиальных, магистральных и смешанных.

### **3 Реконструкция системы электроснабжения на предприятии АО «Карельский окатыш»**

#### **3.1 Этапы модернизации электрооборудования на «Карельском окатыше»**

Сейчас на подстанциях идет глобальная реконструкция, которая началась в 2012 году.

Техническое перевооружение ГПП и РП разработано на основании следующих документов:

- договор,
- техническое задание на разработку,
- рабочая документация.
- Перечень технических регламентов и нормативных документов, соответствии с которыми разработана рабочая документация:
- ПУЭ,
- технический регламент о требованиях пожарной безопасности. Федеральный закон от 22.07.2008г. №123 ФЗ,
- СНиП 12-03-2001, СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве»,
- ПТЭ,
- ГОСТ Р 21.1101-2009 СПДС «Основные требования к проектной и рабочей документации»,
- СТО 56947007-29.240.10.028-2009. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ.
- Федеральный закон РФ от 26.06.2008г. №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений»,
- техническая информация заводов-изготовителей оборудования,

- типовая проектная документация, действующая на момент выпуска рабочей документации,
- федеральные законодательные документы [20].

На сегодняшний день на комбинате переоборудованы десять главных понизительных подстанций (ГПП) и 12 распределительных подстанций (РП). Показания с новых, модернизированных подстанций, стекаются на единый пульт к энергодиспетчеру и мастеру смены. Благодаря видео-камерам сотрудники могут следить за переключениями и быстро реагировать на нештатные ситуации.

В 2013 году на ОАО «Карельский окатыш» запустили новую тяговую подстанцию ТРП-10. Она обеспечивает бесперебойным питанием железную дорогу комбината, по которой руда доставляется на дробление. ЗРУ-10 кВ полностью заменили на новое. Старая схема ТРП-10 до реконструкции и новая схема ТРП-10 после реконструкции значительно отличаются [7].

По проекту реконструкции предусмотрена установка оборудования фирмы Siemens. Производители такого нового и современного оборудования гарантируют надежную работу подстанций. Тем самым решается проблема частых поломок и выхода электрооборудования из строя. Новая тяговая подстанция полностью автоматизирована и соответствует всем требованиям безопасности. Современные терминалы помогут избежать ложных отключений и дают возможность вовремя обесточить линию при обрыве линий передач [20].

В 2014 году завершился важный проект – это перерасчет величины ограничения мощности электроэнергии, потребляемой комбинатом и городом в периоды проведения ремонтных работ на вводных линиях.

Для подачи электроэнергии на комбинат и город используются две высоковольтные линии электропередач. Периодически каждая из них нуждается в обслуживании и профилактическом ремонте. И, как правило, если одну из линий отключают, то нагрузку на другую снижают до безопасных показателей, обеспечивающих устойчивую работу всей энергосистемы не

только Костомукши, но и Карелии, Кольского полуострова и Ленинградской области.

В нормальном режиме комбинат должен уложиться в 240 мегаватт электроэнергии в час, а в период ремонтных работ уровень нагрузки снижается до 180 мегаватт. Такое ограничение неминуемо приводило к нехватке электроэнергии для работы всех производственных секций дробильно-обогащительной фабрики, две из них приходилось останавливать. Это вело к снижению объемов производства [5].

Специалисты «Карельского окатыша» совместно с Санкт-Петербургским институтом постоянного тока в течение трех месяцев делали расчеты, подтверждающие, что современное оборудование и уровень применяющихся сейчас технологий позволяет безопасно для всех остальных потребителей увеличить лимит потребления комбинатом электроэнергии в период проведения плановых ремонтных работ. Лимиты 1970-х годов были пересмотрены.

Впервые в 2015 году на фабрике круглогодично работали все 12 секций, поскольку границу потребления для комбината повысили до 193 мегаватт. И впервые за 30 лет костомукшские энергетики предоставили региональной сетевой компании возможность проводить ремонтные работы не по пять, а по 20 дней дважды в год.

Однако, в связи с увеличением производства, нагрузка и потребление электроэнергии на комбинате с годами увеличиваются, что можно наглядно проследить в таблице 2.

Модернизация Главной понизительной подстанции (ГПП-52), куда поступает вся электроэнергия, которую используют и комбинат, и город, является неотъемлемой частью реконструкции на АО «Карельский окатыш».

Схема электроснабжения АО «Карельский окатыш» и г. Костомукши по двум ВЛ 220 кВ Кривопорожская ГЭС – Костомукша на сегодняшний день не надежна. При отключении одной из ВЛ 220 кВ происходит нарушение устойчивости электропередачи мощности на ПС 220 кВ Костомукша,

требуется ограничение перетока мощности по оставшейся ВЛ до 193 МВт.

Таблица 2 – Потребление электроэнергии и мощности на АО «КО»

Наименование организации	Электропотребление и максимум нагрузки	Период (год)				
		2017	2018	2019	2020	2021
АО «Карельский окатыш»	Млн. кВт.ч	1593,7	1593,7	1593,7	1748,13	1748,13
	МВт	179,67	179,67	179,67	197,08	197,08

Схема электроснабжения АО «Карельский окатыш» и г. Костомукши по двум ВЛ 220 кВ Кривопорожская ГЭС – Костомукша на сегодняшний день не надежна. При отключении одной из ВЛ 220 кВ происходит нарушение устойчивости электропередачи мощности на ПС 220 кВ Костомукша, требуется ограничение перетока мощности по оставшейся ВЛ до 193 МВт.

Исчерпали пропускную способность автотрансформаторы 220 кВ мощностью 200 МВА, установленные на ПС 220 кВ Костомукша. По результатам расчетов электроэнергетического режима в схеме ремонта автотрансформатора АТ-1 (АТ-2) загрузка автотрансформатора АТ-2 (АТ-1) достигает 119,2%, что допустимо в течение 120 минут. Включение батареи статических конденсаторов (КБ-1 или КБ-2) позволяет уменьшить токовую загрузку оставшегося в работе автотрансформатора до 103,5%. Однако, КБ-1 и КБ-2 на ГПП-52 выходят из строя. В 2022 году запланирована замена КБ на новые. Для масляных трансформаторов допускается продолжительная нагрузка любой обмотки током, превышающим на 5% номинальный ток ответвления, если напряжение не превышает номинальное напряжение соответствующего ответвления.

Сейчас специалисты меняют на ГПП-52 маслонаполненные выключатели на элегазовые типа ЛТВ145D1/В, представленный на рисунке 6. Маслонаполненные выключатели 1970-х годов морально устарели, их нужно



регулировать вручную, а с учетом размеров оборудования это риск, связанный с выполнением работ на высоте.

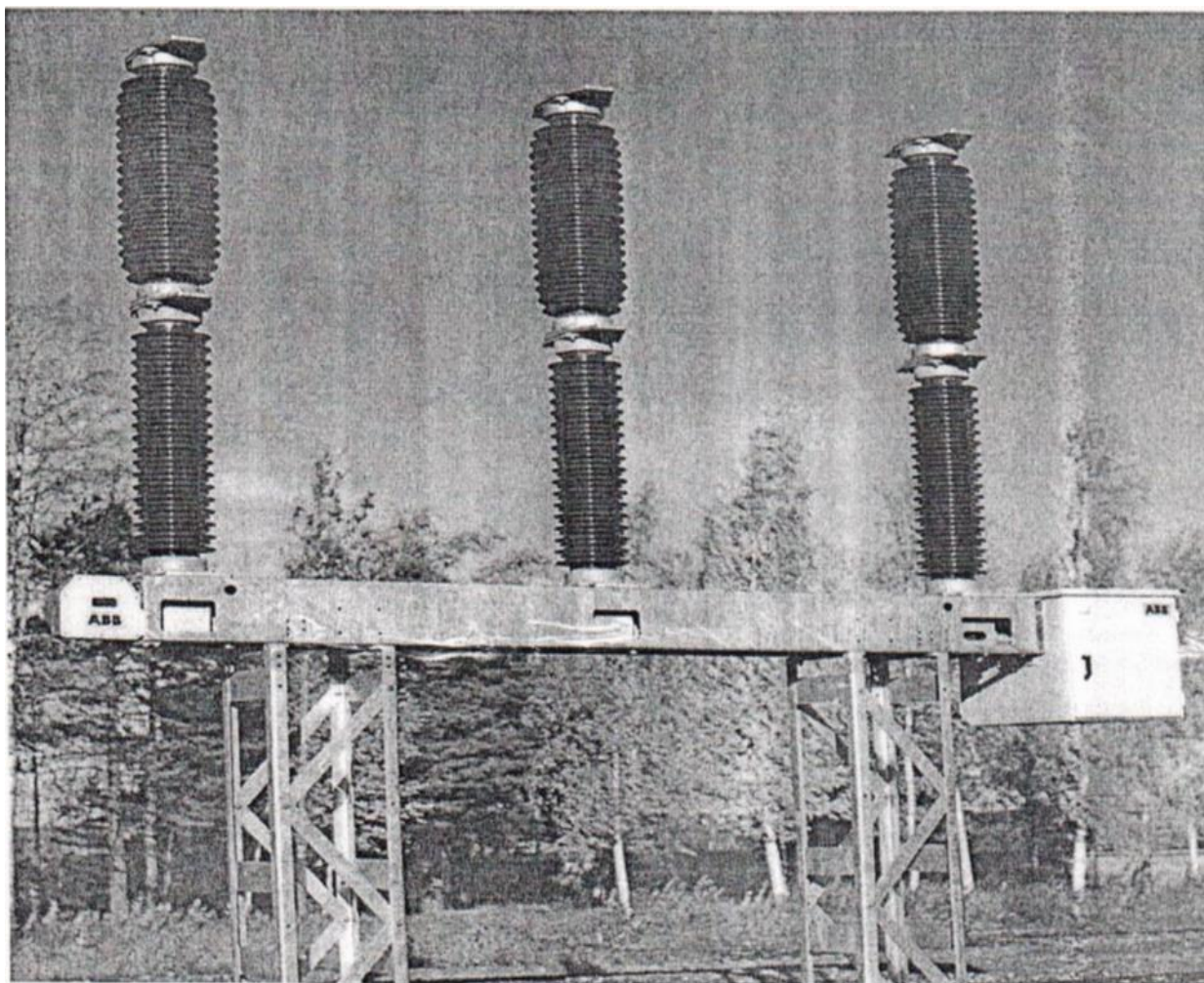


Рисунок 6 - Выключатель элегазовый LTB145D1/V

Конструкция элегазового выключателя LTB145D1/V ABB Switchgear и базируется на знаниях и опыте, приобретенных при создании выключателей серий HPL и EDF. Энергия, необходимая для отключения токов короткого замыкания, частично берется от самой дуги за счет повышения давления при нагреве газа, поэтому энергия привода составляет менее 50% ее значения для компрессионных элегазовых выключателей обычного типа. Низкое энергопотребление приводит к снижению механических напряжений, что, в свою очередь, обеспечивает высокую надежность [15].

На сегодняшний день, в рамках реконструкции, на ГПП-52 заменили 10 из 12 масляных выключателей.

В 2019 году была автоматизирована ГПП-1 (городская подстанция). Благодаря модернизации аварийные отключения города сведены к минимуму.

Сейчас специалисты автоматизируют электрооборудование фабричного передела. Дробильно-обогащительная фабрика (ДОФ) и цех производства окатышей (ЦПО) на АО «Карельский окатыш» находятся в 3 км от источника электрического питания на индивидуальной промышленной площадке. Основное назначение цехов – предварительное дробление руды, обогащение, окомкование и обжиг.

При замене старого оборудования на новое, с дистанционным управлением, устранение неисправности и восстановление нормальной работы цехов, будут производиться в кратчайшие сроки. В Приложении Б и Приложении В приведены перечни механизмов РП ДОФ и РП ЦПО с указанием даты замены МВ на ВВ.

Шкафы с релейной защитой частично уже заменены на микропроцессорные терминалы (МП). Терминалы полностью отслеживают нормальные и аварийные режимы работы в электроустановках. В случае короткого замыкания, найти причину и устранить повреждение стало намного быстрее. Наиболее подробно тема модернизации шкафов с релейной защитой разбирается в разделе 3.3 данной ВКР.

Сейчас из работы выводят высоковольтное оборудование, приводящее к потерям в энергосистеме. Так, после вывода из работы токоограничивающих реакторов на распределительных подстанциях РП-54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 66 на АО «Карельский окатыш», снизились потери электроэнергии в сетях 6, 10 кВ. Проект замены токоограничивающих реакторов разработала специализированная подрядная организация РВ-РТ [12].

В 2014 году в энергоуправлении комбината на главных понизительных подстанциях № 5,6 (ГПП-5,6) установили восемь систем компенсации реактивной мощности (СКРМ), по четыре на каждой ГПП. Они снижают

потери электроэнергии и стабилизируют электроснабжение оборудования участков управления производства концентрата и окатышей (УПКиО) во время гроз и аварийных ситуаций [6].

Осенью 2020 года на ГПП-5 были завершены работы по замене ОДТ и КЗТ на ВТ. Сейчас выполняются работы по замене ОДТ и КЗТ на ВТ на ГПП6. Окончание работ по установке ВТ планируется к декабрю 2021 года [11].

В 2017 году на комбинате заработала система учета потребления электроэнергии (АИИС КУЭ). С ее помощью удалось выявить значительные потери, которые вызывали токоограничивающие реакторы. Это оборудование необходимо, чтобы исключить значительные повреждения масляных выключателей при коротких замыканиях. Чтобы снизить потери электроэнергии при производстве концентрата и окатышей, специалисты комбината решили убрать устаревшие токо-ограничивающие реакторы и установить более современные вакуумные выключатели. Это позволило полностью вывести токоограничивающие реакторы из работы [13].

Такие изменения позволят комбинату экономить до 7 миллионов киловатт-часов электроэнергии в год.

### **3.2 Автоматизированная система диспетчерского контроля и управления электроснабжением (АСДКУЭ) ОАО «Карельский окатыш»**

В себестоимости продукции промышленных предприятий около 25% занимает энергообеспечение. Поэтому, снижение затрат на закупку электроэнергии – важный фактор рентабельной работы предприятия.

Для российских предприятий проблема усугубляется такими факторами, как большие потери энергоресурсов и низкая оснащенность приборами учета. При этом растут современные вызовы: появляются новые тарифные схемы, новые формы реализации электроэнергии, управление спросом на электроэнергию и т.п. Противопоставить данной ситуации можно только

хорошо продуманную систему управления всем электропотреблением в комплексе [10].

Для экономии энергоресурсов на предприятии устанавливаются информационно-измерительные системы (АСКУЭ, АСТУЭ, АСУТП). На стадии реализации нужно отстроить всю цепочку, от формирования бюджета до сдачи в промышленную эксплуатацию. Грамотно построенная система включает в себя возможности дальнейшего развития и модернизации. (10)

Целью технического перевооружения объектов электроснабжения ОАО «Карельский окатыш» является замена ручных приводов разъединителей и заземляющих ножей на моторные, а также внедрение автоматизированной системы диспетчерского контроля и учета энергопотребления (АСДКУЭ) рудника. ООО «РВ-РТ» занимается проектированием, разработкой и внедрением «под ключ» систем автоматизации [20].

Полное наименование внедряемой автоматизированной системы - Автоматизированная система диспетчерского контроля и управления электроснабжением ОАО «Карельский окатыш». Краткое наименование системы - «АСДКУЭ».

Целями внедрения системы АСДКУЭ являются:

- организация централизованного диспетчерского пункта,
- контроль основных технологических и электрических параметров работы объектов,
- текущее состояние коммутационных аппаратов,
- токи и напряжения на шинах 6; 10; 110; 220 кВ,
- учет электроэнергии по вводам,
- фиксация телесигнализации по ПС,
- дистанционное управление работой коммутационными аппаратами 6; 10 кВ из диспетчерского пункта,
- организация технического учета потребляемой электроэнергии,
- снижение затрат и потребления электроэнергии за счет повышения оперативности управления нагрузками,

- получение оперативной информации для эффективной организации процесса распределения и потребления электрической энергии в основном и вспомогательном производстве,
- снижение потерь от простоев, связанных с авариями электрооборудования,
- предоставление данных по стандартным протоколам в существующие АРМ-ы (АРМ Энергетика и АРМ Диспетчера ЦСП).

В состав АСДКУЭ входят следующие подсистемы:

- автоматизированная система управления технологическими процессами подстанции (АСУТП ПС),
- автоматизированная система диспетчерского управления электроснабжением (АСДУЭ),
- система видеонаблюдения,
- автоматизированная система технического учета электроэнергии (АСТУЭ).

Серверное и коммуникационное оборудование АСДКУЭ обеспечивает возможность круглосуточного режима эксплуатации, без присутствия персонала.

Для функционирования оборудования не требуется специального обслуживания. В рамках периодического обслуживания проводится осмотр и удаление пыли.

На рисунке 7 отмечены основные элементы пользовательского интерфейса АРМ диспетчера:

- поле отображения экранных форм (мнемосхем),
- панель навигации экранных форм,
- панель управления,
- окно алармов,
- информационное окно.





Рисунок 7 – Пользовательский интерфейс АРМ диспетчера

Рабочие станции АРМ-мов (автоматизированное рабочее место - рабочее место пользователя информационной системы с набором необходимых аппаратных и программных средств) размещаются в помещении диспетчерской (в здании энергодиспетчера Рудоуправления и в здании мастера смены Энергоуправления) с нормальными условиями эксплуатации [20].

Для размещения серверного оборудования системы используется серверный шкаф, который размещается в специализированном серверном помещении - операторной АБК ДОФ.

С заменой устаревшего электрооборудования на современное, которым можно управлять дистанционно, время ликвидации аварийных ситуаций на комбинате заметно сократилось.

Все манипуляции диспетчер выполняет, не вставая с рабочего места, а

дежурным электрикам не нужно постоянно находиться на подстанциях и вручную переключать оборудование. На рисунке 8 представлена схема отходящей ячейки РП-55 на пульте управления мастера смены энергоуправления АО «Карельский окатыш».

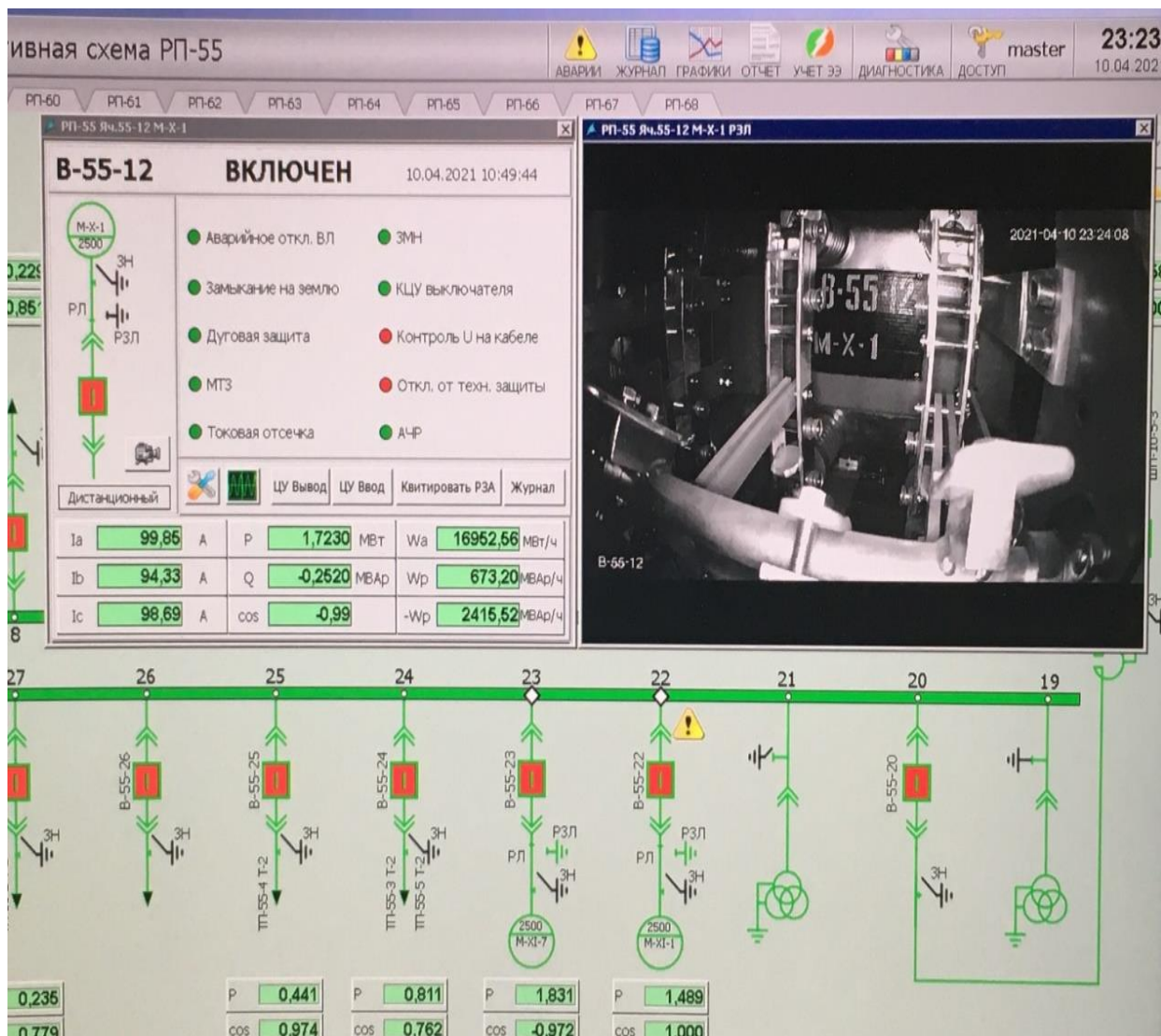


Рисунок 8 – Схема РП-55 В-55-12 М-Х-1 на ПУ в ДО

Мастер смены, глядя на экран, может оценить обстановку всей системы электроснабжения предприятия, регулировать напряжение на ГПП, выполнять переключения по разборке/сборке схемы выключателей отходящих фидеров. В аварийных ситуациях появилась возможность в самое короткое время определить причину отключения и запитать отходящие линии от резервных

источников.

При реализации плана ликвидации нарушения нормального режима, мастером смены осуществляется контроль за действиями оперативного персонала с помощью видеокамер, установленных в электроустановках, как в ЗРУ, так и на ОРУ [24].

Неправильные действия при переключениях в электроустановках могут привести к возникновению смертельной для человека электрической дуги. Чем меньше люди участвуют в таких переключениях, тем безопаснее.

Кроме того, раньше, чтобы ликвидировать аварийное отключение оборудования, требовалось три–четыре часа, а после автоматизации необходимо всего 20 минут. Нормальная схема питания подстанций восстанавливается в кратчайшие сроки.

### **3.2.1 Автоматизированная система управления технологическими процессами подстанций (АСУТП ПС)**

Подсистема АСУТП ПС обеспечивает обмен информацией с уровнем АСДУЭ (SCADA), а также выполняет функции защиты, управления и контроля.

Функции управления:

- локальное или удалённое управление выключателем,
- команды управления выключателями и разъединителями,
- возможность удаленного управления через систему SCADA.

Функции контроля АСУТП ПС:

- рабочие значения  $U$ ,  $I$ ,  $f$ ,
- измерение энергии  $P$ ,  $Q$ ,
- контроль цепей отключения;
- контроль состояния плавкого предохранителя,
- запись осциллограмм коротких замыканий [9].

Функции защиты АСУТП ПС представлены в таблице 3.



Таблица 3 – Функции защиты АСУТП ПС [16]

Оборудование	Защиты	МП устройство
Ввод 6кВ	МТЗ с пуском по напряжению	SIPROTEC
	ЗМН	SIPROTEC
	II ступень однофазного замыкания на землю	SIPROTEC
	Контроль тока	SIPROTEC
	Контроль напряжения	SIPROTEC
СВ 6кВ	МТЗ	SIPROTEC
	Контроль тока	SIPROTEC
	Контроль напряжения	БМПЗ
	АВР	БМПЗ
МВ 6 кВ	МТЗ с пуском по напряжению	SIPROTEC
	Токовая отсечка	SIPROTEC
	I ступень однофазного замыкания на землю	SIPROTEC
	Контроль тока	SIPROTEC
	Контроль напряжения	SIPROTEC
СВ 0,4 кВ	АВР	SIPROTEC
	ВНР	БМПЗ
	Контроль тока	БМПЗ
	Контроль напряжения	БМПЗ

Функции контроля АСУТП ПС:

- рабочие значения  $U$ ,  $I$ ,  $f$ ,
- измерение энергии  $P$ ,  $Q$ ,
- контроль цепей отключения;
- контроль состояния плавкого предохранителя,
- запись осциллограмм коротких замыканий [9].

С внедрением АСУТП на АО «Карельский окатыш» уменьшаются ошибки при производстве работ, снижается использование энергетических ресурсов, в связи с чем увеличивается качество готовой продукции предприятия.

### **3.2.2 Автоматизированная система диспетчерского управления электроснабжением (АСДУЭ)**

Специалисты компании «РТСофт» разработали и ввели в эксплуатацию

автоматизированную систему диспетчерского управления электроснабжением (АСДУЭ) предприятия «Карельский окатыш». АСДУЭ предназначена для автоматизации процесса контроля и управления электроснабжением предприятия.

Система выполняет функции сбора, архивирования, мониторинга и передачи в Карельское РДУ данных о текущем электропотреблении предприятия с выделением субабонентов и суммарной мощности нагрузок, подключенных к автоматике частотной разгрузки.

Целями создания и внедрения системы на предприятии «Карельский окатыш» являются:

- организация диспетчерского контроля за соблюдением диспетчерского графика и ходом технологического процесса электроснабжения в целом,
- снижение затрат и потребления электроэнергии за счет повышения оперативности управления нагрузками,
- снижение потерь от простоев, связанных с авариями электрооборудования,
- обеспечение возможности целенаправленного регулирования режимов энергопотребления,
- выравнивание графика нагрузки в целях обеспечения энергосбережения,
- обеспечение ОАО «СО - ЦДУ ЕЭС» технологической информацией для оперативного мониторинга и управления.

Функциональная структура системы имеет иерархическую двухуровневую организацию.

На нижнем уровне системы реализована задача сбора всего объема информации о технологических параметрах и состоянии электрооборудования предприятия от измерительных преобразователей и устройств телемеханики Smart-КП Электра. На основе коммуникационного сервера Smart-СЕРВЕР также происходит первичная обработка данных и проверка достоверности

информации с последующей ретрансляцией данных на верхний технологический уровень.

На верхнем уровне системы на основе оперативно-информационного комплекса Smart-SCADA происходит обработка и визуализация оперативной и ретроспективной информации предприятия. На этом же уровне функционируют рабочие места удаленных пользователей.

В структуре АСДУЭ предусмотрены решения и по ее взаимосвязи со смежными системами: ОИК КРДУ и автоматизированной системой диспетчерского управления и технического учета, которая выступает в качестве потребителя информации, получаемой с АСДУЭ.

АСДУЭ разработана в соответствии с требованиями ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС» к субъектам оптового рынка электроэнергии (ОРЭ). Благодаря внедрению данной системы на предприятии, АО «Карельский окатыш» стал участником ОРЭ. Сейчас подразделение энергоуправления успешно ведет работу на ОРЭМе (оптовом рынке электроэнергии и мощности) – самостоятельно закупает электроэнергию [16].

### **3.2.3 Автоматизированная система технического учета электроэнергии (АСТУЭ)**

На АО «Карельский окатыш» реализован проект создания автоматизированной системы технического учета электроэнергии (АСТУЭ). В рамках проекта разработано специальное программное обеспечение (СПО) по техническому учету электроэнергии. СПО нацелено на повышение энергоэффективности и энергосбережения крупных распределенных промышленных предприятий. На его основе, даже не обладая специфическими навыками программирования, можно реализовать конфигурацию объекта и при этом обеспечить требуемую функциональность.

Функции подсистемы АСТУЭ состоят из двух уровней:

а) нижний уровень, который представлен приборами учета (счетчики электроэнергии):

- 1) измерение активной и реактивной мощности,

- 2) формирование суммарных значений электропотребления активной и реактивной энергии за период с интервалами 5 минут, 30 минут, 1 сутки,
- 3) хранение в памяти прибора измерений и предоставление доступа к измерениям с верхнего уровня,
- 4) формирование данных самодиагностики.

б) верхний уровень:

- 1) сбор измерений с нижнего уровня,
- 2) сбор данных самодиагностики,
- 3) обеспечение функций синхронизации времени,
- 4) настройка расписания сбора данных,
- 5) хранение измерений и конфигурации в базе данных,
- 6) предоставление информации о потреблении пользователям в табличной (отчеты и журналы) и графической (диаграммы) форме.

Сейчас АСТУЭ успешно внедрена и эксплуатируется на АО «Карельский окатыш». Внедрение системы позволило выявить и устранить потери электроэнергии, оптимизировать технологический процесс предприятия. Благодаря чему возрастает спрос продукции комбината на оптовом рынке, так как доля себестоимости продукции комбината напрямую зависит от затрат на электроэнергию [14].

### **3.3 Релейная защита, автоматика и вторичные цепи в рамках реконструкции электроснабжения предприятия АО «Карельский окатыш»**

Одним из основных критериев, определяющих необходимость замены, модернизации и реконструкции устройств РЗА, является техническое перевооружение энергообъекта или его части, при котором выполняется замена защищаемого основного оборудования (трансформатора, выключателей и др.) [2].

При модернизации (реконструкции) электросетевых объектов необходимо применять устройства РЗА, выполненные, как правило, на микропроцессорной элементной базе [18].

«Микропроцессорные устройства РЗА - устройства РЗА, в которых для реализации заданных функций используются интеллектуальные программируемые устройства, выполненные на микропроцессорной элементной базе» [8].

В рамках модернизации электрооборудования на Костомукшском ГОКе, согласно техническому заданию на проектирование, решения по релейной защите и автоматике предусматривают выполнение системы релейной защиты и автоматике ячеек 6 кВ и 10 кВ на современных микропроцессорных устройствах максимальной токовой защиты с выдержкой времени типа SIPROTEC производства компании SIEMENS и микропроцессорных блоках типа БМРЗ производства НТЦ «Механотроника» [20].

Текущие функции, выполняемые МП системой устройства SIPROTEC: запись сообщений, данных и величин повреждений для проведения последующего анализа:

- подготовка измеряемых величин к работе и их фильтрация,
- формирование выходных сигналов команд для коммутационных устройств,
- непрерывный контроль измеряемых величин,
- контроль условий срабатывания отдельных функций защиты,
- опрос предельных значений и последовательностей во времени,
- управление сигналами для логических функций,
- управление операционной системой и соответствующими функциями.

Для устройства SIPROTEC основной функцией является ненаправленная максимальная токовая защита (МТЗ). Предусмотрены три ступени МТЗ с независимой выдержкой времени отключения и одна ступень с обратнозависимой выдержкой времени отключения для фазных токов и

токов нулевой последовательности. В свою очередь, ступени с обратозависимой выдержкой времени имеют ряд характеристик отключения.

Функции защит, выполняемые устройством SIPROTEC:

- защита обратной последовательности,
- УРОВ,
- направленная защита от замыкания на землю,
- контроль чередования фаз.

Функции защит являются индивидуальными для каждого типа присоединения. На рисунке 9 представлено МП устройство SIPROTEC CB 6 кВ.



Рисунок 9 - МП устройство SIPROTEC CB 6 кВ

Пуск защит может быть организован с контролем по напряжению и частоте.

МП устройства SIPROTEC функции вводных ячеек 6, 10 кВ №1 и №2 параметрируются на выполнение следующих функций защит:

- защита минимального напряжения (ЗМН),
- защита от повышения напряжения (ЗПН),
- УРОВ,
- характеристика определения направления при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ),
- максимальная токовая защита (МТЗ),
- максимальная токовая защита (МТЗ) с пуском по напряжению,
- регистрация повреждений,
- гибкие логики.

Пуск защит может быть организован с контролем по напряжению и частоте.

МП устройства SIPROTEC Функции вводных ячеек 6, 10 кВ №1 и №2 параметрируются на выполнение следующих функций защит:

- защита минимального напряжения (ЗМН),
- защита от повышения напряжения (ЗПН),
- УРОВ,
- характеристика определения направления при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ),
- максимальная токовая защита (МТЗ),
- максимальная токовая защита (МТЗ) с пуском по напряжению,
- регистрация повреждений,
- гибкие логики.

МП устройства SIPROTEC ячеек отходящих линий 6, 10 кВ параметрируются на выполнение следующих функций защит:

- токовая отсечка (ТО);

- МТЗ
- чувствительная ОЗЗ;
- характеристика определения направления при ОЗЗ;
- регистрация повреждений;
- УРОВ;
- гибкие логики.

Устройства защиты и автоматики SIPROTEC устанавливаются на дверцах релейных отсеков ячеек 6, 10 кВ, и оснащаются оптическими датчиками дуги. Датчики дуги устанавливаются в высоковольтных отсеках и на сборных шинах ячеек 6, 10 кВ. Для исключения ложных срабатываний защит от дуговых замыканий ячеек 6 кВ реализуется с контролем по току.

По проекту модернизации электрооборудования на АО «Карельский окатыш» устанавливаются регистраторы ДУГА-0 производства НТЦ «Механотроника» [20].

Регистратор дуговых замыканий ДУГА-0 обеспечивает преобразование, передачу, запоминание и отображение сигналов от волоконно-оптических датчиков при возникновении дугового замыкания, а также определение места возникновения дугового замыкания с точностью до отсека.

В ячейках секционных вводных выключателей и ячейках отходящих линий 6 кВ проектом предусмотрена установка приборов технического учета электроэнергии – счетчиков Меркурий 234 ART-03 Р производства Инкотекс г. Москва.

Помимо микропроцессорных устройств релейной защиты проектом предусмотрена установка в ячейках 6, 10 кВ и в ЩСН 0,4 кВ устройств измерения, контроля тока и напряжения, светодиодной индикации положения коммутационных аппаратов и неисправностей, и прочей аппаратуры.

Питание устройств релейной защиты и автоматики, устройств свбтодиодной индикации осуществляется от проектируемых шинок питания, управления и сигнализации. Оперативный ток РП - 6, 10 кВ принят существующий постоянным напряжением 220 кВ [22].



АВР - 0,4 кВ выполняется на базе микропроцессорного блока релейной защиты БМРЗ-107-2-Д-АВР-01. Блок релейной защиты АВР 0,4кВ устанавливается на дверце ШСН (шкаф собственных нужд) 0,4 кВ [20].

Реконструкция релейной защиты, автоматики и токовых цепей на предприятии является неотъемлемой частью работ, выполняемых в рамках проекта по техническому перевооружению оборудования. Внедрение нового оборудования снижает вероятность неправильной работы устройств релейной защиты, сокращаются отказы оборудования. Модернизация РЗА снижает затраты на ремонт оборудования, увеличивает сроки его эксплуатации.

Благодаря внедрению МП устройств у работников службы РЗА появилась возможность подключаться дистанционно к нужной ячейке и выявлять причины отключения и правильность срабатывания защит электрооборудования. Что, в свою очередь, сокращает время на ликвидацию аварийных ситуаций и возобновления нормальной схемы электроснабжения предприятия.

В данном разделе ВКР изучены работы, выполненные в рамках проекта по реконструкции системы электроснабжения АО «Карельский окатыш». Проект реализуется с 2012 года и охватил несколько направлений. Основная часть работ по реконструкции уже выполнена.

### **Вывод по разделу 3**

По результатам исследования можно сделать вывод, что проделанные работы положительно влияют на качество электроснабжения комбината. Потери электроэнергии на комбинате уменьшились, заметно упало количество аварийных ситуаций, процесс оперативных переключений стал более простым и безопасным благодаря дистанционному управлению электрооборудованием. Однако, для полноты надежности энергообеспечения потребителей предприятия, необходимо выполнить еще не малый объем работ по реконструкции системы электроснабжения.

## Заключение

Промышленная сфера нашей страны не стоит на месте. Предприятия успешно развиваются, меняется структура производства, растут объемы. Однако, система электроснабжения заметно устарела, все больше предприятий нуждаются в реконструкции и модернизации электрооборудования. Большие расходы, которые связаны с простоями и ремонтами, высокий износ энергетического оборудования, низкий уровень внедрения энергосберегающих технологий и автоматизации остаются на большинстве предприятий России. Системный подход к повышению энергоэффективности является выходом из подобных опасных ситуаций. Для успешной реализации на предприятии энергоэффективных проектов, необходима грамотно разработанная комплексная программа по реконструкции и модернизации электрооборудования. В результате внедрения ресурсосберегающих технологий и развития энергосетей снижаются энергозатраты в себестоимости продукции. У предприятий появляется возможность увеличить мощность производства и выйти на новый уровень.

Данная тема вызывает особый интерес при изучении электроснабжения предприятия АО «Карельский окатыш» и городских сетей. Стоит отметить, что город Костомукша получает электрическую энергию только от компании «Карельский окатыш». Поэтому, программа модернизации имеет социальное значение.

Проект модернизации системы электроснабжения АО «Карельский окатыш» охватил несколько направлений. В результате выполненных работ по реконструкции главных понизительных и распределительных подстанций карьера была достигнута оптимальная загрузка оборудования и сокращены потери электроэнергии. За счет устройств компенсации реактивной мощности (СКРМ) пропускная способность сетей возросла, а расход электроэнергии заметно уменьшился. Внедрение автоматизированной системы технологического учета позволило получать достоверную информацию и

осуществлять контроль за расходом электроэнергии подразделениями. Автоматизация системы электроснабжения позволила сэкономить ресурсы предприятия за счет оперативного и эффективного управления системой.

Для обеспечения надежного электроснабжения действующих и новых потребителей АО «Карельский окатыш» необходимо выполнить значительный объем работ по реконструкции и техническому перевооружению действующих электрических сетей, а также по сооружению новых ПС и ВЛ.

После реализации проекта аварийные отключения будут сведены к минимальным показателям. Запланированные мероприятия также увеличат надежность всей системы, сократят издержки на техническое обслуживание и в разы увеличат мощность.

## Список используемых источников

1. Акт разграничения эксплуатационной ответственности сторон от 11 мая 2017г. №643/АРЭО-17
2. Богданов, А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Богданов, А. В. Бондарев. - Электрон. текстовые данные. - Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 82 с.
3. Вахнина В. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В. В. Вахнина, А. Н. Черненко ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти: ТГУ, 2015. - 46 с.: ил. - Библиогр.: с. 35. - Прил.: с. 36-46.
4. Воеводин Г., Кожевникова Е. Северсталь. Карельскому окатышу 35 лет/Г. Воеводин, Е. Кожевникова//ООО «Костомукша-Медиа».-2017.- 305 с.
5. Волик Т.В. Выключить потери/Т.Волик//Северсталь.-2019.-№1.-с.2.
6. Волик Т.В. Приручили электричество/Т.В.Волик//Северсталь.-2018.-№32.-с.2
7. Григорьева Е. Надежный ток/Е.Григорьева//Северсталь.-2015.-№43.-с.2
8. Дорохин, Е. Г. Основы эксплуатации релейной защиты и автоматики. Книга 2. Оперативное обслуживание устройств РЗА и вторичных цепей / Е.Г. Дорохин. - М.: Советская Кубань, 2012. - 432 с.
9. Дьякова В. Ренновация подстанции /В.Дьякова//Северсталь.-2017.-№23.-с.2
10. Елагин Е.В. Опыт построения комплексных систем управления электропотреблением для крупных промышленных предприятий/Е.В.Елагин//Электроэнергия: передача и распределение.-2017.-№6.-с.
11. Жанкевич О. В ответе за энергию/О.Жанкевич//Северсталь.-2017.-

№31.-с.2

12. Жежель О. Управление рисками/О.Жежель//Северсталь.-2021.-№1.-с.2

13. Кокин С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: Учебное пособие / Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с

14. Кузнецова И. Энергия производства/И.Кузнецова//Северсталь.-2020.-№11.-с.2

15. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учебное пособие/ Б.Н. Неклепаев – 5-е изд.,- СПб.: БХВ-Петербург, 2014

16. Никулина Е.В. Карельский окатыш внедряет новые технологии в области энергетики [Электронный ресурс]. - ссылка [https://www.ruscable.ru/news/2018/08/23/Karelyskij\\_okatysh\\_vnedryaet\\_novye\\_tehnologii\\_v\\_ob/](https://www.ruscable.ru/news/2018/08/23/Karelyskij_okatysh_vnedryaet_novye_tehnologii_v_ob/)

17. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г. Н. Ополева. - Москва: Форум: ИНФРА-М, 2016. - 416 с.

18. Об утверждении Программы перспективного развития электроэнергетики Республики Карелия на период до 2020// глава Республики Карелии, Распоряжение от 18 апреля 2016 года №118-р

19. О Единых стандартах качества обслуживания сетевыми организациями потребителей услуг сетевых организаций, Приказ Минэнерго России от 15 апреля 2014 года №186 (Зарегистрировано в Минюсте России 18.06.2014 N 32761).

20. ОАО «Карельский окатыш» г.Костомукша. Реконструкция РП-56 / Рабочая документация / РВРТ-02/3-2018-РЗ от 2018 года

21. Постановление Государственного Комитета Республики Карелия по ценам и тарифам, 26.03.2010 г., № 14

22. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.  
- М.: ИНФРА-М, 2018. –с. 262

23. СТО 34.01-4.1-011-2020 Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и автоматики энергосистем: стандарт организации.- ПАО «Россети». - Введ. 2020.03.10.- с.12

24. Тимофеева М. Экономим киловатты и рубли//М.Тимофеева//Северсталь.-2014.-№47.-с.2

25. Федеральный закон от 26.03.2003 N 35-ФЗ (ред. от 29.07.2020) «Об электроэнергетике» / «Собрание законодательства РФ», 31.03.2003 г, № 13

Приложение А

**Перечень трансформаторов ГПП  
АО «Карельский окатыш»**

Таблица А.1 - Перечень трансформаторов ГПП АО «Карельский окатыш»

Наименование ГПП	Вид ТН	Тип трансформатора
ГПП-52	АТ-1 АТ-2	АТДЦТН-200000/220/110/35
ГПП-1	Т-1 Т-2	ТДН-25000/110-76У1
ГПП-2	Т-1 Т-2	ТДН-16000/110-76У1
ГПП-3	Т-1 Т-2	ТДН-10000/110-74У1
ГПП-4	Т-1 Т-2	ТМН-6300/110-71У1
ГПП-5	Т-1 Т-2	ТДТН-80000/110-У1
ГПП-6	Т-1 Т-2	ТДТН-80000/110-У1
ГПП-7	Т-1 Т-2	ТДН-16000/110-74У1
ГПП-8	Т-1 Т-2	ТДН-6300/110-73У1
ГПП-9	Т-1 Т-2	ТМН-6300/110-80У1
ТРП-10	Т-1 Т-2	ТНДЦН $\frac{25000}{16000}$ /110 – У1
ГПП-12	Т-1 Т-2	ТДН – 10000/110-У1
ГПП-13	Т-1 Т-2	ТДН – 16000/110-76У1
ГПП-14	Т-1 Т-2	ТДН – 10000/110-У1

## Приложение Б

### Перечень механизмов РП ДОФ с указанием даты замены МВ на ВВ

Таблица Б.1 - Перечень механизмов РП-52

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	РЕЗЕРВ	-	-	В-52-1	
2	Дробилка КМД-3000	КСМД-4	600	В-52-3	03.11.15
3	Дробилка КМД-3000	КСМД-3	500	В-52-4	28.11.14
4	Дробилка КМД-3000	КСМД-6	500	В-52-5	.0.2020
5	Дробилка КМД 1500/180	ККД-01	400	В-52-6	30.09.19
6	Установка аспирац. АТУ	АТУ-5	400	В-52-7	18.02.19
7	Конвейер ленточный	К-7	560	В-52-8	31.10.19
8	Установка аспирац. АТУ	АТУ-1	400	В-52-9	05.12.14
9	РЕЗЕРВ	-	-	В-52-10	
10	Конвейер ленточный	К-1	800	В-52-11	06.02.18
11	Конвейер ленточный	К-11	560	В-52-12	11.02.19
12	Дробилка КСД-3000	КСМД-2	500	В-52-13	26.02.15
13	Дробилка КСД-3000	КСМД-1	500	В-52-14	04.02.15
14	Дробилка КМД-3000	КСМД-5	500	В-52-15	02.03.15
15	Конвейер ленточный	К-5	560	В-52-18	14.05.15
16	Конвейер ленточный	К-6	400	В-52-22	30.09.19
17	Дробилка	КСМД-9	500	В-52-24	31.12.19
18	Дробилка	КСМД-10	500	В-52-25	22.02.19
19	Дробилка КМД-175	КСМД-12	500	В-52-26	31.01.20
20	Конвейер ленточный	К-2	800	В-52-27	30.03.18
21	РЕЗЕРВ	-	-	В-52-28	
22	Дробилка ККД 1500/180	ККД-02	400	В-52-29	15.08.19
23	Установка аспирац. АТУ	АТУ-2	400	В-52-30	21.02.19
24	Установка аспирац. АТУ	АТУ-6	500	В-52-33	28.02.19
25	Конвейер ленточный	К-8	560	В-52-34	15.08.19
26	Конвейер ленточный	К-12	560	В-52-35	20.03.15
27	Дробилка	КСМД-7	500	В-52-36	20.11.14
28	Дробилка 176 М	КСМД-8	500	В-52-37	06.04.16
29	Дробилка 176	КСМД-11	600	В-52-38	19.05.15



Продолжение Приложения Б

Таблица Б.2 - Перечень механизмов РП-53

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р,к Вт	Номер ячейки	Дата замены
1	Мельница шаровая	М-I-1	2500	В-53-3	30.09.19
2	Мельница шаровая	М-I-7	2500	В-53-4	31.01.20
3	Мельница шаровая	М-II-1	2500	В-53-14	01.04.19
4	Мельница шаровая	М-II-7	2500	В-53-15	01.04.19
5	Мельница шаровая	М-III-1	2500	В-53-26	25.04.19
6	Мельница шаровая	М-III-7	2500	В-53-27	25.08.19
7	Мельница шаровая	М-IV-1	2500	В-53-37	25.08.19
8	Мельница шаровая	М-IV-7	2500	В-53-38	30.09.19

Таблица Б.3 - Перечень механизмов РП-54

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р,к Вт	Номер ячейки	Дата замены
1	Мельница шаровая	V-1	2500	В-54-6	05.11.19
2	Мельница шаровая	V-2	2500	В-54-7	07.02.20
3	Мельница шаровая	VI-1	2500	В-54-12	03.03.20
4	Мельница шаровая	VI-7	2500	В-54-13	12.02.20
5	Мельница шаровая	VII-1	2500	В-54-22	17.04.20
6	Мельница шаровая	VII-7	2500	В-54-23	11.03.20
7	Мельница шаровая	VIII-1	2500	В-54-28	15.04.20
8	Мельница шаровая	VIII-7	2500	В-54-29	16.12.19

Таблица Б.4 - Перечень механизмов РП-55

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Мельница шаровая	IX-1	2500	В-55-6	14.05.20
2	Мельница шаровая	IX-7	2500	В-55-7	11.04.20
3	Мельница шаровая	X-1	2500	В-55-12	30.01.20
4	Мельница шаровая	X-7	2500	В-55-13	14.05.20
5	Мельница шаровая	XI-1	2500	В-55-22	18.05.20
6	Мельница шаровая	XI-7	2500	В-55-23	06.03.20
7	Мельница шаровая	XII-1	2500	В-55-28	04.04.20
8	Мельница шаровая	XII-7	2500	В-55-29	28.04.20

Продолжение Приложения Б

Таблица Б.5 - Перечень механизмов РП-57

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р,кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Мельница стержневая	VI-8	1000	В-57-5	18.05.17
2	Насос	VI-2	355	В-57-6	24.06.17
3	Насос 14/12	VI-3	400	В-57-7	20.06.17
4	Резерв			В-57-8	20.05.17
5	Насос 14/12	VI-5	400	В-57-9	01.04.17
6	Насос	VI-6	400	В-57-10	30.06.17
7	Насос 12 ГрК-8	II-271	500	В-57-11	25.04.17
8	Насос 12 ГРАК1400/40	II-272	160	В-57-12	29.04.17
9	Землесос Warman	5	3150	В-57-13	28.05.17
10	Землесос Warman	7	3150	В-57-14	06.08.17
11	Насос Д1250/150	18	630	В-57-15	09.04.17
12	Насос 8ГрК14/12	IV-2a	250	В-57-16	28.04.17
13	Насос	V-2	400	В-57-17	05.04.17
14	Насос	V-3	355	В-57-18	23.06.17
15	Резерв			В-57-19	20.05.17
16	Насос 14/12	V-5	400	В-57-20	05.04.17
17	Насос	V-6	400	В-57-21	23.05.17
18	Мельница стержневая	V-8	1000	В-57-23	15.02.17
19	Конвейер ленточный	13	355	В-57-26	21.04.17
20	Конвейер ленточный	14	355	В-57-29	16.06.17
21	Мельница стержневая	VII-8	1000	В-57-32	30.04.18
22	Насос	VII-6	400	В-57-34	30.06.17
23	Насос 14/12	VII-5	400	В-57-35	21.05.17
24	Резерв			В-57-36	23.03.18
25	Насос 14/12	VII-3	400	В-57-37	07.05.17
26	Насос	VII-2	355	В-57-38	07.08.17
27	Насос Д 1250 125	19	630	В-57-40	01.04.17
28	Землесос Warman	8	3150	В-57-41	06.08.17
29	Землесос Warman	6	3150	В-57-42	28.05.17
30	Насос ГРАК 700/40	II-275	250	В-57-43	19.02.18
31	Насос Д 2500	553	500	В-57-44	02.05.17
32	Насос	VIII-6	400	В-57-45	31.07.17
33	Насос 14/12	VIII-5	400	В-57-46	20.06.17
34	Резерв			В-57-47	01.08.17
35	Насос 14/12	VIII-3	400	В-57-48	06.05.17
36	Насос	VIII-2	355	В-57-49	07.08.17
37	Мельница стержневая	VIII-8	1250	В-57-50	04.06.17

Продолжение Приложения Б

Таблица Б.6 - Перечень механизмов РП-58

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Мельница стержневая	X-8	1250	B-58-5	
2	Насос	X-2	355	B-58-6	24.03.18
3	Насос 14/12	X-3	400	B-58-7	04.03.18
4	Резерв			B-58-8	01.02.18
5	Насос 14/12	X-5	400	B-58-9	12.12.17
6	Насос	X-6	400	B-58-10	13.02.18
7	Землесос Warman	10	4500	B-58-12	28.03.09
8	Землесос Warman	9	3150	B-58-13	18.03.18
9	Насос Д1250/150	20	630	B-58-14	16.01.18
	Насос	2 А	250	B-58-15	05.12.17
10	Насос ГРАК 1600/50	III-271	500	B-58-16	08.12.17
11	Насос	IX-2	355	B-58-17	08.03.18
12	Насос 14/12	IX-3	400	B-58-18	10.12.17
13	Резерв			B-58-19	05.12.17
14	Насос 14/12	IX-5	400	B-58-20	05.02.18
15	Насос	IX-6	400	B-58-21	16.03.18
16	Мельница стержневая	IX-8	1250	B-58-22	12.08.20
17	Конвейер ленточный	17	370	B-58-25	03.02.20
18	Конвейер ленточный	18	370	B-58-28	21.03.20
19	Мельница стержневая	XI-8	1250	B-58-31	09.02.18
20	Насос	XI-6	400	B-58-32	30.04.18
21	Насос 14/12	XI-5	400	B-58-33	11.02.18
22	Резерв			B-58-34	19.03.18
23	Насос 14/12	XI-3	500	B-58-35	17.02.18
24	Насос	XI-2	355	B-58-36	31.03.18
25	Насос ГРАК700/400	III-275	250	B-58-37	14.03.18
26	Резерв			B-58-38	24.01.18
27	Землесос Warman	11	3150	B-58-40	05.12.17
28	Землесос Warman	12	3150	B-58-41	06.03.18
29	Насос	XII-6	400	B-58-43	10.03.18
30	Насос 14/12	XII-5	400	B-58-44	
31	Насос 12 ГРТ-8	XII-4		B-58-45	12.03.18
32	Насос 14/12	XII-3	400	B-58-46	24.02.18
33	Насос	XII-2	400	B-58-47	28.02.18
34	Мельница стержневая	XII-8	1000	B-58-48	15.04.20

## Приложение В

### Перечень механизмов РП ЦПО с указанием даты замены МВ на ВВ

Таблица В.1 - Перечень механизмов РП-60

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Дымосос	Д-1	5000	В-60-8	12.09.20
2	Дымосос	Д-2	4000	В-60-9	24.12.20
3	Дымосос	Д-3	4000	В-60-10	02.10.20
4	Дымосос	Д-4	4000	В-60-33	22.12.20

Таблица В.2 - Перечень механизмов РП-61

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Дымосос	Д-1	5000	В-61-8	06.02.21
2	Дымосос	Д-2	4000	В-61-9	18.02.21
3	Дымосос	Д-3	4000	В-61-10	22.02.21
4	Дымосос	Д-4	4000	В-61-33	10.02.21

Таблица В.3 - Перечень механизмов РП-62

№ п/п	Наименование механизма	Маркировка	Р, кВт	Номер ячейки	Дата замены
1	Дымосос	Д-1	5000	В-62-8	23.06.21
2	Дымосос	Д-2	4000	В-62-9	04.07.21
3	Дымосос	Д-3	4000	В-62-10	26.08.21
4	Дымосос	Д-4	4000	В-62-33	29.08.21