

« -)»
(

,

· · · ,
· · ·
2020 .

« -
-5 »

- 13.03.02.2020.093.00.000

Π
Ю.В.
2020 .

-503
· · ·
2020 .

· · ·
_____ · · ·
_____ 2020 .

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ РЕТРОФИТЕ	11
2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	15
2.1 Технология плавки периклаза на существующем оборудовании.....	15
2.2 Анализ узких мест технологического процесса и причин аварийности	20
2.3. Обоснование варианта модернизации электрооборудования рудно-термической печи	25
3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ПРОВЕРКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ	28
3.1 Определение электрических нагрузок для существующего технологического процесса	28
3.2 Проверка существующего оборудования на соответствие нагрузкам	32
4 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ	36
4.1 Расчет токов короткого замыкания в минимальном режиме.....	36
4.2 Расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме.....	42
5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА МОДЕРНИЗИРУЕМОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	47
5.1 Выбор и проверка высоковольтного выключателя.....	47
5.2 Проверка существующей системы шин распределительного устройства.....	51
5.3 Выбор и проверка проектируемого комплекта адаптации для ретрофита.....	54
6 РАСЧЕТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ.....	61
6.1 Определение объема релейной защиты и противоаварийной автоматики.....	61
6.2 Расчет токовых защит.....	62
6.3 Газовая и технологические защиты.....	65
6.4 Противоаварийная автоматика.....	67
7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	69
7.1 Расчет единовременных затрат на разработку проекта.....	69
7.2 Расчет эксплуатационных затрат.....	74
7.3 Определение фонда заработной платы обслуживающего персонала.....	74
7.4 Расчет экономического эффекта от внедрения проекта.....	77

					15.03.05.2020.093.000. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	79
8.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов при плавке периклаза.....	79
8.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных производственных факторов при плавке периклаза.....	80
8.3 Пожарная безопасность.....	84
8.4 Процесс плавки периклаза как источник загрязнения окружающей среды.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	86
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	88
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	89

ВВЕДЕНИЕ

Модернизация существующих мощных электроустановок, используемых в основном технологическом производстве давно стало трендом для отечественной огнеупорной промышленности. В первую очередь это связано с тем, что основным конкурентом для российских производителей огнеупоров являются западные компании (Saint-Gobain Ceramics, RHI AG, Minteq International), имеющие гораздо более низкие издержки при производстве готовой продукции. Общей тенденцией для мирового рынка огнеупоров является рост стойкости готовых изделий, что ведет к повышению доли использования т.н. плавленных огнеупоров – в первую очередь на основе периклаза. Таким образом, вопрос снижения издержек при плавлении периклаза в рудотермических печах является вовсе не праздным для лидера огнеупорной отрасли РФ – ООО «Группа Магнезит». Поэтому выбранная тематика модернизации электрооборудования электродуговой рудо-термической печи РКЗ-5К является сегодня весьма актуальной.

Непосредственно рассматриваемое предприятие – департамент по производству плавленного периклаза находится в структуре ООО «Группа «Магнезит». Основная задача предприятия заключается в плавке исходных материалов в рудотермических печах с последующим дроблением продуктов плавки и рассевом на требуемые фракции. Готовой продукцией являются плавленные порошки широкого ассортимента (по фракциям и виду материала). Также в департаменте имеется линия по приготовлению неформованных масс. Строительство департамента велось в основном силами завода.

Датой рождения предприятия считается 30.12.1977 г., когда государственной приемочной комиссией был подписан акт приемки в эксплуатацию законченных строительством объектов пускового комплекса производства плавленных огнеупоров первой очереди производительностью 5,3 тыс. тонн в год.

В январе 1978 году была выпущена первая продукция департамента – плавленный периклаз.

В дальнейшем в департаменте постоянно увеличивался выпуск продукции, также расширялся ассортимент выпускаемых порошков. В связи с этим обновлялось и оборудование; созданы новые участки по переработке электроплавленных материалов, новые технологические линии дробления и отсева.

С 2003 года департамент подразделяется на 3 отделения это:

- участок электропечей (участок по обжигу огнеупорных материалов в электропечах);
- участок помола;
- участок газоочистки.

В 2004 году – произведен пуск в работу крытого участка разделки блоков.

Комплекс проведенных работ позволил увеличить мощность цеха почти в 3 раза по сравнению с установленной.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

В настоящее время департамент выпускает более 10 видов продукции, основными из них являются:

- плавленный периклаз;
- плавленный периклазохромит;
- плавленная алюмомагниева шпинель;
- плавленный хромконцентрат.

Постоянно обновляется и расширяется ассортимент плавленных порошков. Комбинат в настоящее время в основном обходится электроплавленными порошками собственного производства. Задача на перспективу – полностью освободиться от зависимости от китайских поставщиков электроплавленного периклаза.

Объектом исследования является электродуговая рудо-термическая печь типа РКЗ-5К Департамент по производству плавленного периклаза ООО «Группа» Магнезит» ЦМП-4, как совокупность электроустановок, объединенных единым технологическим процессом плавки периклаза, а предметом – комплекс технических мероприятий по модернизации данной печи.

Целью исследования является разработка проекта комплексной модернизации электрооборудования рудо-термической печи РКЗ-5К. Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи:

- определить токи короткого замыкания;
- произвести выбор электрооборудования (включая для ретрофита);
- произвести расчет и выбор устройств РЗиА;
- произвести модернизация системы электропривода механизма передвижения электродов печи;
- определить экономическую эффективность комплексной модернизации.

Практическая значимость настоящей работы заключается в возможности ее реализации на практике на рассматриваемом объекте исследования.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПРИ РЕТРОФИТЕ

Популярность ретрофита в последние годы в российской энергетической сфере объясняется наступлением окончания срока эксплуатации маломасляных выключателей, выпущенных в 80-х годах прошлого века. Нормативный срок эксплуатации маломасляных выключателей определен 25 годами, фактический составляет около 40 лет, при этом большинство предприятий желает произвести модернизацию существующих распределительных устройств 6-10 кВ «малой кровью» – с минимальными капитальными затратами и минимальным простоем запитываемого электрооборудования. В таких условиях процедура ретрофита становится безальтернативной.

При этом самым важным составным элементом комплекта для ретрофита ячеек КРУ-6 кВ является вакуумный высоковольтный выключатель, чей выбор мы подробно обоснуем ниже.

Выбор выключателя произведем в два этапа: на первом этапе сформируем предварительные требования и очертим круг потенциальных производителей; а на втором – осуществим окончательный выбор предварительно отобранных производителей.

К предварительным требованиям отнесем следующее:

– тип высоковольтного выключателя, используемого в комплекте ретрофита. Принимаем вакуумный выключатель, т.к маломасляные выключатели не проходят по пожаро и взрывоопасности, а элегазовые выключатели являются более дорогостоящими;

– выключатель должен монтироваться на выкатном элементе ячейки КРУ- 6 кВ серии К-XXVI производства завода «Электроцит» (г. Москва) – т.е. он должен иметь габариты по высоте не более 820 мм;

– выключатель должен соответствовать требованиям ГОСТ Р 52565-2006 «Выключатели переменного тока на напряжения от 3 до 750 кВ»;

– номинальный ток выключателя должен быть не менее 1600 А (с учетом режимов работы электропечи и перспектив последующей модернизации);

– род оперативного тока управления выключателем принимается постоянный 220 В. (для того, чтобы не нести затраты на переделку существующей системы оперативного тока);

– производитель выключателя должен иметь представительство (со складом) в УрФО, желательно в Челябинской области. Это требование сформировано из условия оперативной замены вакуумных камер, привода либо блока управления при внезапной поломке выключателя. Данное требование позволяет минимизировать простой печи из-за неисправностей ячейки КРУ;

– желательно отсутствие необходимости проведения планово-предупредительных ремонтов на протяжении срока эксплуатации;

– наличие российских сертификатов на выключатель, а также референций от промышленных предприятий Челябинской области (обязательное требование) и АО МРСК-Урала (желательное требование);

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– рассматриваемая модель выключателя конкретного производителя должна иметь срок выпуска не менее 2 лет при отсутствии рекламаций для избежание появления «детских болезней» в начальный период эксплуатации;

– для иностранных производителей желательно либо наличие производства данной модели выключателя на территории РФ, либо срок поставки запасных частей к выключателю не должен превышать 1 календарный месяц;

– производитель выключателя должен иметь адекватную и подтвержденную политику технического сервиса выключателей (в том числе снятых с производства) на территории РФ, включающую в себя наличие складского запаса основных запасных частей на территории РФ, возможность выезда сервисного специалиста к заказчику. Стоимость запасных частей должна быть адекватной;

– желательно наличие у производителя выключателя разработанного комплекта адаптации под ячейку КРУ- 6 кВ серии К-XXVI производства завода «Электроцит» (г. Москва). Данное требование не является обязательным, т.к. данный комплект адаптации может разработать практически любая инженеринговая фирма, специализирующаяся в сфере ретрофита.

Таким образом по результатам предварительного отбора мы отобрали следующих производителей:

– Siemens AG. Мировой законодатель в производстве вакуумных выключателей, которые характеризуется стабильно высоким качеством и надежностью с оптимально подобранной линейкой моделей различного назначения;

– Schneider Electric. Как и Siemens является мировым лидером на рынке вакуумной коммутационной техники среднего напряжения, но в отличие от него имеет собственные производственные площадки в России в Ярославле и Самаре;

– АО «Группа компаний «Таврида Электрик». Является пионером на постсоветском пространстве в области производства вакуумных выключателей (первый выключатель был спроектирован в 1990 г.) и лидером на российском рынке – по информации около 60% всех вакуумных выключателей, установленных в РФ после 2000 г. приходится на данное предприятие. Единственный в России производитель вакуумных выключателей с приводом «электромагнитная защелка»;

– АО «Группа компаний «ЭЛЕКТРОЦИТ – САМАРА» принадлежит с 2003г. Schneider Electric. Выключатели данного производителя обладает не менее широкой известностью в России, чем продукция «Таврида- электрик». В настоящее время на данном заводе одновременно производят вакуумные выключатели с электромагнитным приводом и пружинным приводом.

В таблице 1.1 приводятся характеристики предварительно отобранных на первом этапе моделей вакуумных выключателей.

Как следует из таблицы 1.1, наибольшими преимуществами до девальвации рубля обладал высоковольтный выключатель типа «Sion 3» производства Siemens AG, т.к. он обладает более лучшими техническими характеристиками при примерно одинаковом уровне цен (на 15.01.20). Но изменение экономической ситуации и распространение пандемии привело к смещению приоритетов:

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

Таблица 1.1 – Сравнение вакуумных выключателей для целей ретрофита

Наименование параметра	Тип выключателя				
	ВВ/TEL-10 Таврида Электрик	ВВУ-СЭЩ Э-10 «Электрощит»	Easy Pact EHE, Schneider Electric	BP2-10-31,5/1600 «Высоковольтный Союз»	Sion 3 Siemens AG (Германия)
1	2	3	4	5	6
1. Номинальный ток, А	2000	2000	2000	1600	1600
2. Номинальный ток отключения, I _{о.ном} , кА	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
3. Возможность управления при потере оперативного тока	С использованием внешних устройств	С использованием внешних устройств	да	С использованием внешних устройств	да
4. Номинальное напряжение, кВ	6	6	6	10	10
5. Ток электродинамической стойкости, i _{уд} , кА	80	80	80	80	80
6. Ток термической стойкости, I _{терм} , кА	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
7. Коммутационный ресурс, циклов «ВО» при I _{ном}	30 000	25 000	10 000	30 000	30 000
8. Коммутационный ресурс, циклов «ВО» при I _{о.ном}	50	50	50	50	30
9. Наличие блока управления, тип	да	нет	нет	есть	нет
10. Срок службы, лет	30**	30**	30	30**	30
11. Гарантийный срок, лет	7	5	5	5	5
12. Масса, кг	50	174	62	96	62
13. Верхнее/нижнее значение температуры воздуха при эксплуатации	+55 °С/ - 40 °С	+55 °С/ - 45 °С	+40 °С/ - 25 °С	+50 °С/ - 25 °С	+40 °С/ - 25 °С
14. Ручное отключение	от кнопки	от кнопки	от кнопки	от кнопки	от кнопки
15. Наличие сервисного центра	г. Челябинск	г. Екатеринбург	г. Екатеринбург	г. Екатеринбург	г. Екатеринбург
16. Типовые отказы	блоки управления	привод	привод	блоки управления	привод
17. Цена, тыс. руб.*	420	439	485	490	440

*Примечание: указанные цены на выключатели приведены по состоянию на 15.01.2020.

– на первое место выходит надежность поставок. Вовсе не факт, что выключатель чисто немецкого производства будет поставлен в оговариваемый срок. У выключателя Easy Pact EHE производства Schneider Electric вакуумные камеры и часть деталей привода производятся в КНР;

– фактор цены также может стать решающим, т.к. при любом экономическом кризисе инвесторы в первую очередь стремятся сократить капитальные затраты, а не стоимость владения.

Поэтому, далее в настоящем проекте мы принимаем высоковольтный выключатель типа ВВ/TEL-10 производства «Таврида Электрик». Кроме цены, дополнительными причинами по выбору данной модели служат:

– АО «Группа компаний «ЭЛЕКТРОЦИТ - САМАРА» находится в непрестом финансовом положении, начиная с 2015 г.– т.е. пятый год подряд. Это обстоятельство является серьезным риском не поставки выключателя [15, с.57];

– пружинные привода, в отличии от «магнитной защелки» ВВ/TEL-10 «Таврида Электрик» требуют проведения среднего ремонта через 5-7 лет эксплуатации. Данный ремонт может быть осуществлен только квалифицированным электротехническим персоналом;

– «Таврида Электрик» дает самую большую гарантию.

Выводы по разделу один

Таким образом, произведя тщательное сравнение выключателей, используемых для ретрофита, мы выбрали хорошо апробированный выключатель типа ВВ/TEL-10 производства «Таврида Электрик».

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

2 ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

2.1 Технология плавки периклаза на существующем оборудовании

В технологии производства огнеупоров особое место занимают плавленные материалы. Основным огнеупорным материалом, используемый при этом – это периклаз. Согласно общепринятой классификации [4, с.163], промышленные установки, используемые для плавки периклаза делят на четыре группы: электродуговые печи, печи сопротивления, индукционные печи и электронно-лучевые установки. В настоящее время, как в России, так и в мире наибольшее распространение для плавки периклаза получили электродуговые печи [5, с.113].

В Группе «Магнезит» для плавки периклаза используют десять рудно-термических печей типа РКЗ-5К, основные параметры которых приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Основные параметры рудно- термической печи типа РКЗ-5К

Параметр печи	Значение параметра
1	2
1. Классификация по принципу работы	трехфазная дуговая электропечь прямого действия
2. Тип ванны печи	круглая
3. Исполнение печи	закрытое
4. Номинальная мощность электропечного трансформатора, кВА	5000
5. Наименование получаемого сплава	Корунд, периклаз, алюмомагниева шпинель
6. Количество электродов	3
7. Максимальный ток в электроде, кА	23
8. Скорость сведения-разведения электродов, мм/сек	0,3-3
9. Емкость печи, т	5
10. Скорость перемещения электродов, м/мин	4
11. Расход электроэнергии на плавку, кВт*ч/т	610

Общий вид электропечи РКЗ-5К представлен на рисунке 2.1.

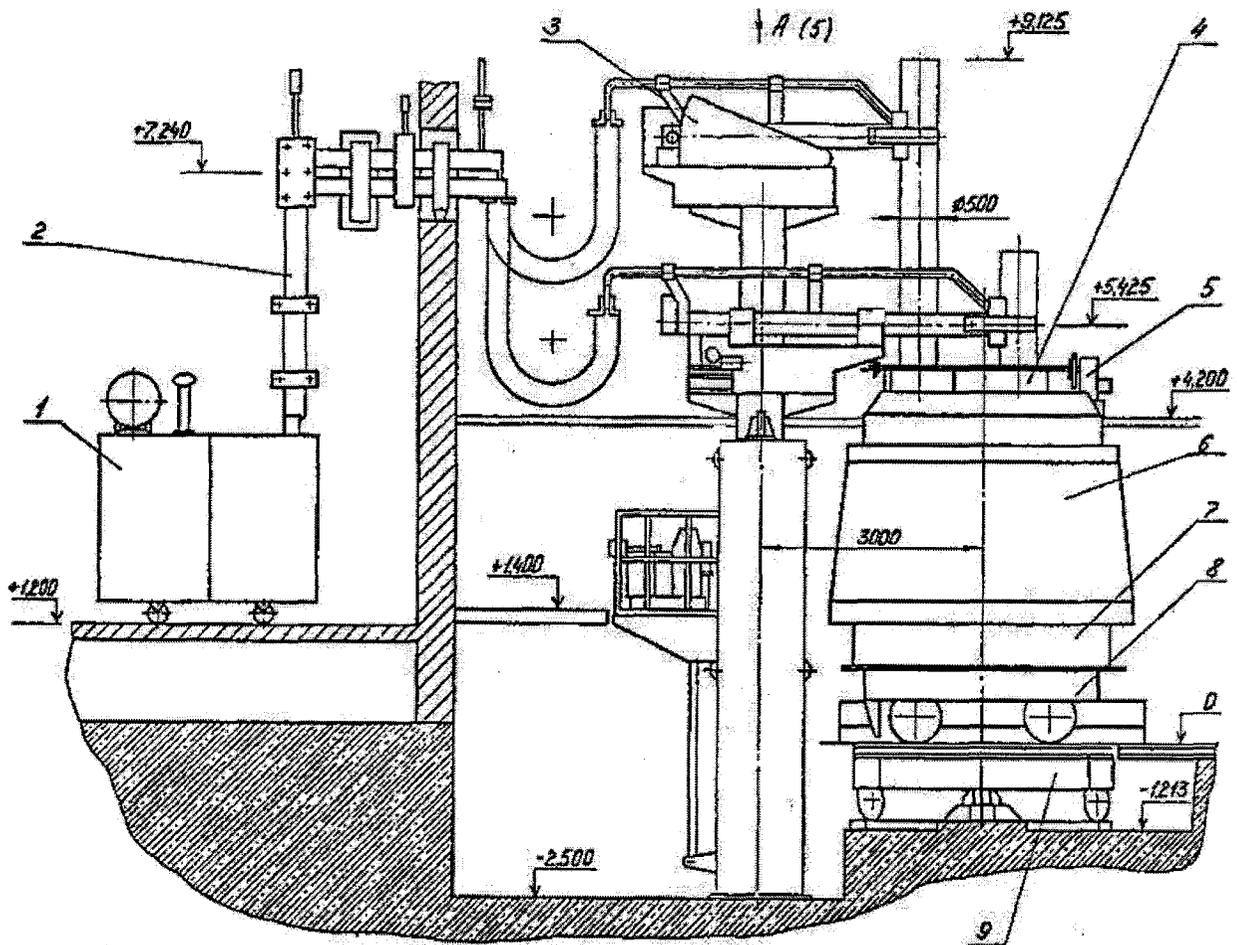


Рисунок 2.1– Общий вид электропечи РКЗ-5К

1 – электропечной трансформатор; 2 – короткая сеть (шины 0,4 кВ); 3 – механизм передвижения электродов; 4 – уплотнение; 5 – механизм выкатывания тележки; 6 – ванна; 7 – нижний кожух ванны; 8 – тележка ванны; 9 – механизм вращения ванны.

Печь получает электроснабжение от трехфазного электропечного трансформатора типа ЭТЦХ-5000/10, установленного в отдельной трансформаторной камере с маслоприемником. Трансформатор имеет масляное охлаждение и предназначен для передачи электрической мощности от сети на электроды печи для создания электрической дуги, за счет которой и осуществляется плавка периклаза.

Подключение электропечного трансформатора к РУ-6 кВ осуществляется при помощи кабелей, уложенным на кабельные полки.

Короткая сеть служит для подвода электрического тока от электропечного трансформатора к контактам держателя электродов печи. Она включает в себя пакеты медных шин, гибких медных токопроводов, компенсаторы и крепления.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Токопроводы выполнены из медного гибкого провода с наконечниками, которые с одной стороны крепятся к шинам, а с другой стороны – к электрододержателям. Компенсаторы линейного расширения служат для защиты пакетов шин короткой сети от температурных расширений.

Ванна печи представляет собой сварную конструкцию в форме усеченного конуса из металла. На части печей заводская ванна заменена на оригинальную ванну собственной разработки Группы «Магнезит». В верхней части ванны находится коллектор охлаждения (путем орошения ванны водой) во время плавки. Выход газа из ванны печи предотвращается с помощью песочного затвора в ее верхней части. В нижнем кожухе ванны существует приемная емкость для отвода воды при орошении во время плавки. Сам кожух представляет из себя сварную обечайку из жаропрочной стали с фланцем для фиксации ванны. Нижний кожух устанавливается на тележку ванны. Фиксация нижнего кожуха с ванной осуществляется с помощью стержней, имеющих на тележке. Тележка служит для транспортировки ванны с уже проплавленным блоком периклаза после окончания плавки. Привод перемещения тележки ванны включает в себя электродвигатель крановой металлургической серии, механический редуктор и электромеханический тормоз.

Механизм вращения ванны служит для ее вращения ванны – это позволяет увеличить процент товарного электрода за счет снижения толщины корки блока. Механизм выкатывания тележки служит для выкатывания ванны с блоком после окончания плавки. Механизм состоит из четырех колес, которые опираются на площадку печи.

Механизм перемещения электродов состоит из трех стоек с расположенными на них электрододержателям и привода. Механизм перемещения предусматривает возможность регулировки вертикального и положений электрододержателя что позволяет менять расстояние между электродами и величину перемещения электрода. Сам электрододержатель состоит из охлаждаемого водой рукава, внутри которого смонтирован подвижной стакан, где установлены пружины, подвижные и неподвижные кольца крепления электрода, а также резьбовое устройство для регулировки величины зажима электрода. Уплотнение в верхней части ванны печи представляет собой водоохлаждаемый кессон с тремя эллиптическими отверстиями под электроды уплотнение передвигается вместе с механизмом перемещения электродов по мере их выработки.

Система охлаждения (условно не показанная на рисунке) предназначена для охлаждения механизма перемещения электродов, наружных стенок и подины ванны, а также футерованного свода печи. Вода для их охлаждения подводится от верхнего коллекторов. Подвод воды к перемещающимся элементам осуществляется с помощью гибких резиноканевых рукавов, подина и стенки печи – орошаются за счет распылителей, а свод печи охлаждается за счет труб охлаждения, находящихся снаружи его футеровки.

Температуры охлаждающей воды контролируется системой управления «АСУ Плавка» (с параллельным выводом информации оператору) и может регулироваться за счет изменения расхода воды.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Для охлаждения воды используется собственная насосная оборотного цикла с градирней.

Регулирование вводимой в электропечь мощности осуществляется автоматически регулятором мощности АСУ «Плавка» при изменении глубины пропосадки электродов в ванне печи. Регулятор осуществляет управление электродвигателями перемещения электродов как в ручном (за счет управляющих воздействий оператора), так и в автоматическом режиме отдельно по каждой фазе.

Технологическая схема плавки периклаза электропечи РКЗ-5К представлена на рисунке 2.2.

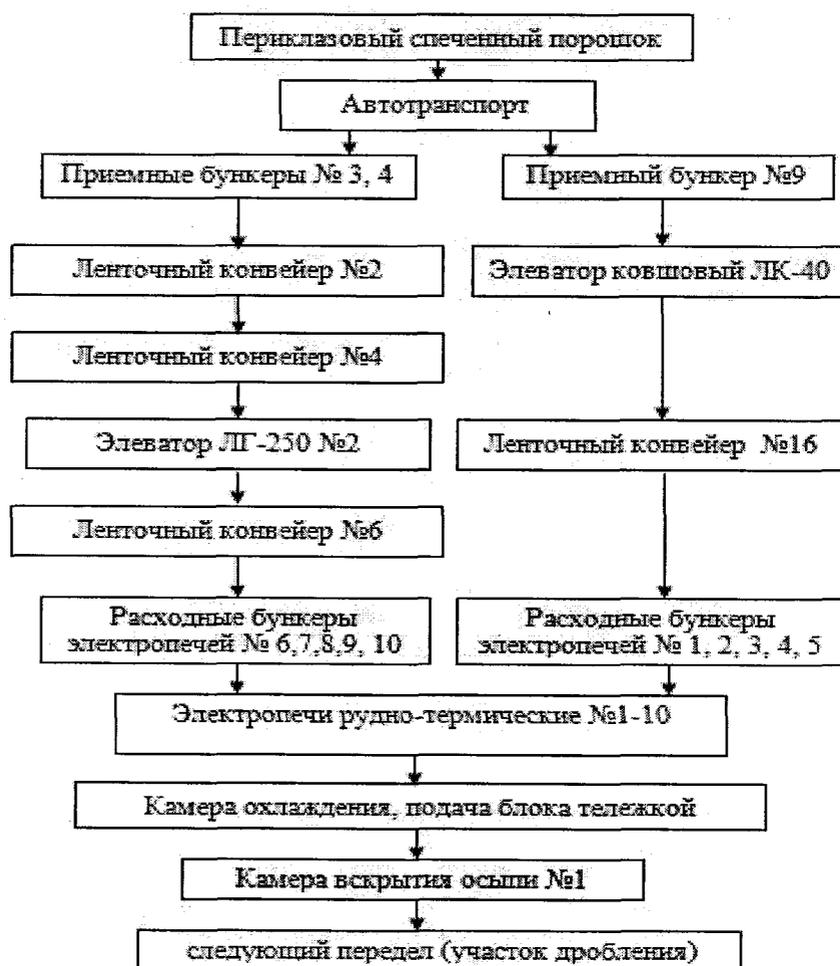


Рисунок 2.2 – Технологическая схема плавки периклаза в электропечи РКЗ-5К

Как следует из рисунка 2.2, условно всю технологическую цепочку плавки периклаза можно разделить на следующие основные операции:

- загрузка сырья в приемный бункер;
- перемещение сырья из приемного бункера конвейером/элеватором к загрузочному бункеру;
- загрузка сырья в рудно-термическую печь;
- непосредственно процесс плавки;

- выкатывание ванны с проплавленным блоком;
- остывание блока;
- снятие ванны с блока;
- разбиение проплавленного блока на габаритные куски.

Рассмотрим более подробно эти операции ниже:

Сырье для плавки периклаза (спеченный порошок фракций от 3,00 до 5,00 мм) доставляют с силосов цеха по обжигу магнезиального порошка ЦМП №2 (в случае использования собственной сырьевой базы) либо с таможенного склада, если используется импортное сырье, произведенное на дочернем предприятии Группы «Магнезит» в КНР.

После чего, в зависимости от подгруппы печей, сырье засыпают в один из двух приемных бункеров. Всего в рассматриваемом подразделении существуют две подгруппы печей (подгруппа №1 – печи №1-5 и подгруппа №2 – печи №6-10). Единственное различие между этими группами заключается в высотных отметках размещения электропечей – вторая подгруппа размещена выше первой на 2,5 метра.

Из приемных бункеров (размещенных на открытом воздухе у помещения цеха) сырье попадает в расходные бункера с помощью ленточных конвейеров, а также ковшевых элеваторов.

Далее порошок из приемных бункеров через дозирующее устройство поступает в печь – засыпается в ванну. Перед засыпкой сырья электроды опускаются на подину ванны на слой кокса (для розжига электрической дуги). Сам кокс засыпают на дробленную корку, оставшуюся от предыдущих плавок. После розжига электродуги происходит заполнение ванны сырьем и порошок периклаза начинает плавиться, при этом в процессе плавки по краю ванны образуется корка, являющаяся своеобразной огнеупорной футеровкой. Для равномерности образования данной коркой и снижения ее толщины несколько раз за время плавки производят вращение ванны.

Плавка считается законченной, когда весь периклаз переходит в спеченное состояние, при этом при плавке электроды постепенно поднимаются.

По окончании плавки с помощью механизм выкатывания тележки ванна с проплавленным блоком выкатывается на площадку перед печью и далее с помощью мостового крана перемещается в помещение камеры охлаждения. Далее ванна с блоком остывает от 2 до 3 суток (в зависимости от марки плавленного периклаза), после чего ванна снимается с помощью мостового крана. Сам проплавленный блок роняют толкателем с небольшой высоты – в помещение вскрытия осыпи.

При падении блок рассыпается, негабаритные куски блока разделяются бутобоем, далее происходит ручная сортировка для отделения корки. После чего куски проплавленного периклаза отправляются на следующий передел (дробление), а корка блока – складировается в отвалы.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

2.2 Анализ узких мест технологического процесса и причин аварийности

Любая модернизация электрооборудования рудно-термической печи имеет смысл только в случае получения явного экономического эффекта при оптимальном сроке окупаемости.

Поэтому для выявления направлений модернизации электрооборудования был произведен анализ узких мест технологического процесса и причин аварийности в электрохозяйстве. Дело в том, что департамент по производству плавленного периклаза (далее – ЦМП-4) является лишь частью технологической цепочки ООО «Группа» Магнезит». После плавки периклаза в ЦМП-4 его дробят и сортируют, а далее используют в качестве основного сырья для производства формованных огнеупоров (в виде изделий) или неформованных огнеупоров (в виде смесей). При этом в связи с огромным дефицитом плавленного периклаза его постоянно не хватает и любая пауза при его производстве автоматически приводит к простоям всех последующих переделов Группы «Магнезит». В связи с этим огромное значение как для рассматриваемого подразделения (ЦМП-4), так и для Группы «Магнезит» в целом имеет большое значение сокращение непредусмотренных простоев вследствие аварий в энергохозяйстве ЦМП-4.

В качестве инструмента при анализе узких мест был использован широко применяемый метод экспертных оценок. В качестве экспертов мы использовали следующих специалистов рассматриваемого предприятия:

- энергетик департамента по производству плавленного периклаза;
- заместитель главного энергетика ПАО «Комбинат «Магнезит» по электротехническим вопросам;
- технолог департамента по производству плавленного периклаза;
- ведущий инженер департамента инжиниринга ООО «Группа Магнезит»;
- ведущий инженер АСУТП ЦЛАМ ПАО «Комбинат «Магнезит».

При анализе были использованы следующий набор критериев:

- электроснабжение и автоматизация технологического процесса плавки периклаза в рудотермической печи рассматривалось только комплексно. При этом рудотермическая печь рассматривалась не как отдельная электроустановка, а как система электроснабжения печи в виде: отходящий фидер РУ-6 кВ подстанции глубокого ввода «Брусит» – РУ-6 кВ подстанции №88 – электропечной трансформатор – короткая сеть – рудно-термическая печь. Система электроснабжения печи РКЗ-5К представлена на листе графической части №2;

- рассматривались только уже выявленные недостатки существующего электрооборудования, а не потенциальные (могущие проявиться впоследствии);

- любой выявленный недостаток или причина аварийности должна иметь негативное экономическое последствие для рассматриваемого предприятия в виде явного экономического ущерба;

- рассматривался только технологический процесс плавки периклаза, все предшествующие и последующие технологические переделы не изучались;

- для удобства фокусирования на недостатках существующего оборудования весь технологический процесс плавки периклаза был разбит на более мелкие

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

подразделы, а также технические подсистемы обеспечения технологического процесса.

Краткие результаты анализа приведены в таблице 2.1, а комментарии к выявленным недостаткам – ниже таблицы 2.1.

Таблица 2.1– Анализ недостатков существующего электрооборудования и причин аварийности в электрохозяйстве ЦМП-4 при плавке периклаза

наименование составной части технологического процесса	экспертная оценка	комментарии эксперта	выявленный недостаток или причина
1	2	3	4
1. автоматизация плавки	хороший уровень	обеспечивается АСУ «Плавка»	отсутствует
2. надежность электроснабжения процесса плавки	недостаточный уровень	длительные перерывы электроснабжения	устаревшее электрооборудование
3. надежность электроснабжения на пс «Брусит»	хороший уровень	объясняется режимом работы	отсутствует
4. надежность электроснабжения на пс №88	недостаточный уровень	длительные перерывы электроснабжения	устаревшее электрооборудование
5. надежность электроснабжения на уровне 0,4 кВ	хороший уровень	была проведена модернизацией	отсутствует
6. показатели качества внешнего электроснабжения	хороший уровень	высокий уровень аварийности, длительные перерывы электроснабжения	отсутствует
7. показатели качества внутрицехового электроснабжения	необходимо улучшение на уровне 0,4 кВ	присутствуют высшие гармоники	обусловлено технологическим процессом
8. загрузка сырья в приемный бункер	достаточный уровень	обеспечивается АСУ «Плавка»	отсутствует
9. загрузка сырья в печь	достаточный уровень	обеспечивается АСУ «Плавка»	отсутствует
10. сам процесс плавки	достаточный уровень	обеспечивается АСУ «Плавка»	отсутствует
11. разбиение проплавленного блока	необходимо уменьшить трудоемкость	проблема не решена у лидеров рынка	необходима механизация процесса

Как следует из данных таблицы 2.1, все проблемы связанные с плавкой периклаза классифицируются как:

1. Проблема надежности электроснабжения процесса плавки. Будет подробно рассмотрена ниже.

2. Проблемы, обусловленные недостаточным уровнем показателей качества внутрицехового электроснабжения. Как следует из практики применения дуговых рудно-термических печей при их работе неминуемо образуются высшие гармонические составляющие вследствие неравномерного горения дуги по всем трем фазам. В тоже время, согласно существует достаточно эффективный инструмент ликвидации высших гармонических составляющих фильтро-компенсирующие устройства (далее – ФКУ) на напряжении 0,4 кВ. Согласно опросам привлеченных экспертов и анализа данной проблемы использование ФКУ в ЦМП-4 является экономически невыгодным, т.к.:

– согласно замерам уровня гармоник прибором качества электроэнергии (его результаты приведены на рисунке 2.3) только 11 гармоника выходит за предельное допустимое значение (далее – ПДЗ) и 7 гармоника приближается к ПДЗ;

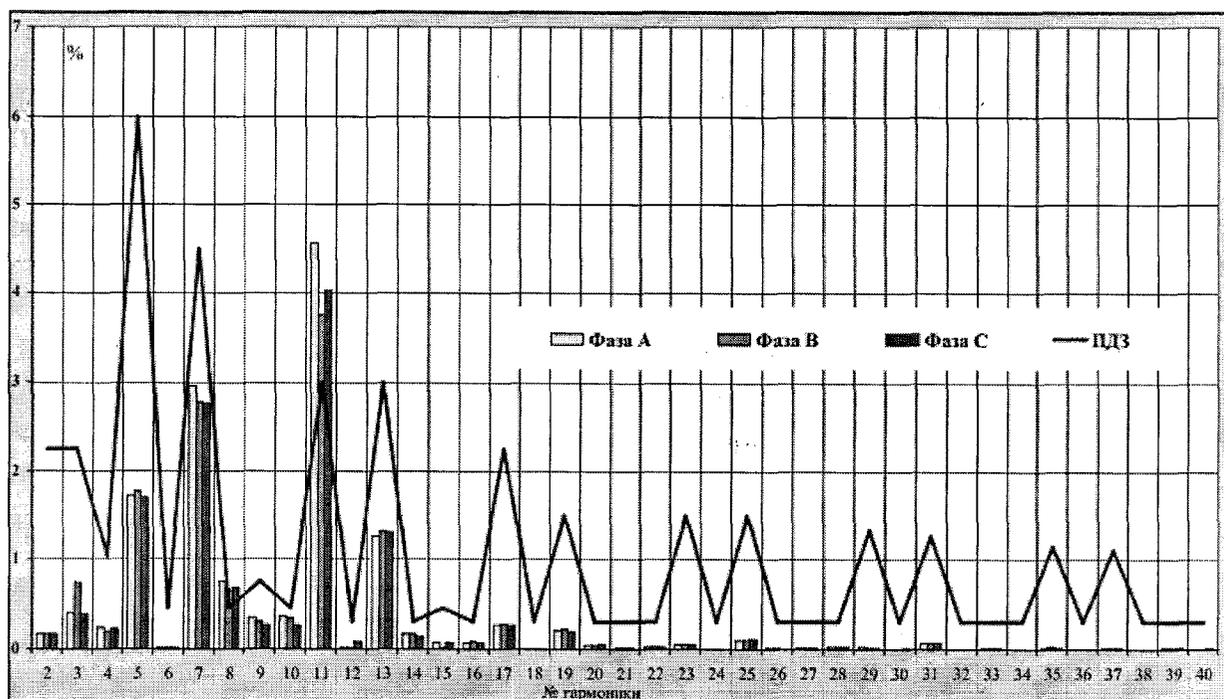


Рисунок 2.3– Уровни гармоник на подстанции №88 РУ-0,4кВ, 2 секция, %

– установка ФКУ является дорогостоящим мероприятием, вследствие их значительной стоимости;

– в рассматриваемом подразделении официально не зафиксировано не одного случая выхода из строя дорогостоящего электрооборудования (силовой электроники и пр.) вследствие воздействия гармоник, т.е. формально экономический эффект возможен только за счет снижения уровня потерь

электроэнергии [3, с.258] и вследствие этого срок окупаемости будет составлять десятки лет;

– высшие гармонические составляющие (выше ПДЗ) были обнаружены только на уровне 0,4 кВ пс №88 и № 101 с которых питается ограниченное количество электроприемников и только ЦМП-4.

Т.е. проведенный анализ показал, что данную проблему качества электрической энергии решать экономически нецелесообразно и далее она в рамках настоящей работы рассматриваться не будет.

3. Проблемы, связанные с разбиением проплавленного блока. Суть проблемы заключается в наличии большого количества ручного труда при разбиение уже проплавленного блока. При этом разбить блок до габаритных кусков, удовлетворяющих параметрам используемых в ЦМП-4 дробилок не является проблемой – это относительно быстро решается с помощью применения бутобоя. Проблемой является отделение корки от чистого периклаза. Корка, образуемая при плавке с внутренней стороной ванны печи является отходом, не используемом далее в технологическом процессе изготовления огнеупоров. В тоже время без ее образования в технологическом процессе пришлось бы использовать дорогостоящую футеровку импортного производства, поэтому на подавляющем числе предприятий мировой огнеупорной промышленности используют либо ручной труд, либо дорогостоящие классификаторы. Использование классификаторов (отделяющих корку от чистого периклаза) в настоящее время признано на предприятии менее рентабельным, чем применение ручного труда (дробильщиков ручного дробления и сортировщиков), поэтому в рамках данной работы данная проблема не будет рассматриваться.

Таким образом, единственной серьезной проблемой, требующей решения остается низкий уровень надежности электроснабжения. Охарактеризуем ее более подробно ниже:

Проблема надежности электроснабжения распространяется только на уровень напряжения 6 кВ и локализована на РУ-6 кВ подстанций №88 и №101, питающих рудно-термические печи №1-10. Статистика по аварийности приведена на рисунке 2.4, а по продолжительности перерывов электроснабжения– на рисунке 2.5.

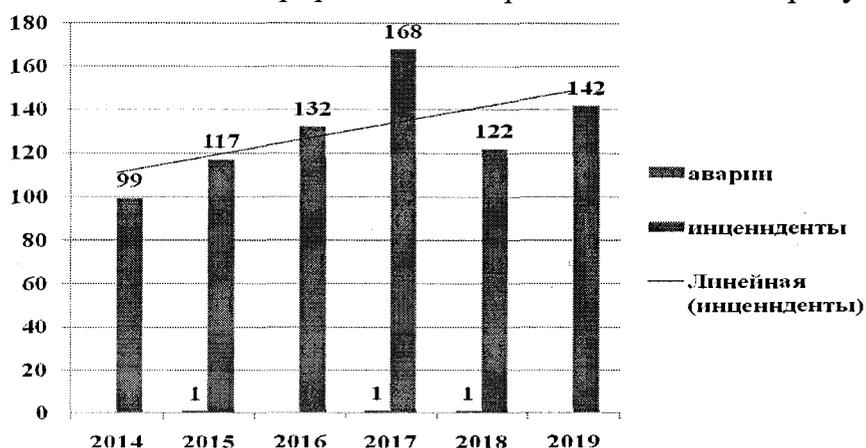


Рисунок 2.4 – Статистика по аварийности на подстанциях №88 и №101

Как следует из рисунка 2.4, количество инцидентов растет год от года при стабильном количестве аварий. Большинство инцидентов и все аварии связаны с работой высоковольтных выключателей (более подробно – см. рисунок 2.6).

Все аварии являлись серьезными:

– в 2015 г. произошел взрыв высоковольтного выключателя на пс №88 РУ-6 кВ. В результате каждая из четырех печей простояла более 48 часов, одна печь – была выведена из работы на 172 часа, также была выведена из строя полностью ячейка КРУ-6 кВ;

– в 2017 г. при срабатывании газовой защиты на электропечном трансформаторе контакты высоковольтного выключателя сварились на двух фазах. В результате произошло неселективного отключения короткого замыкания внутри трансформатора, при этом сам трансформатор вышел из строя и потребовался капитальный ремонт обмоток в г. Тольятти. На время ремонта электропечь полностью простаивала;

– в 2018 г. произошел взрыв высоковольтного выключателя уже на пс №101 РУ-6 кВ. В результате суммарный простой печей составил 468 часов, одна ячейка КРУ-6 кВ полностью выгорела, потребовался ремонт строительной части подстанции и частичная замена изоляции ошиновки 6 кВ РУ.

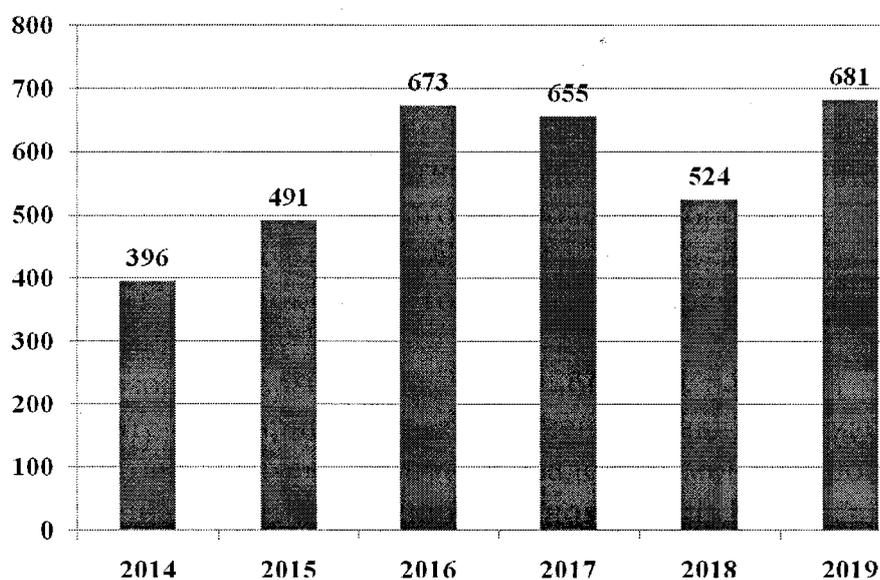


Рисунок 2.5 – Статистика по простоям электропечей вследствие перерывов в их электроснабжении

Как следует из рисунка 2.5, в ЦМП-4 за последние пять лет наметился устойчивый тренд на увеличение простоя электропечей по причине перерывов в электроснабжении, среднегодовой простоя на одну печь при этом составляет 570 часов или 1 050 000 руб./год.

Более подробно расчет от перерывов в электроснабжении будет приведен в экономическом разделе настоящей работы.

						13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			24

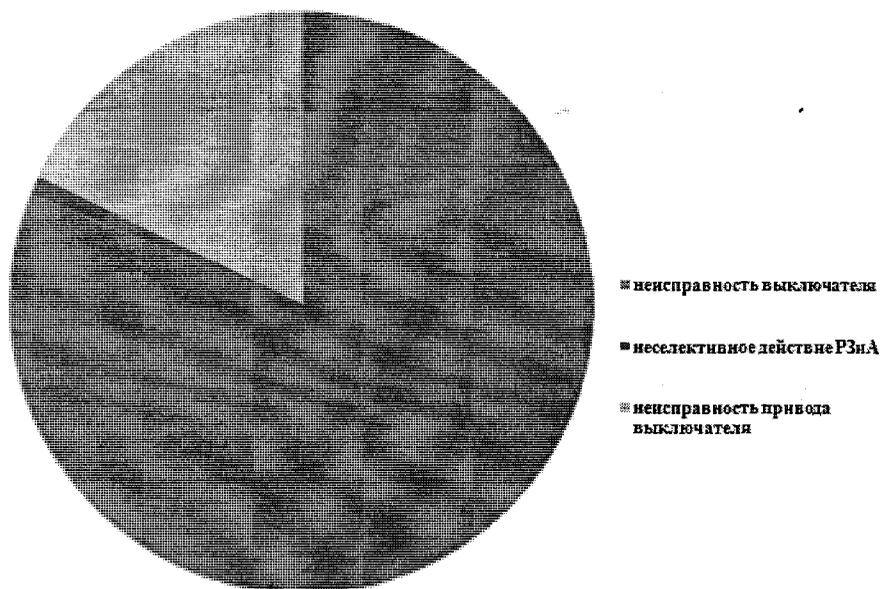


Рисунок 2.6 – Причины аварий и инцидентов

Как следует из рисунка 2.6 подавляющее число аварий и инцидентов приходится на технические неисправности высоковольтного выключателя.

2.3 Обоснование варианта модернизации электрооборудования рудно-термической печи

Как следует из предыдущего подраздела, в рассматриваемом предприятии имеется серьезные проблемы с надежностью электроснабжения, которые характеризуется следующим образом:

- надежность электроснабжения имеет низкий уровень на напряжении 6 кВ на РУ-6 кВ цеховых подстанциях №88 и №101. Проблемы электроснабжения не связаны с вышестоящим уровнем электроснабжения 6 кВ на подстанции глубокого ввода «Брусит»;

- большинство перерывов в электроснабжении (81,1 %) приходится на неисправности маломасляных выключателей типа ВМПЭ-10, установленных в существующих ячейках КРУ- 6 кВ серии К-XXVI производства завода «Электроштит» (г. Москва). Это объясняется довольно просто: данные выключатели изначально не были рассчитаны на частые отключения мощной нагрузки (по факту, близко к номинальному току), т.к. не выполнены в специальном генераторном исполнении. В тоже время режим работы электропечей за последние несколько лет изменился – вырос коэффициент загрузки печей (см. рисунок 2.7), увеличилось плановых количество включений/отключений из-за уменьшения времени плавки при одновременном снижении качества планового технического обслуживания самого оборудования 6 кВ (включая высоковольтные выключатели). Дело в том, что если ранее ЦМП-4 входило в ПАО «Комбинат «Магнезит», который и осуществлял обслуживание, то теперь данные услуги оказываются на условиях аутсорсинга.

Задачи ретрофита – замена физически изношенного и морально устаревшего оборудования высоковольтных ячеек 6кВ. К особые условиям ретрофита относится выполнение работ в действующей электроустановке на высотной отметке выше + 6.000.

Т.к. для выполнения данной работы предприятие будет привлекать стороннюю специализированную организацию, то сформулируем основные требования к исполнителю контракта:

– обязательно наличие всех свидетельств СРО (непросроченных) на выполняемые виды работ, и необходимых для сдачи объекта в органы Ростехнадзора;

– наличие у персонала специализированной организации (далее – Исполнителя) допусков к работам (сертификат о прохождении обучения на осуществление деятельности, соответствующая группа по электробезопасности);

– наличие у Исполнителя сертифицированных и прошедших поверку приборов и оборудования для проведения необходимых испытаний и измерений.

Стадийность выполняемых работ по ретрофиту:

1 Разработка проектно-сметной документации по ретрофиту, в т.ч. разработка принципиальных схем ячеек КРУ-6 кВ с вакуумными выключателями и микропроцессорными защитами, обеспечение технического/коммерческого учета в ячейках 6 кВ;

2 Поставка основного оборудования (вакуумные выключатели типа ВВ/TEL-10 для ячеек КРУ-6 кВ, шкафы РЗиАс микропроцессорными терминалами Сириус, трансформаторы тока ТПЛ-10.

3. Демонтажные/монтажные работы, в т.ч. монтаж схем вторичной коммутации ячеек 6 кВ, организация шинок оперативного питания в пределах РУ-6 кВ (от ввода оперативного питания в РУ-6 кВ). Должен быть предусмотрен монтаж освещения отсека высоковольтного выключателя и отсека РЗиА в каждой ячейке, подлежащей ретрофиту. Освещение должно быть выполнено на основе светодиодного источника света, выключатель светильника должен находиться на фронтальной части ячейки. На фронтальной поверхности реконструируемых ячеек должен быть предусмотрен монтаж ключа управления и ламп сигнализации положения выключателя (вариант размещения должен быть согласован с Заказчиком);

4. Пуско-наладочные работы;

5. Допуск в эксплуатацию.

Выводы по разделу два

Рассмотрев существующую технологию производства плавного периклаза и проанализировав все «узкие» места технологического процесса, а также имеющуюся аварийность в энергохозяйстве был сделан вывод о необходимости замены существующих маломасляных высоковольтных выключателей на более надежные. Проанализировав все варианты модернизации электрооборудования был выбран вариант ретрофита ячеек КРУ- 6 кВ.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

3 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ПРОВЕРКА СУЩЕСТВУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

3.1 Определение электрических нагрузок для существующего технологического процесса

Определение электрических нагрузок в настоящей работе производится со следующими целями:

– проверка существующего электрооборудования и токоведущих частей комплекса электроснабжения электропечи, не входящего первоначально в объем модернизации (ретрофита). В случае если они не удовлетворяют условиям режима электроснабжения, то объем модернизации электрооборудования будет необходимо расширить;

– уточнение режимов электроснабжения как отдельной электропечи, так и пс №88 и №101 для точного определения максимального/ минимального/ аварийного режимов с целью последующего формирования начальных условий для расчета токов короткого замыкания;

– первоначального выбора высоковольтных выключателей, а также токоведущих частей для комплекта адаптации ретрофита.

Т.к. определение электрических нагрузок производится для действующего производства при наличии на предприятии автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (далее – АСКУЭ) и автоматизированной системы технического учета электроэнергии (далее – АСТУЭ), то вместо расчетного метода мы будем использовать данные учета.

На рассматриваемом предприятии используется АСКУЭ производства «Эльстер Метроника» (г. Москва) с электросчетчиками «ЕвроАльфа» АВВ и программным обеспечением «Альфа Центр» – см. рисунок 3.1. В качестве АСТУЭ используются система производства «Прософт-Системы» (г. Екатеринбург) с электросчетчиками типа СЭ-303 производства концерна «Энергомера» и программным обеспечением «Энергосфера» – см. рисунок 3.2. Электросчетчики АСКУЭ и АСТУЭ измеряют как активную, так и реактивную электроэнергию с интервалом усреднения, равным 30 минутам. При этом программное обеспечение позволяет хранить данные получасового учета электроэнергии (и мощности) в течении:

- для ПО «Альфа Центр» – в течении 15 лет;
- для ПО «Энергосфера» – в течении 2 лет.

Электросчетчики АСКУЭ установлены на подстанции глубокого ввода «Брусит» – только на вводах 6 кВ от силовых трансформаторов (фидера № 7,15,21,40), а электросчетчики АСТУЭ – установлены на всех фидерах подстанций №88 и №101 (за исключением вводных ячеек).

Алгоритм определения электрических нагрузок выглядит следующим образом:

1. Данные из АСКУЭ будут использованы для определения нагрузок по отходящим с пс «Брусит» вводам на пс №88 и №101, а данные из АСТУЭ – для определения нагрузок по отходящим к электропечам фидерам. Также АСКУЭ

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ

будет использована для проверки адекватности выбранных данных из технического учета.

Суть проверки заключается в выполнении следующего правила: «сумма электропотребления для всех электросчетчиков АСТУЭ на отходящих фидерах секции шин 6 кВ пс №88 (№101) должна равняться показаниям соответствующего электросчетчика АСКУЭ, установленного на вводе на данную секцию на пс «Брусит». Допустимую погрешность между этими показаниями мы принимаем согласно [12 стр.7] в 2%.

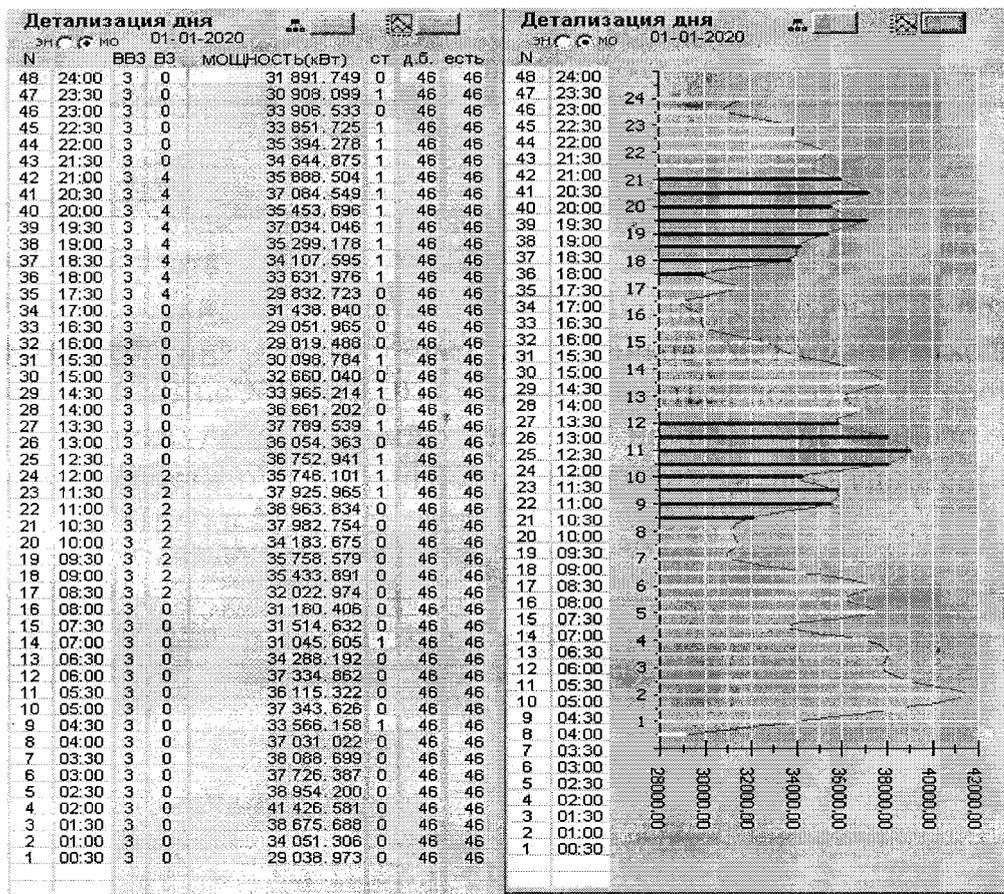


Рисунок 3.1– Данные активной получасовой мощности из коммерческого учета

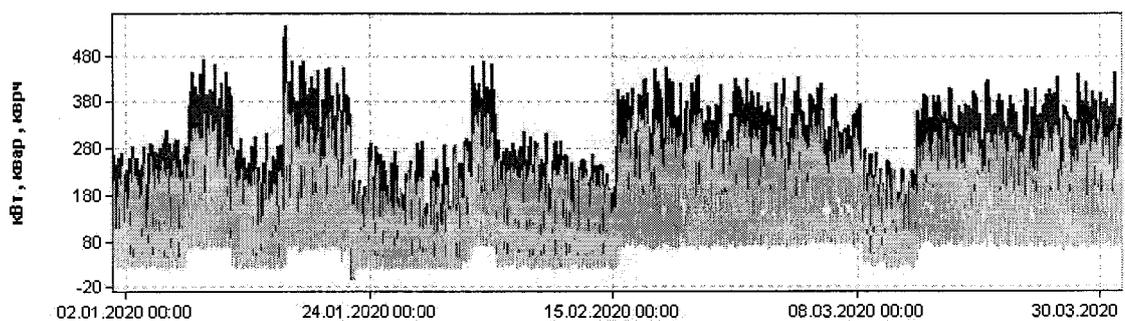


Рисунок 3.2– Профиль потребления активной и реактивной электроэнергии для фидера №7 подстанции

Например, сумма электропотребления фидеров №1,3,4,5,6,7 для 1 секции шин пс №88 (система АСТУЭ) должна равняться электропотреблению фидера №7 пс «Брусит» (система АСКУЭ).

2. Анализируя весь период глубины хранения данных АСТУЭ (т.е. за 2 года) в таблицу 3.1 заносят максимальное значение получасовой активной мощности P_{\max} и соответствующее ей максимальное значение получасовой реактивной мощности Q_{\max} . Далее по отобранным значениям активной и реактивных мощностей рассчитываем полную мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3.1)$$

Расчетный ток определяется как:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (3.2)$$

где $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение, кВ.

Например, для фидера №7 подстанции «Брусит» (ввод №1 на подстанцию №88) полная мощность по формуле (3.1) определится как:

$$S_p = \sqrt{7531^2 + 2767^2} = 8024 \text{ кВА.}$$

Далее определяем расчетный ток для данного присоединения по формуле (3.2):

$$I_p = \frac{8024}{6,3 \cdot \sqrt{3}} = 735 \text{ А.}$$

Аналогичным образом производятся определение нагрузок и тока для прочих присоединений. Данные расчета сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1– Определение существующих электрических нагрузок в ЦМП-4

Подстанция	Наименование присоединения	P_{\max} , кВт	Q_{\max} , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6
Брусит	фидер №7 ввод №1 на ПС №88	7531	2767	8024	735
Брусит	фидер №15 ввод №2 на ПС №88	10073	3107	10541	966
Брусит	фидер №21 ввод №1 на ПС №101	6235	1925	6525	598

Таким образом, в таблице 3.1 приведены все электрические нагрузки, имеющие отношение к системе электроснабжения любой из печей ЦМП-4.

3.2 Проверка существующего оборудования на соответствие нагрузкам

При проверке существующего оборудования на соответствие фактическим электрическим нагрузкам, определенным в предыдущем подразделе проверяют отдельно токоведущие части (шины РУ-6 кВ, кабели 6 кВ) и электрооборудование (выключатели и трансформаторы тока) на пс «Брусит», РУ-6 кВ пс №88 и №101.

Проверка токоведущих части (шины РУ-6 кВ, кабели 6 кВ) осуществляется по нагреву в послеаварийном режиме:

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{п}}, \quad (3.3)$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток из условий нагрева, определяется из [11, с.15-39], либо из справочных данных;

$I_{\text{п}}$ – ток в послеаварийном режиме (в случае питания всей нагрузки по одной цепи линии).

В качестве примера проверим токоведущие части фидера №7 пс «Брусит» (ввод №1 на пс №88), выполненные 6 кабелями типа СБ 3×185, которые уложены на галерее (т.е. способ прокладки – по воздуху) по формулам (3.3):

$$I_{\text{доп}}=1950 \text{ А} > I_{\text{п}}=1701 \text{ А},$$

где $I_{\text{доп}}$ – допустимый ток из условий нагрева, определяется из [11, с.25];

$I_{\text{п}}$ – ток в послеаварийном режиме, для случая питания всей нагрузки пс №88 по одному вводу (735+966=1701 А).

Как следует из расчета, кабельный ввод №1 на пс №88 полностью удовлетворяет условиям проверки. Результаты проверки прочих токоведущих частей определяются аналогично и сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Проверка существующих токоведущих частей в системе электроснабжения рудно-термических печей ЦМП-4

Подстанция	Наименование присоединения	Тип токоведущих частей/ способ прокладки	$I_{\text{п}}, \text{ А}$	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	Источник, по которому определялся $I_{\text{доп}}$
1	2	3	4	5	6
Брусит	фидер №7 ввод №1 на ПС №88	кабель 6×СБ 3×185/ воздух	1701	1950	[11, с.25]
Брусит	фидер №15 ввод №2 на ПС №88	кабель 6×СБ 3×185/ воздух	1701	1950	[11, с.25]

Окончание таблицы 3.2

Подстанция	Наименование присоединения	Тип токоведущих частей/ способ прокладки	I _п , А	I _{доп} , А	Источник, по которому определялся I _{доп}
1	2	3	4	5	6
Брусит	фидер №21 ввод №1 на ПС №101	кабель 5×СБ 3×185/ воздух	1375	1625	[11, с.25]
Брусит	фидер №40 ввод №2 на ПС №101	кабель 5×СБ 3×185/ воздух	1375	1625	[11, с.25]
пс №88	фидер №4 электропечь№8	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	395	650	[11, с.25]
пс №88	фидер №5 электропечь№9	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	399	650	[11, с.25]
пс №88	фидер №18 электропечь№10	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	387	650	[11, с.25]
пс №88	фидер №19 электропечь№6	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	415	650	[11, с.25]
пс №88	фидер №20 электропечь№7	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	363	650	[11, с.25]
пс №101	фидер №4 электропечь№2	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	376	650	[11, с.25]
пс №101	фидер №5 электропечь№3	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	430	650	[11, с.25]
пс №101	фидер №12 электропечь№1	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	379	650	[11, с.25]
пс №101	фидер №14 электропечь№4	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	441	650	[11, с.25]
пс №101	фидер №16 электропечь№5	кабель 2×СБ 3×185/ воздух	422	650	[11, с.25]
пс №88	ошиновка РУ	пакет шин 2×МТ 100×6/ воздух	1950	2460	[11, с.25]
пс №101	ошиновка РУ	пакет шин 2×МТ 100×6/ воздух	1625	2460	[11, с.25]

Как следует из таблицы 3.2, все токоведущие части удовлетворяют условиям нагрева и следовательно не подлежат замене в рассматриваемом проекте. Короткая сеть печи РКЗ-5К по условиям нагрева не проверяется, т.к. она входит в комплект поставки электропечного трансформатора и следовательно, рассчитана на максимальный расчетный ток.

				13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					33	

Кроме токоведущих частей необходимо проверить также высоковольтные выключатели (на пс «Брусит» – типа ВВ ТЕМ-6/2000, а на пс №88 и №10 ВМПЭ-10/1000) и трансформаторы тока, установленные на рассматриваемых присоединениях по формуле:

$$I_{\text{НОМ}} > I_{\text{П}}, \quad (3.3)$$

где $I_{\text{НОМ}}$ – номинальный ток электрического аппарата согласно каталожным данным.

Результаты проверки по номинальному току приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Проверка существующих электрических аппаратов в системе электроснабжения рудно-термических печей ЦМП-4

Подстанция	Наименование присоединения	Выключатель $I_{\text{НОМ}}$, А	Трансформатор тока $I_{\text{НОМ}}$, А	$I_{\text{П}}$, А	Источник, по которому определялся $I_{\text{ДОП}}$
1	2	3	4	5	6
Брусит	фидер №7 ввод №1 на ПС №88	2000	2000	1950	[6, с.19] [7, с. 19]
Брусит	фидер №15 ввод №2 на ПС №88	2000	2000	1950	[6, с.19] [7, с. 19]
Брусит	фидер №21 ввод №1 на ПС №101	2000	2000	1625	[6, с.19] [7, с. 19]
Брусит	фидер №40 ввод №2 на ПС №101	2000	2000	1625	[6, с.19] [7, с. 19]
пс №88	фидер №1 дымосос №10	1000	50	28	[8, стр.378] [7, стр.18]
пс №88	фидер №3 дымосос №12	1000	50	29	[8, стр.378] [7, стр.18]
пс №88	фидер №4 электропечь №8	подлежит ретрофиту	800	395	[7, стр.21]
пс №88	фидер №5 электропечь №9	подлежит ретрофиту	800	399	[7, стр.21]
пс №88	фидер №6 ввод №1 на ПС №90	1000	50	35	[8, стр.378] [7, стр.18]
пс №88	фидер №7 ввод №1 на ПС №89	1000	100	24	[8, стр.378] [7, стр.18]
пс №88	фидер №12 ввод №2 на ПС №89	1000	100	45	[8, стр.378] [7, стр.18]

4 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

4.1 Расчет токов короткого замыкания в минимальном режиме

Перед расчетом токов короткого замыкания следует определить режимы электроснабжения – максимальный и минимальный.

Режим работы подстанции «Брусит» определяет не ПАО «Комбинат «Магнезит», а АО «МРСК Урала» это связано с тем, что данная подстанция является не только подстанцией глубокого ввода для ЦМП-4, но и транзитной подстанций для энергосистемы. Поэтому единственный режим для данной подстанции – это раздельная работа каждой из четырех секций по напряжению 6 кВ.

Таким образом, для расчета токов короткого замыкания актуальными остаются только следующие режимы:

– максимальный режим. При этом электроснабжение каждой секции 6 кВ ПС №88 и ПС №101 осуществляется по кабельным линиям от соответствующих секций ПС «Брусит», межсекционные выключатели на ПС №88 и ПС №101 отключены. Каждая из секций пс№88 и №101 работает раздельно и получает питание только со своего трансформатора;

– минимальный режим. При этом электроснабжение каждой секции 6 кВ ПС №88 и ПС №101 осуществляется по кабельным линиям от соответствующих секций ПС «Брусит», межсекционные выключатели на ПС №88 и ПС №101 включены. Секции шин 6 кВ на ПС №88 и №101 работают совместно. Данный режим актуален при ремонтах оборудования 110 кВ в энергосистеме и реализуется только по запросу энергосистемы, т.е. сравнительно редко.

Перейдем к расчету токов короткого замыкания для минимального режима.

Первоначально для расчета токов короткого замыкания составляется схема электроснабжения для рудотермической печи, в этой схеме указываются источник питания (на шинах которого известны значения токов короткого замыкания), кабельные линии и расчетные точки короткого замыкания.

По данной схеме составляется эквивалентная схема замещения, которая постепенно упрощается.

Т.к. в ЦМП-4 имеется десять электропечей и схемы их электроснабжения однотипны, то ниже приведем расчет токов короткого замыкания только для одной печи №8. Схема электроснабжения данной печи приведена на рисунке 4.1.

Как следует из рисунка 4.1, у нас имеются только две характерные точки короткого замыкания – К1 (на шинах ПС № 88) для проверки электрооборудования на вводе ПС № 88 и К 2 (на стороне 6 кВ электропечного трансформатора электропечи №8) для проверки электрооборудования на отходящем фидере №4 ПС №88.

Определим параметры схемы замещения. Примем базисную мощность $S_B=100$ МВА, базисное напряжение $U_B=6,3$ кВ.

Мощность короткого замыкания на 1 сш ПС «Брусит») берем согласно данным проектного института – 107 МВА (см. Приложение А).

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

~ 6,3 кВ, 50 Гц 1 сш ПС "Брусит" фидер №7

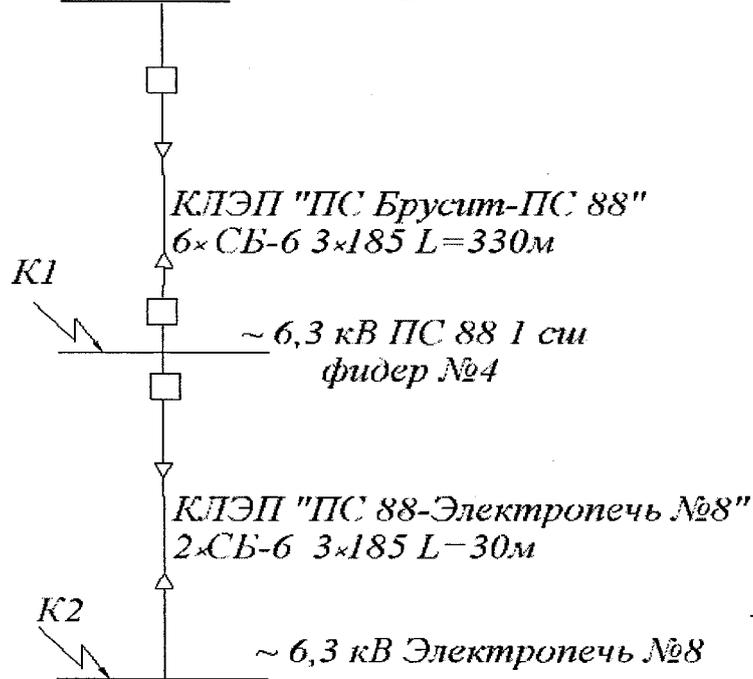


Рисунок 4.1– Схема электроснабжения рудно –термической печи №8 ЦМП-4

Схема замещения (полная) для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме приведена на рисунке 4.2.

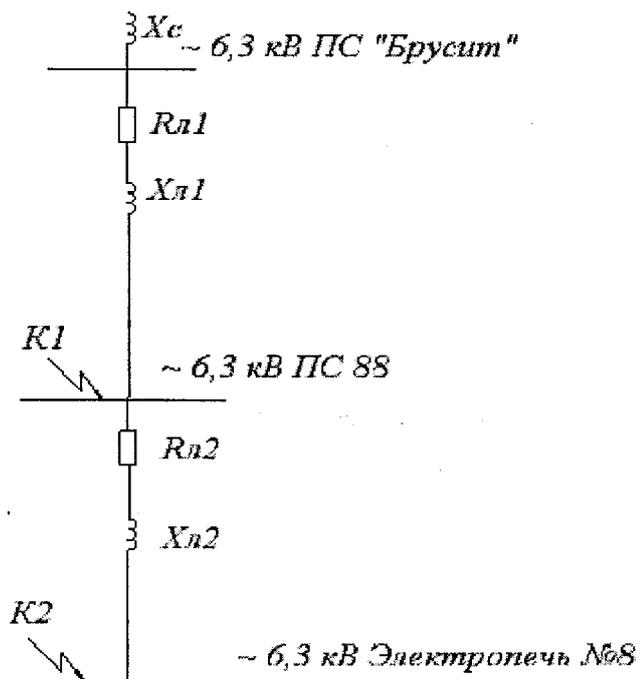


Рисунок 4.2 – Схема замещения (полная) для расчета токов короткого замыкания в минимальном режиме

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

Произведем расчет элементов схемы замещения в относительных единицах:
Сопротивление системы в относительных единицах:

$$X_{*c} = \frac{S_{\text{баз}}}{S_0}, \quad (4.1)$$

$$X_{*c} = \frac{100}{107} = 0,94.$$

Индуктивное сопротивление линии питания, $X_{*л}$, определяется по формуле:

$$X_{*л} = \frac{x_0 \cdot L \cdot S_{\text{баз}}}{U_{\text{баз}}^2}, \quad (4.2)$$

где x_0 – индуктивное сопротивление 1км линии питания, для кабеля линии ПС «Брусит» – ПС №88» $x_0=0,079$ ом/км; для кабеля линии «ПС №88 – электропечь №8» $x_0=0,079$ ом/км;

L – длина линии, км;

$U_{\text{баз}}$ – базисное напряжение, кВ.

Индуктивное сопротивление линии питания от ПС «Брусит» до ПС №88:

$$X_{*л1} = \frac{0,079 \cdot 0,33 \cdot 100}{6,3^2} = 0,07,$$

Индуктивное сопротивление линии питания от ПС №88 до электропечи №8:

$$X_{*л2} = \frac{0,079 \cdot 0,03 \cdot 100}{6,3^2} = 0,01,$$

Активное сопротивление линии питания, $R_{*л}$, определяется по формуле:

$$R_{*л} = \frac{R_0 \cdot L \cdot S_{\text{баз}}}{U_{\text{баз}}^2}, \quad (4.3)$$

где R_0 – активное сопротивление 1км линии питания, для кабеля линии пс «Брусит» – ПС №88» $x_0=0,128$ ом/км; для кабеля линии «ПС №88 – электропечь №8» $x_0=0,128$ ом/км;

L – длина линии, км;

$U_{\text{баз}}$ – базисное напряжение, кВ.

Активное сопротивление линии питания от ПС «Брусит» до ПС №88:

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$R_{*л1} = \frac{0,128 \cdot 0,33 \cdot 100}{6,3^2} = 0,11,$$

Активное сопротивление линии питания от ПС №88 до электропечи №8:

$$R_{*л2} = \frac{0,128 \cdot 0,03 \cdot 100}{6,3^2} = 0,01.$$

Суммарные активное и индуктивное сопротивления для расчетных точек короткого замыкания К1 и К2, определяются по формулам:

$$\Sigma X_{*э1} = X_{*с} + X_{*л1}, \quad (4.4)$$

$$\Sigma X_{*э1} = 0,94 + 0,07 = 1,01.$$

$$\Sigma R_{*э1} = R_{*л1}, \quad (4.5)$$

$$\Sigma R_{*э1} = 0,11.$$

$$\Sigma X_{*э2} = X_{*с} + X_{*л1} + X_{*л2}, \quad (4.6)$$

$$\Sigma X_{*э2} = 0,94 + 0,07 + 0,01 = 1,02.$$

$$\Sigma R_{*э2} = R_{*л1} + R_{*л2}, \quad (4.7)$$

$$\Sigma R_{*э2} = 0,11 + 0,01 = 0,12.$$

Определенные выше параметры схемы замещения приведены на рисунке 4.3. Полное сопротивление до точек короткого замыкания Z_* определяется по формуле:

$$Z_* = \sqrt{\Sigma X_*^2 + \Sigma R_*^2}, \quad (4.8)$$

Полное сопротивление до точки короткого замыкания К1:

$$Z_{*1} = \sqrt{0,11^2 + 1,01^2} = 1,02,$$

Полное сопротивление до точки короткого замыкания К2:

$$Z_{*2} = \sqrt{0,12^2 + 1,02^2} = 1,03.$$

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

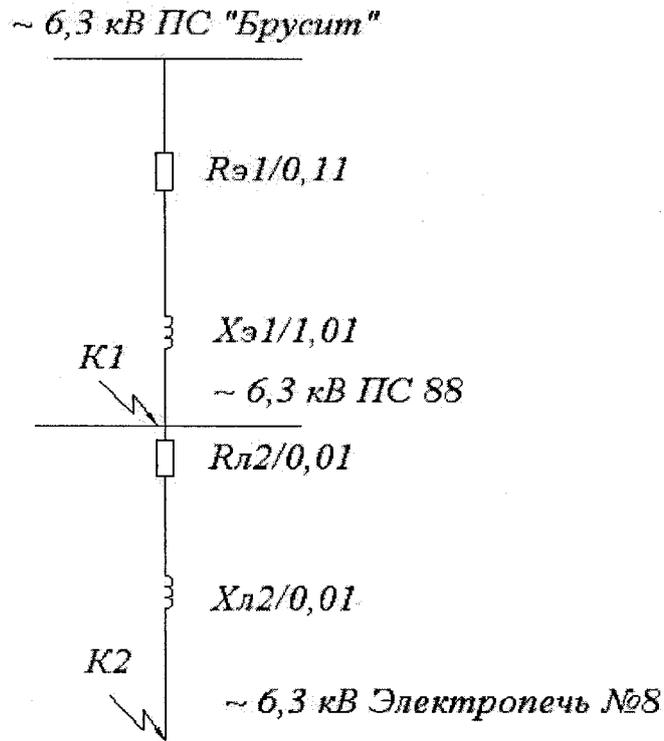


Рисунок 4.3 – Упрощенная схема замещения

Определим ток короткого замыкания в точке K_1 (периодическая составляющая $I_{Пт}$ принимается неизменной в течение всего процесса замыкания) по формуле:

$$I_{по} = I_{Пт} = \frac{S_{баз}}{\sqrt{3} \cdot U_{баз} \cdot Z_*}, \quad (4.9)$$

Для точки короткого замыкания K_1 :

$$I_{по1} = I_{Пт1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1,02} = 8,98 \text{ кА},$$

Для точки короткого замыкания K_2 :

$$I_{по} = I_{Пт1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 1,03} = 8,89 \text{ кА},$$

Ударный ток короткого замыкания определится по формуле:

$$i_y = K_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{по}, \quad (4.10)$$

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

где K_y – ударный коэффициент, для точки короткого замыкания К1 $K_y=1,5$, а для точки короткого замыкания К2 $K_y=1,3$ [13, с.211].

Тогда по формуле (4.10) в точке короткого замыкания К1:

$$I_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,98 = 19,04 \text{ кА},$$

Тогда по формуле (4.10) в точке короткого замыкания К1:

$$I_y = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,89 = 16,34 \text{ кА}.$$

Мощность короткого замыкания в точке короткого замыкания определяется по формуле:

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot U_{баз} \cdot I_{п0}, \quad (4.11)$$

Мощность короткого замыкания в точке короткого замыкания К1:

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 8,98 = 97,98 \text{ МВА},$$

Мощность короткого замыкания в точке короткого замыкания К2:

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 8,89 = 97,01 \text{ МВА}.$$

Результаты расчетов по всем точкам КЗ для 1 и 2 секций шин 6 кВ ПС №88 (соответственно 1 и 4 секции шин 6 кВ ПС «Брусит») в минимальном режиме сведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета токов короткого замыкания для 1 и 2 секций шин 6 кВ ПС №88 (соответственно 1 и 4 секции шин 6 кВ ПС «Брусит») в минимальном режиме

Расчётная точка	Токи, кА			Мощность короткого замыкания, МВА
	$I_{п0}$	$I_{пт}$	$I_{уд}$	
1	2	3	4	5
6,3 кВ К1	8,98	8,98	19,04	97,98
6,3 кВ К2	8,89	8,89	16,34	97,01

Расчеты по всем точкам КЗ для 1 и 2 секций шин 6 кВ пс №101 (соответственно 2 и 3 секции шин 6 кВ пс «Брусит») в минимальном режиме производятся аналогично. Результаты данного расчета сведены в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчета токов короткого замыкания для 1 и 2 секций шин 6 кВ ПС №101 (соответственно 2 и 3 секции шин 6 кВ ПС «Брусит») в минимальном режиме

Расчётная точка	Токи, кА			Мощность короткого замыкания, МВА
	$I_{по}$	$I_{пт}$	$I_{уд}$	
1	2	3	4	5
6,3 кВ К1	9,67	9,67	20,59	105,5
6,3 кВ К2	9,58	9,58	17,68	104,5

4.2 Расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме

Расчет токов короткого замыкания для максимального режима производится аналогично предыдущему подразделу согласно формул (4.1) – (4.11), а ниже приводится расчет токов короткого замыкания для печи №8 (ПС №88). Схема электроснабжения данной печи (в максимальном режиме) приведена на рисунке 4.4.

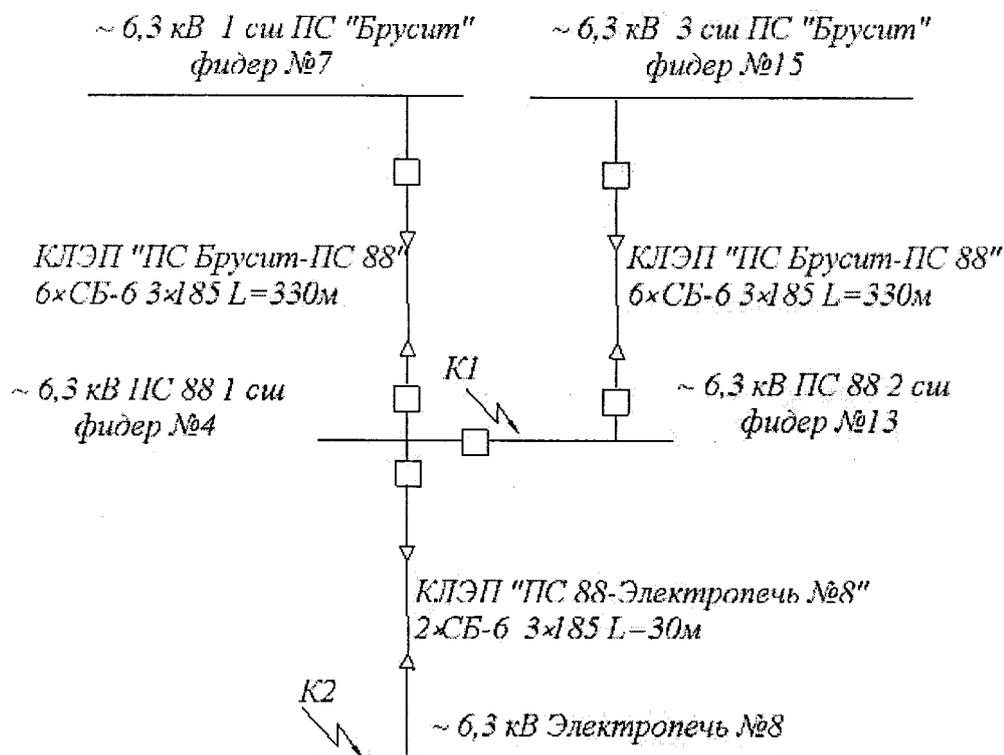


Рисунок 4.4– Схема электроснабжения рудно-термической печи №8 ЦМП-4 (в максимальном режиме)

Определим параметры схемы замещения. Базисную мощность принимается $S_B=100$ МВА, а базисное напряжение $U_B=6,3$ кВ. Мощность короткого замыкания на 1 шс ПС «Брусит») берем согласно данным проектного института – 107 МВА (см. Приложение А).

Схема замещения (полная) для расчета токов короткого замыкания в максимальном режиме приведена на рисунке 4.5.

Произведем ниже расчет элементов схемы замещения в относительных единицах.

Сопротивление системы в относительных единицах будет аналогичным предыдущему подразделу 4.1.

Индуктивное сопротивление линий питания определяется по формуле (4.2). Для индуктивных сопротивлений линий питания от ПС «Брусит» до ПС №88:

$$X_{*л1} = X_{*л2} \frac{0,079 \cdot 0,33 \cdot 100}{6,3^2} = 0,07,$$

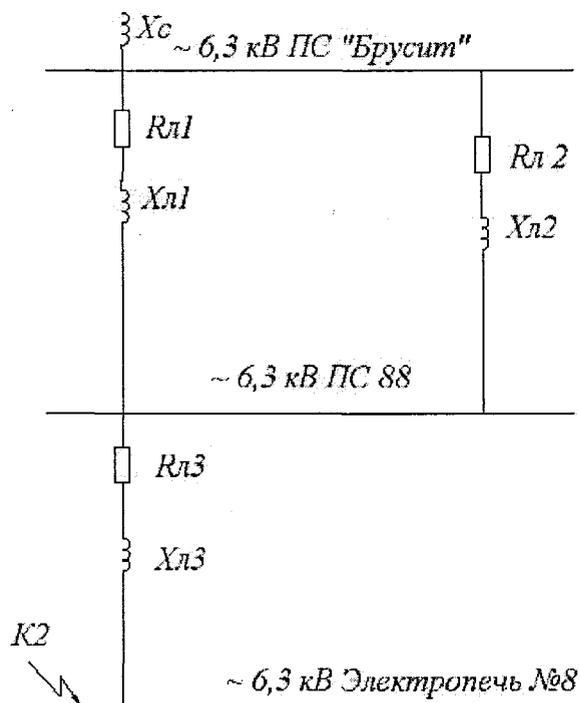


Рисунок 4.5 – Схема замещения (полная) для расчета токов короткого замыкания в максимальном режиме

Индуктивное сопротивление линии питания от пс №88 до электропечи №8:

$$X_{*л3} = \frac{0,079 \cdot 0,03 \cdot 100}{6,3^2} = 0,01.$$

Активное сопротивление линии питания, $R_{*л}$, определяется по формуле (4.3).

Активное сопротивление линии питания от ПС «Брусит» до ПС №88:

$$R_{*л1} = R_{*л2} = \frac{0,128 \cdot 0,33 \cdot 100}{6,3^2} = 0,11,$$

Активное сопротивление линии питания от пс №88 до электропечи №8:

$$R_{*л3} = \frac{0,128 \cdot 0,03 \cdot 100}{6,3^2} = 0,01.$$

Суммарные активное и индуктивное сопротивления для расчетных точек короткого замыкания К1 и К2, определяются по формулам:

$$\Sigma X_{*э1} = X_{*с} + X_{*л1}/2, \quad (4.12)$$

$$\Sigma X_{*э1} = 0,94 + 0,04 = 0,98.$$

$$\Sigma R_{*э1} = R_{*л1}/2, \quad (4.13)$$

$$\Sigma R_{*э1} = 0,11/2 = 0,06.$$

По формуле (4.6):

$$\Sigma X_{*э2} = X_{*с} + X_{*л1} + X_{*л3},$$

$$\Sigma X_{*э2} = 0,94 + 0,04 + 0,01 = 0,99.$$

$$\Sigma R_{*э2} = \Sigma R_{*э1} + R_{*л3}, \quad (4.14)$$

$$\Sigma R_{*э2} = 0,06 + 0,01 = 0,07.$$

Параметры упрощенной схемы замещения для максимального режима приведены на рисунке 4.6:

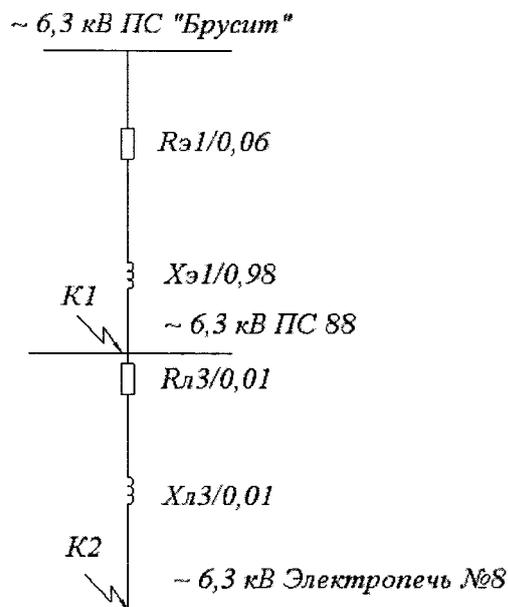


Рисунок 4.6– Упрощенная схема замещения для максимального режима

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Полное сопротивление до точки короткого замыкания К1 определяется по формуле (4.8):

$$Z_{*1} = \sqrt{0,98^2 + 0,06^2} = 0,98 ,$$

Полное сопротивление до точки короткого замыкания К2:

$$Z_{*2} = \sqrt{0,99^2 + 0,07^2} = 0,99 .$$

Определим ток короткого замыкания в точке К₁ (периодическая составляющая $I_{пт}$ принимается неизменной в течение всего процесса замыкания) по формуле (4.9) для точки короткого замыкания К1:

$$I_{п01} = I_{пт1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,98} = 9,35 \text{ кА},$$

Для точки короткого замыкания К2:

$$I_{п0} = I_{пт1} = \frac{100 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 0,99} = 9,23 \text{ кА}.$$

Ударный ток короткого замыкания в точке К1 определится по формуле (4.10):

$$I_y = 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,35 = 19,83 \text{ кА},$$

Для точки короткого замыкания К2:

$$I_y = 1,3 \times \sqrt{2} \times 9,23 = 16,96 \text{ кА}.$$

Мощность короткого замыкания в точке К1 короткого замыкания определяется по формуле (4.11):

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 9,35 = 102,03 \text{ МВА},$$

Мощность короткого замыкания в точке короткого замыкания К2:

$$S_{кз} = \sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 9,23 = 100,71 \text{ МВА}.$$

Результаты расчетов по всем точкам КЗ для 1 и 2 секций шин 6 кВ ПС №88 (соответственно 1 и 4 секции шин 6 кВ ПС «Брусит») в максимальном режиме сведены в таблицу 4.3.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

5 ВЫБОР И ПРОВЕРКА МОДЕРНИЗИРУЕМОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

5.1 Выбор и проверка высоковольтного выключателя

Выбор и проверку высоковольтного выключателя, а также прочего высоковольтного оборудования производим по токам короткого замыкания в максимальном режиме. Согласно данным таблиц 4.1– 4.4 максимальные значения токов короткого замыкания у нас имеют место на подстанции №101. Осуществим выбор и проверку высоковольтного выключателя для ввода на пс №88 (фидер №8).

Выключатель выбирают:

- 1) по номинальному напряжению:

$$u_{\text{НОМ}} \geq u_{\text{УСТ}}, \quad (5.1)$$

- 2) по номинальному току:

$$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РАБ.УТЯЖ.}}, \quad (5.2)$$

где $I_{\text{РАБ.УТЯЖ.}}$ – рабочий ток выключателя в наиболее тяжелом режиме, согласно таблицы 3.1

$$I_{\text{РАБ.УТЯЖ.}} = 1950 \text{ А.}$$

- 3) по номинальному току отключения:

$$I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} \geq I_{\text{П,}\tau}, \quad (5.3)$$

где $I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА;

$I_{\text{П,}\tau}$ – действующее значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов выключателя, кА.

Согласно этим требованиям намечаем к установке выключатель типа ВВ/TEL–10 с коммутационным модулем ISM15_Shell_2 [6, с.23]. Собственное время отключения выключателя $t_{\text{СВ}}=0,020$ с, полное время отключения выключателя $t_{\text{ОВ}}=0,048$ с.

При выборе выключателя необходимо также осуществить следующие проверки:

- 4) проверяется возможность отключения аperiodической составляющей тока короткого замыкания:

$$i_{\text{А,НОМ}} \geq i_{\text{А,}\tau}, \quad (5.4)$$

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

где $i_{A,\tau}$ – амплитудное значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов выключателя, определяется по формуле:

$$i_{A,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{П,0} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_A}}, \quad (5.5)$$

где T_A – постоянная времени затухания аperiodической составляющей [9, табл. 2.45] для точек КЗ 1 и 2: $T_{A1} = 0,03$ с; $T_{A2} = 0,05$ с;

τ – время от начала короткого замыкания до прекращения соприкосновения дугогасительных контактов, с:

$$\tau = t_{PЗ,MIN} + t_{СВ}, \quad (5.6)$$

где $t_{PЗ,MIN}$ – минимально возможное время срабатывания релейной защиты, $t_{PЗ,MIN} = 0,01$ с;

$t_{СВ}$ – собственное время отключения выключателя, с:

$$\tau = 0,01 + 0,020 = 0,03 \text{ с.}$$

Значение аperiodической составляющей по формуле (5.5):

$$i_{A,\tau} = \sqrt{2} \cdot 9,35 \cdot e^{-\frac{0,03}{0,03}} = 4,86 \text{ кА,}$$

В каталоге на выключатель [6, с.23] задается допустимое относительное содержание аperiodической составляющей тока в токе отключения $\beta_{НОМ}$:

$$\beta_{НОМ} = \frac{i_{A,НОМ}}{\sqrt{2} \cdot I_{НОМ.ОТКЛ.}} \cdot 100 \%, \quad (5.7)$$

Из формулы (5.7) можно найти номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени τ , используемое в выражении:

$$i_{A,НОМ} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{НОМ} \cdot I_{НОМ.ОТКЛ.}}{100}; \quad (5.8)$$

$$i_{A,НОМ} = \frac{\sqrt{2} \cdot 40 \cdot 31,5}{100} = 17,8 \text{ кА,}$$

5) Выполняется проверка на электродинамическую стойкость:

$$I_{ДИН} \geq I_{П,0}, \quad (5.9)$$

$$i_{ДИН} \geq i_{УД}, \quad (5.10)$$

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

б) Проверка на термическую стойкость:

$$I_{\text{ТЕР}}^2 \cdot t_{\text{ТЕР}} \geq B_{\text{К}}, \quad (5.11)$$

где $I_{\text{ТЕР}}$ – ток термической стойкости выключателя, определяется по каталогу, кА;
 $t_{\text{ТЕР}}$ – длительность протекания тока термической стойкости, определяется по каталогу [6, с.23], с;

$B_{\text{К}}$ – тепловой импульс тока короткого замыкания, пропорциональный количеству тепловой энергии, выделенной за время короткого замыкания:

$$B_{\text{К}} = I_{\text{П,0}}^2 \cdot (t_{\text{ОТК}} + T_{\text{А}}), \quad (5.12)$$

где $t_{\text{ОТК}}$ – время от начала короткого замыкания до его отключения, с:

$$t_{\text{ОТК}} = t_{\text{РЗ}} + t_{\text{ОВ}}, \quad (5.13)$$

где $t_{\text{РЗ}}$ – время действия релейной защиты, равное ступени селективности (2,1 с для выключателей ГПП [9, с. 402];

$t_{\text{ОВ}}$ – полное время отключения выключателя, с:

$$t_{\text{ОТК}} = 2,1 + 0,048 = 2,148 \text{ с},$$

Тепловой импульс по формуле (5.12):

$$B = 9,35^2 \cdot (2,148 + 0,03) = 190,40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Результаты выбора и проверки выключателя сведены в таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Выбор и проверка выключателя ВВ/TEL–10 с коммутационным модулем ISM15_Shell_2 для вводов на ПС №88 (фидер №8,13)

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные данные выключателя
1	2	3
$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{УСТ}}$	6 кВ	$U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{УТЯЖ}}$	$I_{\text{УТЯЖ}} = 1701 \text{ А}$	$I_{\text{НОМ}} = 2000 \text{ А}$
$I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} \geq I_{\text{П,т}}$	$I_{\text{П,т}} = 9,35 \text{ кА}$	$I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}} = 31,5 \text{ кА}$
$i_{\text{А,НОМ}} \geq i_{\text{А,т}}$	$i_{\text{А,т}} = 4,86 \text{ кА}$	$i_{\text{А,НОМ}} = 17,8 \text{ кА}$
$I_{\text{ДИН}} \geq I_{\text{П,0}}$ $i_{\text{ДИН}} \geq i_{\text{УД}}$	$I_{\text{П,0}} = 9,35 \text{ кА}$ $i_{\text{УД}} = 19,83 \text{ кА}$	$I_{\text{ДИН}} = 80 \text{ кА}$ $i_{\text{ДИН}} = 80 \text{ кА}$
$I_{\text{ТЕР}}^2 \cdot t_{\text{ТЕР}} \geq B_{\text{К}}$	$B_{\text{К}} = 190,40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Как следует из таблицы 5.1, предварительно выбранные выключатели проходят по всем критериям выбора.

Аналогичным образом выбирают выключатели на отходящих фидерах к рудотермическим печам ПС №88 (данные выбора приведены в таблице 5.2), а также выключатели для ПС №101 (данные выбора приведены в таблицах 5.3 и 5.4).

Таблица 5.2 – Выбор и проверка выключателя ВВ/TEL–10 с коммутационным модулем ISM15_LD_2 для отходящих фидеров на ПС №88 (фидер №4,5, 18,19,20)

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные данные выключателя
1	2	3
$u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$	6 кВ	$u_{НОМ}=10$ кВ
$I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$	$I_{УТЯЖ}=415$ А	$I_{НОМ}=1000$ А
$I_{НОМ.ОТКЛ.} \geq I_{П,Т}$	$I_{П,Т}=9,23$ кА	$I_{НОМ.ОТКЛ.}=20$ кА
$i_{А,НОМ} \geq i_{А,Т}$	$i_{А,Т}=7,16$ кА	$i_{А,НОМ}=11,31$ кА
$I_{ДИН} \geq I_{П,0}$ $i_{ДИН} \geq i_{УД}$	$I_{П,0}=9,23$ кА $i_{УД}=16,96$ кА	$I_{ДИН}=51$ кА $i_{ДИН}=51$ кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$	$B_K=185,5$ кА ² · с	$I_{ТЕР}^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² · с

Как следует из таблицы 5.2, предварительно выбранные выключатели на отходящих фидерах ПС №88 проходят по всем критериям выбора.

Таблица 5.3 – Выбор и проверка выключателя ВВ/TEL–10 с коммутационным модулем ISM15_Shell 2 для вводов на ПС №101 (фидер №8,11)

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные данные выключателя
1	2	3
$u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$	6 кВ	$u_{НОМ}=10$ кВ
$I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$	$I_{УТЯЖ}=1375$ А	$I_{НОМ}=2000$ А
$I_{НОМ.ОТКЛ.} \geq I_{П,Т}$	$I_{П,Т}=10,06$ кА	$I_{НОМ.ОТКЛ.}=31,5$ кА
$i_{А,НОМ} \geq i_{А,Т}$	$i_{А,Т}=5,23$ кА	$i_{А,НОМ}=17,8$ кА
$I_{ДИН} \geq I_{П,0}$ $i_{ДИН} \geq i_{УД}$	$I_{П,0}=10,06$ кА $i_{УД}=21,34$ кА	$I_{ДИН}=80$ кА $i_{ДИН}=80$ кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$	$B_K=220,42$ кА ² · с	$I_{ТЕР}^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8$ кА ² · с

Как следует из таблицы 5.3, предварительно выбранные выключатели на вводах пс №101 проходят по всем критериям выбора.

Таблица 5.4 – Выбор и проверка выключателя ВВ/TEL–10 с коммутационным модулем ISM15_ LD_2 для отходящих фидеров на ПС №101 (фидер №4, 5, 12, 14, 15)

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные данные выключателя
1	2	3
$u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$	6 кВ	$u_{НОМ}=10$ кВ
$I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$	$I_{УТЯЖ}=430$ А	$I_{НОМ}=1000$ А
$I_{НОМ.ОТКЛ.} \geq I_{П,т}$	$I_{П,т}=9,99$ кА	$I_{НОМ.ОТКЛ.}=20$ кА
$i_{А,НОМ} \geq i_{А,т}$	$i_{А,т}=7,75$ кА	$i_{А,НОМ}=11,31$ кА
$I_{ДИН} \geq I_{П,0}$ $i_{ДИН} \geq i_{УД}$	$I_{П,0}=9,99$ кА $i_{УД}=18,37$ кА	$I_{ДИН}=51$ кА $i_{ДИН}=51$ кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$	$B_K=217,36$ кА ² · с	$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{Т} = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² · с

Как следует из таблицы 5.4, предварительно выбранные выключатели на отходящих фидерах пс №101 проходят по всем критериям выбора.

5.2 Проверка существующей системы шин распределительного устройства

Т.к. системы шин РУ-6 кВ подстанций №88 и №101 являются комплектными и заводского исполнения, то необходимость расчета как шин, так и изоляторов на электродинамическую и термическую стойкость для них отсутствует. Проверка существующих систем шин РУ-6 кВ подстанций №88 и №101 приведена в таблицах 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 – Проверка системы шин КРУ-6 кВ ПС №88

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные параметры КРУ типа К-26 для пс №88
1	2	3
$u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$	$u_{УСТ} = 6$ кВ	$u_{НОМ} = 6$ кВ
$I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$	$I_{УТЯЖ} = 1701$ А	$I_{НОМ} = 2500$ А
$i_{ДИН} \geq i_{УД}$	$i_{УД} = 19,83$ кА	$i_{ДИН} = 81$ кА
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$	$B_K = 190,40$ кА ² · с	$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} = 31,5^2 \cdot 3 = 3000$ кА ² · с

Как следует из таблицы 5.5, существующее распределительное устройство ПС №88 полностью соответствует как фактическому режиму электропотребления, так и вновь рассчитанным токам короткого замыкания на ее шинах.

Таблица 5.6 – Проверка системы шин КРУ-6 кВ ПС №101

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Номинальные параметры КРУ типа К-26 для пс №88
1	2	3
$u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$	$u_{УСТ} = 6 \text{ кВ}$	$u_{НОМ} = 6 \text{ кВ}$
$I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$	$I_{УТЯЖ} = 1375 \text{ А}$	$I_{НОМ} = 2500 \text{ А}$
$i_{ДИН} \geq i_{УД}$	$i_{УД} = 21,34 \text{ кА}$	$i_{ДИН} = 81 \text{ кА}$
$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$	$B_K = 220,42 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} = 31,5^2 \cdot 3 = 3000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Как следует из таблицы 5.6, существующее распределительное устройство ПС №101 полностью соответствует как фактическому режиму электропотребления, так и вновь рассчитанным токам короткого замыкания на ее шинах.

Также в данном подразделе осуществим проверку существующих кабельных линий напряжением 6 кВ системы электроснабжения рудотермической печи на термическую стойкость к токам короткого замыкания.

Расчет всех характерных термических сечений кабелей производится для точки К1 (ввода на ПС №88 и ПС №101) и сведен в таблицу 5.7.

Термически стойкое сечение кабеля определим по выражению:

$$F_{\text{тер}} = \frac{I_{\text{п.о.}} \cdot \sqrt{t_{\text{к.з.}}}}{C} \quad (5.14)$$

где: C – коэффициент, зависящий от вида металла жил кабеля, $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2}$,

$t_{\text{к.з.}}$ – время действия тока кз, с.

Время действия тока кз определим по выражению:

$$t_{\text{к.з.}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{ов}} + T_{\text{а}}, \quad (5.15)$$

где: $t_{\text{рз}}$ – время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{\text{ов}}$ – полное время отключения выключателя, с;

$T_{\text{а}}$ – время протекания апериодической составляющей тока короткого замыкания, с.

Таблица 5.7 – Проверка кабелей на термическую стойкость на вводах ПС №88 и ПС №101

Начало и конец кабельной линии	$I_{по},$ кА	$t_{рз},$ с	$t_{ов},$ с	$T_A,$ с	$t_{к.з}$	C	$F_{т.с.},$ мм ²	S существ, мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС «Брусит» ф.№7 – ПС №88 ф.№8	9,35	0,01	0,048	0,03	0,088	140	19,8	185
ПС «Брусит» ф.№21 – ПС №88 ф.№13	9,35	0,01	0,048	0,03	0,088	140	19,8	185
ПС «Брусит» ф.№15 – ПС №101 ф.№8	10,06	0,01	0,048	0,03	0,088	140	21,3	185
ПС «Брусит» ф.№40 – ПС №101 ф.№11	10,06	0,01	0,048	0,03	0,088	140	21,3	185

Как показал проведенный анализ данных сечений кабелей в таблице 5.7 все фактически существующие кабели на вводах ПС №88 и ПС №101 имеют термически устойчивое сечения.

Аналогично проверяются кабели на отходящих фидерах, данные приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Проверка кабелей на термическую стойкость на отходящих к рудно-термическим печам фидерах ПС №88 и ПС №101

Начало и конец кабельной линии	$I_{по},$ кА	$t_{рз},$ с	$t_{ов},$ с	$T_A,$ с	$t_{к.з}$	C	$F_{т.с.},$ мм ²	S существ, мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС №88 ф.№4- ЭП№8	9,23	0,5	0,048	0,05	0,598	140	51	185
ПС №88 ф.№5- ЭП№9	9,23	0,5	0,048	0,05	0,598	140	51	185
ПС №88 ф.№18- ЭП№10	9,23	0,5	0,048	0,05	0,598	140	51	185
ПС №88 ф.№19- ЭП№6	9,23	0,5	0,048	0,05	0,598	140	51	185
ПС №88 ф.№20- ЭП№7	9,23	0,5	0,048	0,05	0,598	140	51	185

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ

Лист

53

Окончание таблицы 5.8

Начало и конец кабельной линии	$I_{по},$ кА	$t_{рз},$ с	$t_{ов},$ с	$T_A,$ с	$t_{к.з}$	C	$F_{ТС},$ мм ²	S существ, мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС №101 ф.№4- ЭП№2	9,99	0,5	0,048	0,05	0,598	140	55,2	185
ПС №101 ф.№5- ЭП№3	9,99	0,5	0,048	0,05	0,598	140	55,2	185
ПС №101 ф.№16- ЭП№5	9,99	0,5	0,048	0,05	0,598	140	55,2	185
ПС №101 ф.№14- ЭП№4	9,99	0,5	0,048	0,05	0,598	140	55,2	185
ПС №101 ф.№12- ЭП№1	9,99	0,5	0,048	0,05	0,598	140	55,2	185

Как показал проведенный анализ данных сечений кабелей в таблице 5.8, все фактически существующие кабели на отходящих фидерах ПС №88 и ПС №101 имеют термически устойчивое сечения.

5.3 Выбор и проверка проектируемого комплекта адаптации для ретрофита

В стандартный перечень собственно комплекта адаптации для ретрофита ячеек КРУ, кроме высоковольтного выключателя входят (см. рисунок 5.1): комплект ошиновки, металлоконструкции для установки самого выключателя, узел блокировки и сигнализации положения и блок управления выключателем (условно не показан на рисунке 5.1).

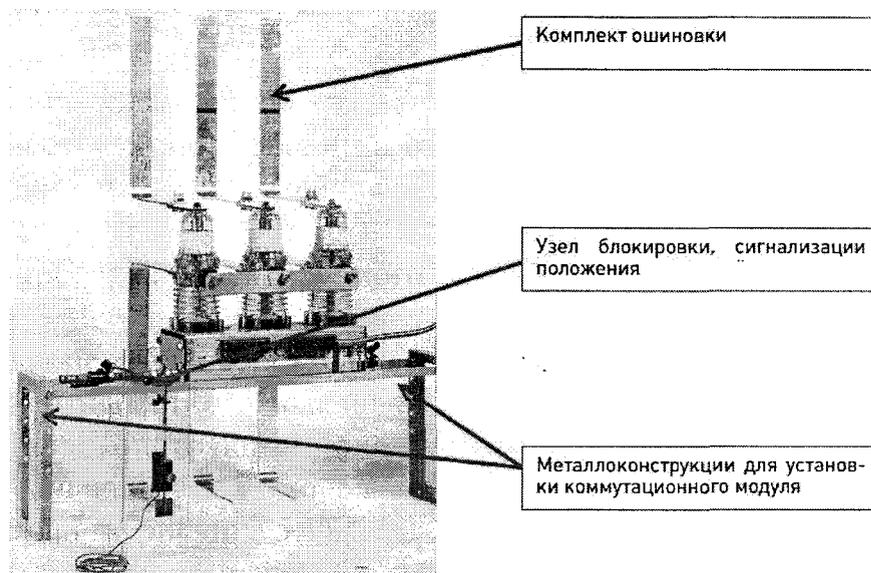


Рисунок 5.1– Конструкция стандартного комплекта ретрофита

Также при установке комплекта на реконструируемую ячейку КРУ дополнительно к стандартной комплектации присоединяется изоляция. Изоляция, в свою очередь делится на стандартную (соответствующая ТУ завода изготовителя ячейки КРУ и нормативным требованиям) и дополнительную (согласно дополнительным пожеланиям заказчика). Дополнительная изоляция предназначена для тяжелых условий работы – повышенная запыленность токопроводящей пылью и пр. В наших условиях установка дополнительной изоляции не требуется. В настоящем проекте проверку ошиновки и изоляции комплекта адаптации на термическую и электродинамическую стойкость при токах короткого замыкания не производим, т.к. мы выбираем стандартный вариант, рассчитанный АО «Таврида Электрик» для ячейки КРК типа К-26. Заполненный опросный лист на ретрофит вводной ячейки (2000 А) приведен в Приложении Б, а заполненный опросный лист на ретрофит отходящей ячейки (1000 А) приведен в Приложении В.

Сам внешний вид модернизированной ячейки и ее компоновка представлен на листе 4 графической части.

Кроме установки стандартного комплекта адаптации, рассмотренного выше необходимо предусмотреть следующие аспекты модернизации электрооборудования:

- необходимо проверить существующие комплекты трансформаторов тока в ячейках, подвергаемых ретрофиту на их соответствие вновь рассчитанным токам короткого замыкания, а также на вторичную допустимую нагрузку;
- необходимо проверить существующие трансформаторы напряжения на ПС №88 и ПС №101 в связи с установкой микропроцессорных терминалов РЗиА;
- необходимо заменить существующую РЗиА в ячейках, подвергаемых ретрофиту на микропроцессорную. Данный вопрос будет подробно рассмотрен в следующем разделе 6.

В ячейках КРУ типа К-26 устанавливаются трансформаторы тока типа ТОЛ-10. Рассмотрим подробно ниже проверку существующих трансформаторов тока на вводе в ПС №88.

Условия выбора, расчетные параметры сети и каталожные данные [11, с.45] трансформаторов тока на вводе в РУ-6 кВ ПС №88 указаны в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Выбор трансформаторов тока на вводе в РУ-6 кВ ПС №88

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ТОЛ-10-2000-УТЗ-0,5/10Р
1	2	3
$u_{ном} \geq u_{уст}$	$u_{уст} = 6 \text{ кВ}$	$u_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} \geq I_{утяж}$	$I_{утяж} = 1701 \text{ А}$	$I_{ном} = 2000 \text{ А}$
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{уд} = 19,83 \text{ кА}$	$i_{дин} = 35 \text{ кА}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	$B_k = 190,40 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 31,5^2 \cdot 3$ $= 2977 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Как следует из таблицы 5.9, установленные трансформаторы полностью соответствуют актуализированным параметрам сети.

Далее произведем проверку установленных трансформатора тока по вторичной нагрузке, для чего составляем схему включения трансформаторов тока и измерительных приборов (рисунок 5.2).

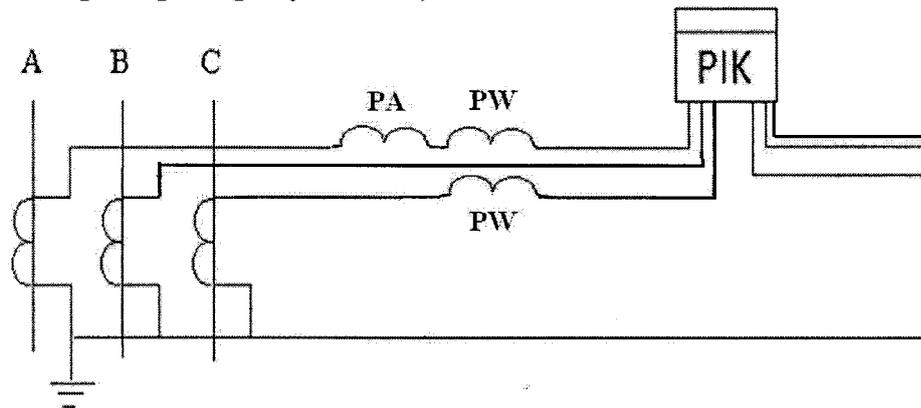


Рисунок 5.2 – Схема включения существующих трансформаторов тока и приборов на ПС №88

Определяем нагрузку по фазам (таблица 5.10), пользуясь схемой включения (рисунок 5.2) и каталожными данными приборов для выбора наиболее загруженного трансформатора тока.

Таблица 5.10 – Проверка трансформатора тока по классу точности

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
1	2	3	4	5
Амперметр	Э – 335	0,5	—	—
Ваттметр	Д – 335	0,5	—	0,5
Счетчик активной и реактивной энергии	Ртутный 230 ART-03	2,5	2,5	2,5
Итого по фазе		3,5	2,5	3

По данным таблицы 5.10 видно, что наиболее загруженной является фаза А, мощность приборов в этой фазе $S_{\text{ПРИБ}}=3,5$ ВА.

Сопротивление приборов определится по формуле:

$$r_{\text{ПРИБ}} = \frac{S_{\text{ПРИБ}}}{I_2^2}, \quad (5.16)$$

$$r_{\text{ПРИБ}} = \frac{3,5}{5^2} = 0,14 \text{ Ом.}$$

Во вторичную обмотку наиболее загруженного трансформатора тока включены четыре прибора, поэтому сопротивление контактов принимается $r_{\text{К}}=0,1$ Ом.

Номинальное сопротивление вторичной обмотки в классе точности 0,5 согласно [13, с.142] 20 ВА или $Z_{2НОМ}=0,8 \text{ Ом}$.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{ПРОВ}} = Z_{2НОМ} - r_{\text{ПРИБ}} - r_{\text{К}}, \quad (5.18)$$

$$r_{\text{ПРОВ}} = 0,8 - 0,14 - 0,1 = 0,56 \text{ Ом}.$$

В качестве соединительных принимаем алюминиевые провода, удельное сопротивление алюминия $\rho = 0,0283 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Согласно [13, с.143], в цепях 6 кВ длину соединительных проводов от трансформатора тока до приборов в один конец можно принять $l=5 \text{ м}$. Так как трансформаторы тока включены по схеме полной звезды (см. рисунок 5.2), то их суммарная длина проводов составит 20 м.

Сечение соединительных проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{РАСЧ}}}{r_{\text{ПРОВ}}}, \quad (5.19)$$

$$q = \frac{0,0283 \cdot 20}{0,56} = 1,01 \text{ мм}^2$$

В качестве соединительных проводов принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением 2,5 мм² по условию минимальной механической прочности.

Аналогичным образом проверяем и прочие трансформаторы тока, установленные на фидерах подстанций №88 и №101, подвергаемых ретрофиту, результаты расчета сведены в таблицу 5.11

Таблица 5.11– Проверка существующих трансформаторов тока

Подстанция	Наименование присоединения	Каталожные данные			Расчетные данные			
		$I_{НО}$ м, А	$i_{ДИН}$ кА	$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{тер}}$ м	$I_{\text{раб утяж}}$ А	$I_{\text{п.о}}$ кА	$i_{\text{уд}}$ кА	B кА ² с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС №88	фидер №4 электропечь №8	800	31,5	1200	395	9,23	16,96	185,5
ПС №88	фидер №5 электропечь №9	800	31,5	1200	399	9,23	16,96	185,5

Окончание таблицы 5.11

Подстанция	Наименование присоединения	Каталожные данные			Расчетные данные			
		$I_{НОМ}$, А	$i_{ДИН}$, кА	$I_{терм}^2 \cdot t_{терм}$, м	$I_{раб}$ утяж, А	$I_{п.0}$, кА	$i_{уд}$, кА	$В$, кА ² с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПС №88	фидер №18 электропечью №10	800	31,5	1200	387	9,23	16,96	185,5
ПС №88	фидер №19 электропечью №6	800	31,5	1200	415	9,23	16,96	185,5
ПС №88	фидер №20 электропечью №7	800	31,5	1200	363	9,23	16,96	185,5
ПС №101	фидер №4 электропечью №2	800	31,5	1200	376	9,99	18,37	217,36
ПС №101	фидер №5 электропечью №3	800	31,5	1200	430	9,99	18,37	217,36
ПС №101	фидер №8 ввод №1	2000	35	2977	1375	10,06	21,34	220,42
ПС №101	фидер №11 ввод №2	2000	35	2977	1375	10,06	21,34	220,42
ПС №101	фидер №12 электропечью №1	800	31,5	1200	379	9,99	18,37	217,36
ПС №101	фидер №14 электропечью №4	800	31,5	1200	441	9,99	18,37	217,36
ПС №101	фидер №16 электропечью №5	800	31,5	1200	422	9,99	18,37	217,36

Как следует из таблицы 5.11, все существующие трансформаторы тока удовлетворяют условиям проверки.

Осуществим проверку существующих трансформаторов напряжения на ПС №88.

Трансформатор напряжения устанавливается один на каждую секцию сборных шин.

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ				

Во вторичную обмотку трансформатора напряжения включаются катушки напряжения измерительных приборов всех присоединений данной секции и сборных шин.

Трансформаторы напряжения выбирают по следующим условиям:

- 1) по напряжению $U_{ном} = U_{уст}$;
- 2) по конструкции и схеме соединения обмоток;
- 3) по классу точности.

На ПС №88 и ПС №101 устанавливают трансформаторы напряжения типа НТМИ-6. Схема включения трансформаторов напряжения – «звезда с землей – звезда с землей – разомкнутый треугольник» (рисунок 5.3).

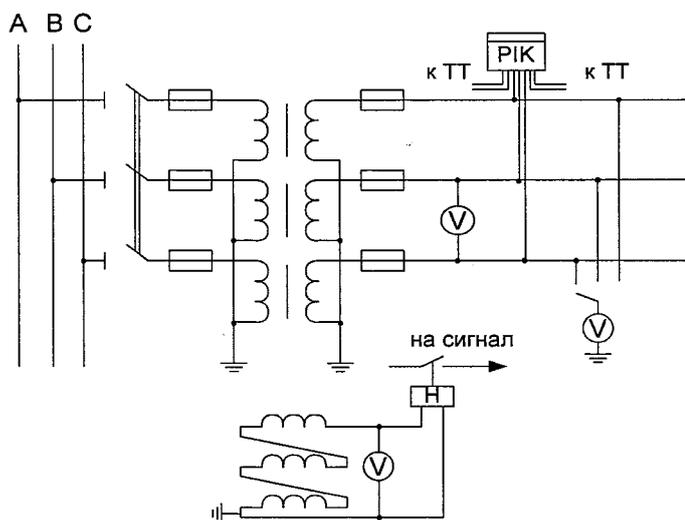


Рисунок 5.3 – Схема включения существующих трансформаторов напряжения и приборов на ПС №88

Чтобы трансформатор напряжения работал в заданном классе точности, должно выполняться условие:

$$S_{НАГР} \leq S_{2НОМ}, \quad (5.20)$$

где $S_{НАГР}$ – мощность всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, ВА;

$S_{2НОМ}$ – номинальная мощность вторичной обмотки трансформатора напряжения в заданном классе точности, ВА.

Составим таблицу включения приборов (см. таблицу 5.12), чтобы определить мощность приборов, включаемых во вторичную обмотку трансформатора напряжения.

При этом подразумевается, что на одной секции будет по одному трансформатору напряжения. Учет электрической энергии будет осуществляться по каждому отходящему фидеру.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

То есть максимально загруженной сборной секцией шин 10 кВ будет СШ 2 с девятью счетчиками. Счетчик устанавливаем активно-реактивный.

Таблица 5.12 – Вторичная нагрузка существующих трансформаторов напряжения на ПС №88

Прибор	Тип	Число приборов	Число обмоток	S одной обмотки, ВА	cosφ	sinφ	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, вар
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вольтметр (сборные шины)	Э-335	1	1	2,0	1,00	0	2,00	-
Ваттметр	Ввод 6 кВ Д-335	1	2	1,5	1	0	3	-
Счетчик активной и реактивной энергии	Линии 6 кВ Меркурий 230 ART-03	9	2	3,0	0,38	0,925	20,52	49,95
Итого:							25,52	49,95

Мощность, потребляемая приборами:

$$S_{\text{нагр}} = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (5.21)$$

$$S_{\text{нагр}} = \sqrt{25,52^2 + 49,95^2} = 56 \text{ ВА.}$$

Так как имеются счетчики АСТУЭ, то трансформаторы напряжения необходимо проверить в классе точности 0,5. Согласно [3, с.67], номинальная мощность вторичной обмотки одного трансформатора напряжения типа НТМИ-6 в классе точности 0,5 $S_{2\text{НОМ}}=75 \text{ ВА}$.

Таким образом, условие (5.20) выполняется, следовательно, трансформаторы напряжения будут работать в классе точности 0,5.

Выводы по разделу пять

В настоящем разделе был осуществлена проверка существующего электрооборудования и токоведущих частей ПС №88 и ПС №101.

Также был произведен выбор и проверка электрических аппаратов входящих в объем ретрофита. Все выбранное, а также существующее электрооборудование проходит по условиям проверки.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ				60

6 РАСЧЕТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

6.1 Определение объема релейной защиты и противоаварийной автоматики

Определение объема релейной защиты и противоаварийной автоматики для рудотермической печи ЦМП-4 происходит в строгом соответствии с главой 3.2 [11, с.452]. Согласно нормативных требований минимальный объем релейной защиты в рассматриваемом случае должен быть следующим:

- токовая отсечка без выдержки времени. Защищает от многофазных коротких замыканий в обмотках трансформатора и на его выводах. Данная защита устанавливается на стороне основного питания – т.е. в нашем случае отсечка ставится на стороне ВН электропечного трансформатора;

- максимальная токовая защита (далее – МТЗ) с выдержкой времени. Защищает от внешних коротких замыканий, устанавливается на стороне ВН электропечного трансформатора;

- защита от перегрузки. Реализуется на базе токовой защиты с выдержкой времени;

- газовая защита. Защищает трансформатор от внутренних повреждений;

- защита от понижения уровня масла в трансформаторе. Реализуется совместно с газовой защитой на базе одного и того же реле.

В соответствии с требованиями энергоснабжающей организации, все рудотермические печи ЦМП-4 должны быть заведены в систему автоматической частотной разгрузки (далее – АЧР).

В качестве аппаратной базы РЗа выбираем микропроцессорный терминал типа Сириус-2МЛ производства АО «Радиус Автоматика» (г. Москва). Внешний вид устройства представлен на рисунке 6.1.

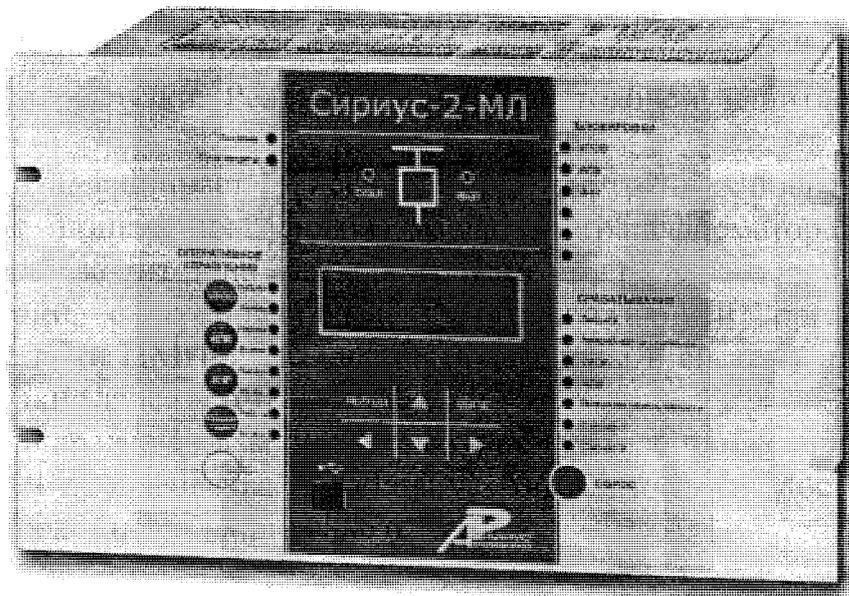


Рисунок 6.1 – Внешний вид микропроцессорного терминала Сириус-2МЛ производства АО «Радиус Автоматика»

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		61

Использование микропроцессорной защиты данного производителя позволит нам решить существующие проблемы с надежностью, а также позволит:

– заменить на электропечах физически изношенные и морально устаревшие существующие комплекты электромеханической РЗА, основанной на применении электромеханических реле. В настоящее время от подобных комплектов РЗА повсеместно отказываются, делая выбор в пользу микропроцессорной защиты;

– данный терминал входит в начальную линейку производителя и поэтому имеет относительно невысокую цену, вследствие чего переход на микропроцессорную защиту будет более экономичным;

– производство АО «Радиус Автоматика» имеет давние традиции качества, обширный перечень положительных референций (включая предприятия группы «Магнезит») и является эталоном надежности в отечественной релейной защите на уровне напряжения до 35 кВ;

– данный тип терминала имеет ряд дополнительных функций (замер токов, напряжения и коэффициента мощности), автоматическое снятие векторных диаграмм, а также осцилографирование. Это позволит использовать терминал в существующей системе управления печами ЦМП-4 «АСУ Плавка» для анализа хода плавки, а также полноценно проводить расследование всех аварийных ситуаций, связанных с работой рудотермической печи;

– не приобретать дополнительно комплект АЧР, т.к. функции данной противоаварийной автоматики поддерживаются выбранным терминалом.

Последующий расчет релейной защиты и АЧР выполняется для выбранного терминала Сириус–2МЛ.

6.2 Расчет токовых защит

В соответствии с предыдущим подразделом начнем расчет защит с токовой отсечки, которая согласно руководства к терминалу Сириус–2МЛ имеет наименование «МТЗ-1».

Согласно [14, с.32] в сети с глухозаземленной нейтралью токовая отсечки должна иметь трехрелейное исполнение – т.е. схема соединений трансформаторов тока на стороне 6 кВ должна быть полной звездой. Ток срабатывания МТЗ-1 на терминале определится из выражения:

$$I_{сз} = K_{отс} \cdot I_{кз\ max}^{(3)}, \quad (6.1)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки отсечки (принимаем $K_{отс} = 1,3$), обеспечивает отстройку от токов коротких замыканий,

$I_{кз\ max}^{(3)}$ – максимальное значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания в точке К2 согласно таблицы 4.4 (для пс №101).

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

$$I_{сз} = 1,3 \cdot 9990 = 12987 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле (терминала) определится по формуле:

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{n_{ТТ}}, \quad (6.2)$$

где $n_{ТТ}$ – коэффициент трансформации трансформаторов тока в месте установки защиты, для точки К1 равен 400, для точки К2 равен 160 (см. таблицу 3.3)

$$I_{ср} = \frac{12987}{160} = 81 \text{ А.}$$

Для определения коэффициента чувствительности для токовой отсечки необходимо первоначально определить минимальный ток двухфазного короткого замыкания в точке К1 во вторичной цепи трансформаторов тока по выражению:

$$I_{\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{кзmax}}^{(3)}}{2 \cdot n_{ТТ}}, \quad (6.3)$$

где $I_{\text{кзmax}}^{(3)}$ – максимальное значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания в точке К1 согласно таблицы 4.4 (для пс №101).

$$I_{\min}^{(2)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10060}{2 \cdot 400} = 21,8 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности определяется из выражения:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\min}^{(2)}}{I_{ср}}, \quad (6.4)$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{21,8}{81} = 0,27.$$

Т.к. для токовой отсечки в качестве основной защиты (МТЗ-1) согласно [8, с.345] коэффициент чувствительности не может быть ниже 1,5, то в целях повышения чувствительности защиты мы применим токовую отсечку с блокировкой по напряжению, в выбранном микропроцессорном терминале Сириус-2МЛ данная защита имеет обозначение «МТЗ-4».

Тогда ток срабатывания МТЗ-4 в терминале будет определен из выражения:

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

$$I_{сз} = \frac{K_H \cdot I_{норм}}{K_B}, \quad (6.5)$$

где K_H – коэффициент надежности, принимаем $K_{отс} = 1,2$ согласно [15, с.56];

$I_{норм}$ – ток нагрузки печи длительного нормального режима согласно таблицы 4.4 (для пс №101);

K_B – коэффициент возврата, принимаем $K_{отс} = 1,15$ согласно [15, с.56].

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 441}{1,15} = 460 \text{ А.} \quad (6.6)$$

Напряжение срабатывания МТЗ-4 определится из выражения:

$$U_{сз} = \frac{U_{ном}}{K_H \cdot K_B}, \quad (6.7)$$

где K_H – коэффициент надежности, принимаем $K_{отс} = 1,25$ согласно [15, с.57];

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, В;

K_B – коэффициент возврата, принимаем $K_{отс} = 1,1$ согласно [15, с.57].

$$U_{сз} = \frac{6000}{1,25 \cdot 1,1} = 4364 \text{ В.}$$

После выбора токовой отсечки, переходим к выбору МТЗ с выдержкой времени, которая также будет относиться к основным защита В выбранном микропроцессорном терминале Сириус-2МЛ данная защита имеет обозначение «МТЗ-2». Ток срабатывания МТЗ-2 определим из выражения:

$$I_{сз} = \frac{K_{отс} \cdot K_{зап} \cdot I_{max}}{K_B}, \quad (6.8)$$

где I_{max} – наибольшее значение тока трансформатора, А;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки защиты МТЗ-2, принимаем $K_{отс} = 1,2$ согласно [13, с.59];

$K_{зап}$ – коэффициент самозапуска, принимаем $K_{отс} = 1,1$ согласно рекомендациям [13, с.59];

K_B – коэффициент возврата терминала, принимаем $K_{отс} = 1,15$ согласно [13, с.59].

$$I_{сз} = \frac{1,2 \cdot 1,1 \cdot 441}{0,85} = 685 \text{ А,}$$

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Ток срабатывания реле (терминала) определится по формуле (6.2):

$$I_{cp} = \frac{685}{160} = 4,28 \text{ А},$$

Коэффициент чувствительности определяется по формуле (6.4):

$$K_{\text{ч}} = \frac{21,8}{4,28} = 5,1.$$

Т.к. для МТЗ-2 согласно [11, с.453] коэффициент чувствительности должен быть выше 1,5, то данная защита полностью удовлетворяет условиям защиты и принимается к установке. Выдержка времени принимается равной 0,5 секунды.

Перейдем к расчету защиты от перегрузки. В выбранном микропроцессорном терминале Сириус-2МЛ данная защита имеет обозначение «МТЗ-3».

Ток срабатывания защиты от перегрузки определяется по формуле:

$$I_{\text{сз}} = 1,4 \cdot I_{\text{НОМ. Т}}, \quad (6.9)$$

где $I_{\text{НОМ. Т}}$ – номинальный ток электропечного трансформатора, А;

$$I_{\text{сз}} = 1,4 \cdot I_{\text{НОМ. Т}} = 1,3 \cdot 481 = 625 \text{ А},$$

Ток срабатывания реле (терминала) определится по формуле (6.2):

$$I_{cp} = \frac{625}{160} = 3,9 \text{ А}.$$

Выдержка времени защиты от перегрузки определяется технологической картой плавки периклаза и равна 4 секундам.

6.3 Газовая и технологические защиты

На электропечном трансформаторе устанавливаются в обязательном порядке газовую защиту для защиты от внутренних повреждений, сопровождающихся выделением газа. Также данная защита предотвращает также понижение уровня масла в трансформаторе (по причине например, течи). Газовая защита является абсолютно селективной – она не реагирует на повреждения вне бака трансформатора или бака устройства РПН.

Газовая защита бака электропечного трансформатора реализована с использованием одного газового реле типа РГТ-50, чей внешний вид представлен на рисунке 6.2.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

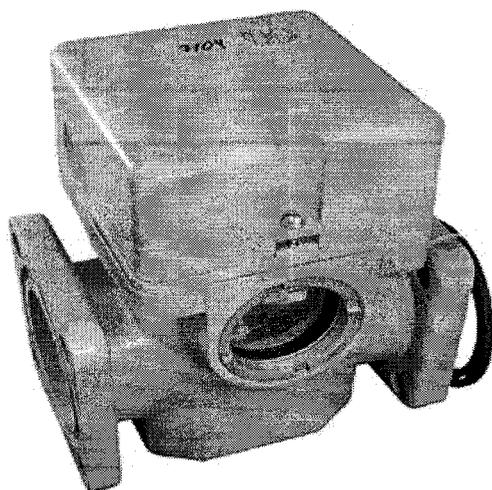


Рисунок 6.2 – Внешний вид газового реле типа PGT-50

Газовая защита электропечного трансформатора реализуем в микропроцессорном терминале Сириус–2 МЛ в виде двух очередей:

– первая очередь срабатывает при незначительном газообразовании (характерное для витковых замыкании в обмотках трансформатора), а также при понижении уровня масла. Первая очередь не приводит к отключению высоковольтного выключателя, а действует только на сигнал.

– вторая очередь действует только на отключение (без выдержки времени) при значительном газообразовании, характерном для серьезных коротких замыканиях внутри бака трансформатора.

Особенностью выполнения газовой защиты электропечного трансформатора является применение второго реле, размещенного в баке устройства РПН трансформатора. Данная защита выполнена на отечественном струйном реле типа РСТ-25-201 (см. рисунок 6.3) и действует на отключение трансформатора (без выдержки времени) при начале сильного движения потока масла из бака РПН в сторону расширителя.

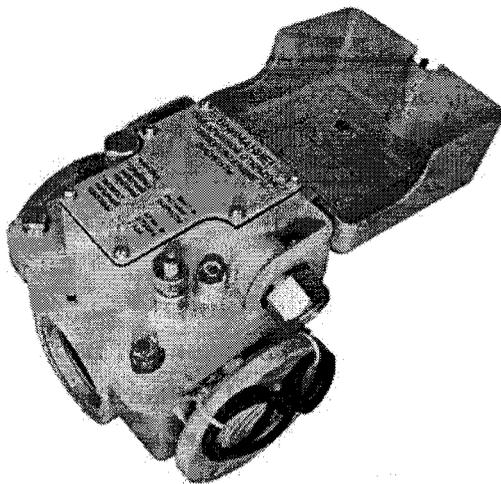


Рисунок 6.3– Внешний вид струйного реле типа РСТ-25-201

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Данное интенсивное движение масла происходит при горении сильной дуги в устройстве РПН, что является аварийной ситуацией. Контакты газового реле типа РГТ-50 (КНД1) и контакты струйного реле типа РСТ-25-201 (КНД2) на отключение присоединяются к микропроцессорному терминалу Сириус-2 МЛ (контакты Х6.2-15 и Х6.2-16).

Все основные технологические защиты рудно-термической печи выполнены на стороне 0,4 кВ и интегрированы в систему управления «АСУ Плавка». На отключение высоковольтного выключателя идет только сигнал при открытии калиток рудно-термической печи (контакты Х7.2-10 и Х7.2-11) – см. лист графической части №5.

Также была применена быстродействующая дуговая защита. В качестве оптического регистратора дуги было использовано устройство «Лайм» производства ООО «Микропроцессорные технологии», а в качестве исполнительного устройства, подающего команду на отключение – микропроцессорный терминал Сириус-2 МЛ (контакты Х5.7 и Х5.8).

6.4 Противоаварийная автоматика

Вся противоаварийная автоматика рудно-термической печи реализована в системе управления «АСУ Плавка» и действует на отключение вводного автомата 0,4 кВ на короткой сети. В целях ознакомления ниже приведен перечень противоаварийной автоматики:

- автоматика ограничения подъема электродов;
- автоматика ограничения спуска электродов;
- автоматика свободного хода электродов;
- автоматика охлаждения электропечного трансформатора;
- автоматика контроля положения РПН электропечного трансформатора;
- автоматика контроля системы охлаждения печи

Согласно требований энергоснабжающей организации все рудно-термические печи ЦМП-4 подключены к системе автоматической частотной разгрузки АЧР-1.

АЧР-1 предназначена для предотвращения дальнейшего снижения частоты после аварии в энергосистеме. Все электропечи ЦМП-4 принадлежат ко 2 очереди АЧР-1 и имеют следующие уставки на отключение высоковольтного выключателя 6 кВ:

- уставка по частоте равна 48,4 Гц;
- уставка по времени равна 0,5 сек.

Настоящие уставки устанавливаются в выбранном микропроцессорном терминале Сириус-2МЛ.

Выводы по разделу шесть

В настоящем разделе были рассчитаны защиты электропечного трансформатора рудно-термической печи согласно нормативного перечня защит,

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

приведенного в Правилах Устройства Электроустановок. Были последователь рассчитаны токовая отсечка, МТЗ с выдержкой времени и защита от перегрузки. Вследствие недостаточной чувствительности токовой отсечки была применена ее блокировка по напряжению.

В качестве рабочего органа РЗА был использован микропроцессорный терминале Сириус-2МЛ производства АО «Радиус Автоматика». Было описано использование газовой, дуговой и технологической защит, а также показан способ реализации автоматической частотной разгрузки (АЧР-1).

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

7 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

7.1 Расчет единовременных затрат на разработку проекта

Трудоемкость рассчитывается по нормам времени на всех этапах.

Трудоемкость разработки определяется с учетом влияния следующих факторов:

- степенью новизны модернизируемого электрооборудования;
- сложностью модернизируемого электрооборудования;
- степенью использования в проекте стандартных материалов и оборудования.

Степень новизны данной разработки оцениваем коэффициентом K_n .

Сложность модернизируемого электрооборудования K_c .

Степень использования стандартного оборудования и материалов $K_{и}$.

Определим затраты труда на техническое задание $T_{т.з.}$, чел.ч.:

$$T_{т.з.} = T_{норм.} \cdot K_n, \quad (7.1)$$

где $T_{норм.} = 111$ чел.ч – нормативное время на написание технического задания;

K_n – коэффициент новизны;

$K_n = 1,1$.

$$T_{т.з.} = 111 \cdot 1,1 = 122 \text{ чел.ч.}$$

Затраты труда на эскизный проект (ЭПр) $T_э$, чел.ч.:

$$T_э = T_{норм.} \cdot K_c, \quad (7.2)$$

где $T_{норм.} = 107$ чел.ч;

K_c – коэффициент фактора сложности;

$K_c = 0,95$

$$T_э = 107 \cdot 0,95 = 101,6 \text{ чел.ч.}$$

Затраты труда на рабочий проект (РП) $T_{р.п.}$, чел.ч.:

$$T_{р.п.} = T_{норм.} \cdot K_{и}, \quad (7.3)$$

где $T_{норм.} = 375$ чел.ч – нормативное время на рабочий проект;

$K_{и}$ – коэффициент использования оборудования стандартного;

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

$$K_{и} = 1.$$

$$T_{р.п.} = 375 \cdot 1 = 375 \text{ чел.ч.}$$

Затраты труда на внедрение $T_{внед.}$, чел.ч.:

$$T_{внед.} = (T_{дост.} + T_{монт.} + T_{нал.}) \cdot K_{и.}, \quad (7.4)$$

где $T_{сбор.} = 40$ чел.ч. – время нормативное на сборку и доставку комплекта ретрофита;

$T_{монт.} = 160$ чел.ч. – нормативное время на монтаж и сборку;

$T_{нал.} = 80$ чел.ч. – время нормативное на наладку ячейки КРУ 6 кВ ПС №88.

$$T_{внед.} = (40 + 160 + 80) \cdot 1 = 252 \text{ чел.ч.}$$

Общие затраты труда $T_{общ.}$, чел.ч.:

$$T_{общ.} = T_{т.з.} + T_{э.} + T_{р.п.} + T_{внед.}, \quad (7.5)$$

$$T_{общ.} = 122 + 101,6 + 375 + 252 = 759,1 \text{ чел.ч.}$$

Стадии разработки и сроки реализации проекта ретрофита приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Численность и состав исполнителей проекта ретрофита

Стадия разработки	Трудоёмкость, чел./ ч.	Должность исполнителя	Трудоёмкость, чел./ ч.	Срок реализации, дней
1	2	3	4	5
1. Техническое задание	122	Руководитель	60	7,5
		Разработчик	62	
2. Эскизный проект	101	Руководитель	35	2,5
		Разработчик	35	
		Консультант	31	
3. Рабочий проект	375	Руководитель	130	17,25
		Разработчик	115	
		Консультант	130	
4. Внедрение	252	Разработчик	126	15,5
		Консультант	126	
5. Итого	760		760	42,75

Фонд рабочего времени (ФРВ) одного исполнителя это 21 рабочий день или в перерасчете на часы, 168 часов.

Срок полной реализации проекта T , мес.:

$$T = T_{p.обш.} / \Phi, \quad (7.6)$$

где $T_{p.обш.}$ – общий срок реализации, дн;
 Φ – месячный фонд рабочего времени, дн.

$$T = 42,75 / 21 = 2 \text{ мес.}$$

Занятость каждого участника разработки сведена в таблицу 7.2.

При оценке занятости, расчета денежного вознаграждения участников проекта ретрофита учтем то, что проектирование будет выполняться структурой ООО «Группа Магнезит» – Проектно- сметным отделом, который уже получает заработную плату по основному месту работы. Поэтому за выполнение работ, связанных с ретрофитом, всем сотрудникам будет начисляться доплата к основной зарплате.

Таблица 7.2 – Общая занятость исполнителей проектно-сметного отдела в проекте ретрофита

Должность исполнителя	Занятость в проекте, чел. · ч
1	2
1. Руководитель проекта	225
2. Разработчик	338
3. Консультант	287
4. Итого	760

Величина вложений в проект ретрофита K , руб.:

$$K = K_{пп} + K_{оп} + K_{рп}, \quad (7.7)$$

где $K_{пп}$ – затраты на предпроизводственном этапе, руб., включающие в себя: заработную плату исполнителей, $Z_{зар.}$, руб., специальное оборудование для проектных работ C_m , руб., и накладные расходы $P_{накл.}$, руб.;

$K_{оп}$ – затраты на приобретение нового оборудования, руб.;

$K_{рп}$ – затраты на реконструкцию рабочих мест, руб.

Стоимость времени, необходимого для выполнения работ с использованием ЭВМ C_m , руб.:

$$C_m = T_m \cdot C_{\text{ч}}, \quad (7.8)$$

где T_m – время на расчеты, ч.;

$C_{\text{ч}}$ – стоимость одного машинного часа, руб.

Для выполнения всех расчетов необходимо 35 часов, а стоимость одного машинного часа принимается $C_{\text{ч}}=80$ руб.

$$C_m = 35 \cdot 80 = 2800 \text{ руб.}$$

Выполним расчет фонда заработной платы с учетом доплат по должностным окладам работников, занятых в проекте.

Часовая ставка оплаты труда:

$$S_{\text{ч}} = Z_{\text{мес}} / d, \quad (7.9)$$

где $Z_{\text{мес}}$ – месячный должностной оклад, руб.;

d – среднее количество рабочих дней в месяце.

Принятые для расчета заработной платы данные о доплатах к должностным окладам исполнителей приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Доплата к должностным месячным окладам исполнителей

Должность исполнителя	Месячная доплата, руб.
1	2
1. Руководитель проекта	15000
2. Разработчик	8000
3. Консультант	10000

Определим по формуле 7.9 часовые ставки всех исполнителей.

Часовая ставка руководителя $S_{\text{ч}}$, руб.:

$$S_{\text{ч}} = 15000 / 168 = 89,3 \text{ руб.},$$

Часовая ставка разработчика $S_{\text{ч}}$, руб.:

$$S_{\text{ч}} = 8000 / 168 = 47,6 \text{ руб.},$$

Часовая ставка консультанта $S_{\text{ч}}$, руб.:

$$S_{\text{ч}}=10000 /168=59,5 \text{ руб.}$$

Расчеты заработной платы исполнителей проекта представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Расчёт заработной платы исполнителей

Должность	Оклад $Z_{\text{мес}}$, руб.	Расчётная часовая ставка $S_{\text{ч}}$, руб.	Трудоёмкость, Т, чел/ ч	Основная зарплата $Z_{\text{осн.}}$, руб
1	2	3	4	5
1.Руководитель	15000	89,30	225	20089,3
2.Разработчик	8000	47,62	338	16095,2
3. Консультант	10000	59,52	287	17083,3
4. Итого		53267,9		

Продолжение таблицы 7.4

Должность	Дополнительная зарплата $Z_{\text{доп.}}$, руб. ($0,2 \cdot Z_{\text{осн}}$)	Районный коэффициент $Z_{\text{коэф.}}$, руб. $0,15 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$	Страховой взнос $Z_{\text{стр.}}$, руб. $0,3 \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{коэф}})$	Фонд заработной платы $Z_{\text{зар.}}$, руб.
1.Руководитель	4017,9	6026,8	9100,4	39234,4
2. Разработчик	3219,0	4828,6	7291,1	31434,0
3. Консультант	3416,7	5125,0	7738,8	33363,8
4. Итого	10653,6	15980,4	24130,3	104032,1

Накладные расходы, входящие в третью статью пред производственных затрат, примем равными 60 процентов от основной зарплаты:

$$P_{\text{накл.}}=53267,9 \cdot 0,6=31960,7 \text{ руб.},$$

Таким образом:

$$K_{\text{п}}=2800+104032,1+31960,7=138792,8 \text{ руб.}$$

Смета затрат на вновь приобретаемое оборудование представлена в таблице 7.5.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

Дополнительно определяются расходы на монтаж K_m и транспортировку K_m , которые составляют 9% и 1,5% от стоимости оборудования.

Таблица 7.5 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Количество	Суммарная стоимость, руб.	K_t , руб.	K_m , руб.	Итого, руб.
1	2	3	4	5	6
1. Комплект адаптации, включая высоковольтный выключатель, соединительные провода, юлок управления	1	847766	76300	12715	936781
2. Микропроцессорный терминал РЗиА	1	46400	696	3712	50808
3. Оптический модуль «Лайм»	1	27240	408	2180	29828
4. Итого:					1017417

Тогда:

$$K=138792,8+1017417=1156209 \text{ руб.}$$

7.2 Расчет эксплуатационных затрат

Эксплуатационные затраты $Z_{\text{экс}}$, руб., рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{экс}} = Z_{\text{эл}} + Z_{\text{рем}} + Z_{\text{всм}} + Z_{\text{пэр}} + A, \quad (7.10)$$

где $Z_{\text{эл}}$ – фонд заработной платы обслуживающего персонала руб.;

$Z_{\text{рем}}$ – затраты на текущий и профилактический ремонт, руб.;

$Z_{\text{всм}}$ – стоимость вспомогательных материалов, руб.;

$Z_{\text{пэр}}$ – прочие эксплуатационные расходы, руб.;

A – затраты на амортизацию оборудования, руб.

7.3 Определение фонда заработной платы обслуживающего персонала

Сведения по заработной плате приведены в таблице 7.6.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

Таблица 7.6 – Тариф и разряд работника

Количество смен	Разряд работника	Количество работников	Тариф, руб./час
3	5	1	48,70
3	6	3	52,50

Месячная тарифная ставка $S_{мес.}$, руб. рассчитывается:

$$S_{мес} = S_{тар} \cdot d_{ч}, \quad (7.11)$$

где $S_{тар}$ – тарифная ставка, руб./ч;

$d_{ч}$ – среднее количество часов в месяц, час.,

$d_{ч} = 168$.

Основная заработная плата обслуживающего персонала $Z_{осн.}$, руб. рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = S_{мес} + (S_{в.н.} \cdot d_{ч.в.н.}), \quad (7.12)$$

где $S_{в.н.}$ – тариф за вечерние и ночные смены, руб.;

$d_{ч.в.н.}$ – количество вечерних и ночных часов,

$d_{ч.в.н.} = 90$ ч.

Расчет заработной платы обслуживающего персонала приведена в таблице 7.7.

Таблица 7.7 – Зарплата обслуживающего персонала

Должность, разряд	Тариф, руб/ч	Основная зарплата $Z_{осн.}$, руб	Доп. зарплата $Z_{доп.}$, руб ($0,5 \cdot Z_{осн.}$)
1	2	3	4
1. Электромонтёр 6 разряд	52,50	11082,00	5541,00
2. Электромонтёр 6 разряд	52,50	11082,00	5541,00
3. Электромонтёр 6 разряд	52,50	11082,00	5541,00
4. Электромонтёр 5 разряд	48,70	10398,00	5199,00
5. Итого за месяц:		43644,00	21822,00
6. Итого за год		523728,00	261864,00

$$A = \Phi \cdot N_A, \quad (7.15)$$

где Φ – стоимость амортизируемого оборудования, руб.;
 N_A – норма амортизации, $N_A=12\%$.

$$A=1017417 \cdot 0,12 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления на помещение $A_{зд.}$, руб. составляют 1% от стоимости помещения:

$$A_{зд.} = C_{пом.} \cdot 0,01, \quad (7.16)$$

$$A_{зд.} = 2300000 \cdot 0,01 = 23000 \text{ руб.}$$

Смета затрат на эксплуатацию приведена в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Смета затрат на эксплуатацию модернизируемого электрооборудования

Смета затрат	Сумма затрат, руб.
1	2
1. Фонд заработной платы обслуживающего персонала	1315867
2. Амортизация	122090
3. Затраты на амортизацию помещения	23000
4. Затраты на текущий профилактический ремонт электрооборудования	30522
5. Затраты на вспомогательные материалы	20348
6. Прочие эксплуатационные расходы	4600
7. Итого	1485905

7.4 Расчет экономического эффекта от внедрения проекта

Приведенные затраты определяются по:

$$Z_{пр.} = Z_{эк.} + E_H \cdot K, \quad (7.19)$$

где E_H – нормативный коэффициент экономической эффективности;
 K – капитальные вложения в модернизацию, руб.

Нормативный коэффициент экономической эффективности принимается равным 15%. Тогда:

$$Z_{\text{пр.}} = 1485905 + 0,15 \cdot 1156209 = 1659336 \text{ руб.}$$

Модернизация электрооборудования для всех электропечей позволит снизить простои рудотермических печей по причине перерывов в электроснабжении, величина которых была приведена в подразделе 2.2 и составила 1050000 руб/год.

Таким образом, годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{год}}$, руб. может быть равен 1050000 руб.

Срок окупаемости T , лет рассчитывается по формуле:

$$T = K / \mathcal{E}_{\text{год}}, \text{ г.} \quad (7.20)$$

$$T = 1156209 / 1050000 = 1,1 \text{ года}$$

Коэффициент эффективности вложения средств K_3 рассчитывается по формуле:

$$K_3 = \mathcal{E}_{\text{год}} / K \quad (7.22)$$

$$K_3 = 1050000 / 1156209 = 0,91$$

$K_3 = 3,05$, что значительно больше нормативного коэффициента окупаемости.

Таблица 7.9 – Основные технико-экономические показатели проекта

Наименование	Показатель
1	2
1. Трудоёмкость разработки	760 чел. · час.
2. Капитальные вложения в модернизацию	1156209 руб.
3. Эксплуатационные затраты	1485905 руб.
4. Приведённые затраты	1659336 руб.
5. Годовой экономический эффект	1050000 руб.
6. Коэффициент экономической эффективности	0,91
7. Срок окупаемости	1,1 года

Выводы по разделу семь

По результатам расчётов в экономической части можно сделать вывод, что модернизация электрооборудования рудно-термической печи в ЦМП-4 экономически выгодна. Сравнивая расчётный срок окупаемости (0,4 года) с современным нормативом для энергетики чёрной металлургии (3 года) можно сделать вывод о высокой эффективности рассматриваемого проекта.

8 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

8.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов при плавке периклаза

Вкратце охарактеризуем рассматриваемый объект ниже.

Департамент по производству плавленного периклаза (ЦМП-4) ООО «Группа Магнезит» находится в горнозаводской зоне Южного Урала.

Расчетные климатические параметры, для ЦМП-4 приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Климатические характеристики ЦМП-4

Климатическая характеристика	Значение климатической характеристики
1	2
1. Расчетный вес снегового покрова	150 кг/м ²
2. Нормативная ветровая нагрузка	30 кг/м ²
3. Среднегодовая температура воздуха	плюс 2 °С
4. Среднемесячная температура января	минус 21 °С
5. Расчетная зимняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92	минус 35 °С
6. Абсолютная максимальная температура	плюс 40 °С
7. Абсолютная минимальная температура	минус 48 °С

Анализ опасных и вредных производственных факторов производим в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74. «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Работа персонала Департамент по производству плавленного периклаза связана с обслуживанием электроплавильного оборудования, соответственно к вредным и опасным производственным факторам возможно отнести:

- шум;
- вибрацию;
- слабую освещенность рабочего места;
- возможность поражения электрическим током;
- запыленность;
- падающие технологические смеси/ порошки;
- движущиеся части технологических механизмов.

Для понимания, воздействие каких именно вредных и опасных производственных факторов наиболее значимо для рассматриваемого объекта, проанализируем итоги специальной оценки условий труда для рабочего места плавильщика, проведенные в Департаменте по производству плавленного

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

периклаза ООО «Группа Магнезит» в 2019 г. Данные результаты приведены в таблице 8.2.

Таблица 8.2 – Результаты специальной оценки условий труда, проведенной в Департаменте по производству плавленного периклаза ООО «Группа Магнезит» в 2019 г.

Наименование вредного / опасного производственного фактора при плавке периклаза	Класс (подкласс) условий труда
1	2
1. аэрозоли преимущественно фиброгенного действия	2
2. шум	2
3. инфразвук	2
4. параметры микроклимата	2
5. тяжесть трудового процесса	2
6. освещенность рабочего места	3.1
7. итоговый класс (подкласс) условий труда	2

Как следует из таблицы 8.2, единственным существенным вредным производственным фактором на рабочем месте плавильщика в процессе плавки периклаза является недостаточная освещенность.

8.2 Разработка мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных производственных факторов при плавке периклаза

Согласно данным таблицы 8.2 на рабочем месте плавильщика в Департаменте по производству плавленного периклаза ООО «Группа Магнезит» необходимо увеличить освещенность. Как показывает опыт других промышленных предприятий, наиболее рациональным решением в данном случае является модернизация всей системы рабочего освещения путем замены существующих газоразрядных ламп на современные светодиодные.

Для проведения модернизация системы рабочего освещения необходимо последовательно осуществить ряд действий:

- сформировать предварительные требования к светильнику (исполнение, единичная мощность, спектр излучения и пр);
- выбрать производителя светильников на конкурсной основе;
- выбрать конкретный тип промышленного светильника выбранного производителя;
- произвести светотехнический расчет в специализированном ПО.

Начнем с выбора производителя светильников, в качестве которых рассмотрим следующие варианты:

- ООО «Ферекс» (г. Казань);
- ООО «Ледник» (г. Кириши);
- ООО «ЛЕД- Эффект» (г. Москва).

Ниже в таблице 8.3 приведены данные по промышленным светильникам, предлагаемым выбранными производителями.

Таблица 8.3 – Сравнительный анализ светодиодных промышленных светильников

Параметр светильника	Производитель светильника		
	ООО «Ферекс»	ООО «Ледник»	ООО «ЛЕД-Эффект»
1	2	3	4
1. Тип светильника	FWL 14-52 W50-C120	LEDNIK серии- STREET C LITE 50	VOLTA-KEDR LE-СБУ- 32-050- 1069-67X
2. Цена (с НДС), руб.	8 900	6 022	8 847,7
3. Срок существования на рынке	С 2010 г.	С 2009 г.	С 2010 г.
3. Потребляемая мощность, Вт	52	52	50
4. Энергоэффективность Лм/Вт	129,8	132,7	Не менее 125
5. Производитель светодиода	Nichia (хорошие отзывы)	Samsung (нейтральные отзывы)	Nichia (хорошие отзывы)
6. Производитель блока питания	Mean Well (хорошие отзывы)	Оригинальный блок собственной разработки (отзывов нет)	Аргос-Электрон (ранее отмечалось нестабильное качество)
7. Наличие достоверных референций по светильнику	Данный тип использован в уличном освещении г. Сатка; поставляется на ПАО «Магнезит» нареканий на качество нет	Данный светильник производится только год; на прочие типы светильников имеются положительные отзывы ПАО «Магнезит»	Референции не позволяют судить о надежности данного светильника, продавец торгует данным светильником менее года
8. Гарантия на светильник	5 лет	7 лет	5 лет

Как следует из таблицы 8.3, несомненным преимуществом обладает светильник LEDNIK серии STREET C LITE 50 производителя ООО «Ледник», который и принимается к дальнейшей установке.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Переходим к светотехническому расчету электропечного участка Департамента по производству плавленого периклаза ООО «Группа Магнезит». При этом будем руководствоваться следующим:

- расчет произведем в программном комплексе DIALux 4.1;
- начальные данные для расчета приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 – Начальные данные для светотехнического расчета

Параметр для расчета	значение
1	2
1. Длина помещения, м	27
2. Ширина помещения, м	21
3. Высота помещения, м	5,4
4. Высота подвеса светильников к фермам, м	3,5
5. Высота подвеса светильников к стенам, м	3,5
6. Тип светильника	Street 50 LIGHT 120°
7. Световой поток светильника, lm	6894
8. Световой поток лампы, lm	7356
9. Мощность светильника, Вт	52
10. Классификация светильников по CIE	100
11. CIE Flux Code	56-85-96-100-94
12. Комплектация для светодиода	1 x Samsung SMD
13. Поправочный коэффициент комплектации для светодиода	1,000
14. Высота рабочей плоскости, м	0,850
15. Растр рабочей плоскости, точки	128 × 128
16. Коэффициент эксплуатации	0,80
17. Коэффициент отражения для пола, %	20
18. Коэффициент отражения для потолка, %	70
19. Коэффициент отражения для стен, %	50
20. Коэффициент отражения для рабочей плоскости, %	отсутствует
Способ размещения светильников	рядами
Тип программного расчета количества светильников	автоматический
Местонахождение файла *.ies для светильника	Сайт завода ООО «Ледник»

План помещения, внесенный в программный комплекс DIALux (с автоматическим расставлением светильников) представлен на рисунке 8.1. При расстановке светильников учитывалось месторасположения оборудования и минимальная освещенность согласно нормативных требований. В качестве способа подвеса светильников были приняты:

- по стенам (на поворотном кронштейне);
- для остальных светильников- на тросу с подвесом троса к фермам перекрытия.

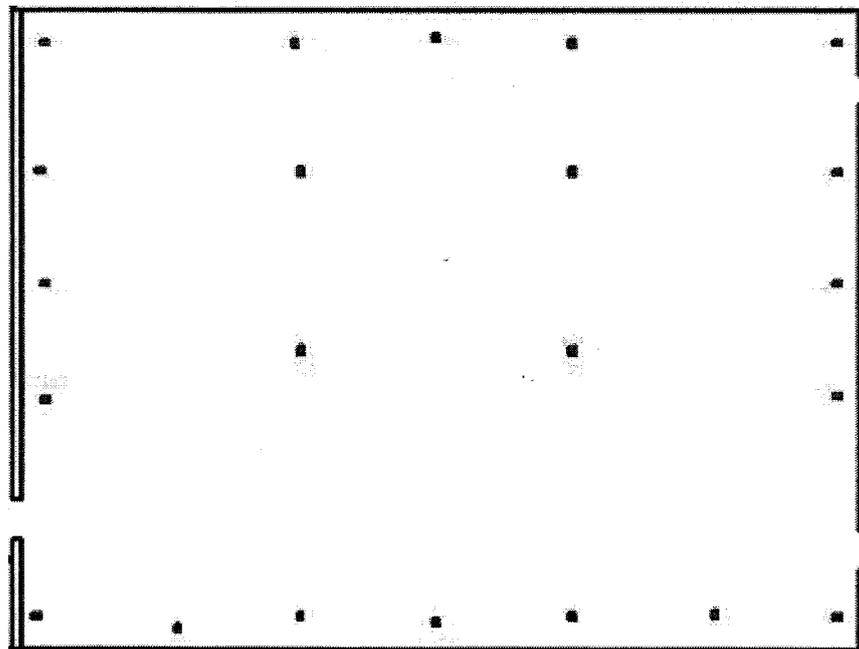


Рисунок 8.1– План помещения в программном комплексе DIALux (со светильниками)

Результат расчета освещенностей в программном комплексе DIALux 4.1 представлен в таблице 8.5. Всего в расчете было принято 22 светильника.

Таблица 8.5 – Результаты расчета освещенности в программном комплексе DIALux 4.1 согласно рисунка 8.1.

Поверхность в расчете	Еср, лк	Е _{min} , лк	Е _{max} , лк	Е _{min} / Еср, лк
1.рабочая плоскость	200	16	563	0.078
2. полы	179	18	366	0.103
3. потолок	41	6.47	5529	0.156
4. стенки	94	6.37	964	-

Фиктивные цвета – визуализация освещенности в программном комплексе DIALux представлена на рисунке 8.2.

Как следует из рисунка 8.2 и данных таблицы 8.5 предложенный вариант расчета освещенности (с 22 светильниками) является оптимальным, при этом нормируемая освещенность (равная 200 лк) в целом выдерживается, за исключением узкой полосы у каждой из стен (шириной около 30 см), что можно в целом проигнорировать. Поэтому по итогам светотехнического расчета принимаем вариант с размещением 22 единиц светильников типа Street 50 LIGHT 120° производства ООО «Ледник».

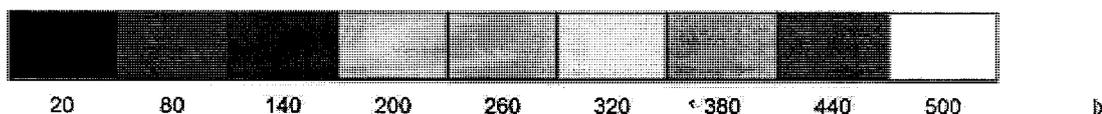
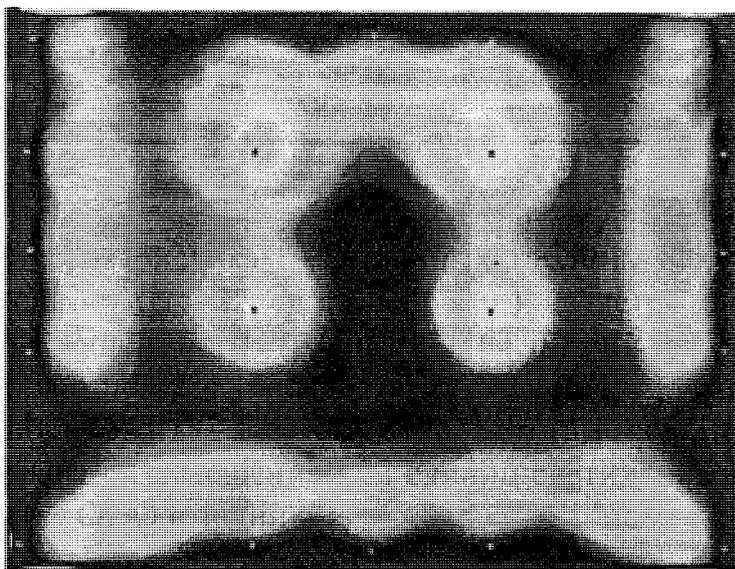


Рисунок 8.2 – Фиктивные цвета, визуализация освещенности в программном комплексе DIALux на рабочем месте плавильщика

8.3 Пожарная безопасность

Для обеспечения пожарной безопасности в Департаменте по производству плавяного периклаза ООО «Группа Магнезит» приняты следующие меры:

- поддерживается в исправном состоянии электротехническое и электротехнологическое оборудование, приточно-вытяжная вентиляция за счет реализации мероприятий системы ТООР. В рамках рассматриваемого проекта мы существенно уменьшаем пожарную опасность, т.к. предусматривается ликвидация 14 единиц маслоснаполненного оборудования (маломасляные выключатели типа ВМПЭ-10) с их заменой на пожаробезопасные вакуумные;

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

- имеется пожарная сигнализация и система оповещения персонала в виде громкоговорящей связи;
- поддерживается в исправном состоянии пожарный инвентарь (пожарные гидранты, ящики с песком возле каждой печи и в РУ-6 кВ подстанций №88 и №101, углекислотные огнетушители на рабочих местах плавильщиков, лопаты, ведра, багры);
- в камерах электропечных трансформаторов имеются маслоприямки со щебнем, который регулярно обновляется;
- в камерах электропечных трансформаторов организована дренажная автоматическая система пожаротушения электропечных трансформаторов.

8.4 Процесс плавки периклаза как источник загрязнения окружающей среды

В процессе плавки периклаза основным источником выбросов в окружающую среду являются процесс транспортировки исходного сырья и процесс плавки периклаза с образованием пыли.

Мероприятия по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду

С целью предотвращения выброса пыли в рабочую зону и атмосферу предусмотрен ряд мероприятий:

- технологическое оборудование (ленточный конвейер, узлы загрузки) являются герметичными устройствами, места сопряжения с пересыпными устройствами уплотнены мягкими прокладками;
- вновь устанавливаемое оборудование оснащено аспирационными отсосами;
- технологическое оборудование заблокировано с аспирационными системами, запуск данного оборудования невозможен при неисправности аспирационных систем;
- аспирационный воздух очищается в рукавном фильтре перед выбросом в атмосферу;
- уловленная аспирационная пыль перед вывозом на утилизацию упаковывается в мягкие контейнеры (МКР);
- имеется существующая приточно-вытяжная вентиляция.

Выводы по разделу восемь

Таким образом, рассмотрев вредные и опасные производственные факторы на рабочем месте плавильщика в Департаменте по производству плавленого периклаза ООО «Группа Магнезит» было установлено, что наибольший вред персоналу в настоящее время наносит недостаточная освещенность. Поэтому последовательно выбрав производителя и тип энергоэффективного светодиодного промышленного светильника и далее произведя светотехнический расчет были предложены пути решения данной проблемы.

Также была рассмотрены вопросы пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был разработан комплексный проект по модернизации электрооборудования рудно-термической печи РКЗ-5К Департамента по производству плавленного периклаза ООО «Группа» Магнезит» (ЦМП-4).

На первой стадии проектирования был произведен анализ передовых зарубежных и отечественных технологий и решений, используемых при реализации ретрофита высоковольтных ячеек. После тщательного сравнения выключателей, используемых для ретрофита, мы выбрали хорошо апробированный высоковольтный выключатель типа ВВ/TEL-10 производства «Таврида Электрик».

Рассмотрев существующую технологию производства плавленного периклаза и проанализировав все «узкие» места технологического процесса, а также имеющуюся аварийность в энергохозяйстве рассматриваемого предприятия был сделан вывод о необходимости замены существующих маломасляных высоковольтных выключателей на более надежные. Проанализировав все варианты модернизации электрооборудования был выбран вариант ретрофита ячеек КРУ- 6 кВ.

В расчетной части первоначально были определены расчетные электрические нагрузки, которые были взяты из данных АСКУЭ и АСТУЭ. Это позволило повысить точность, по сравнению с любым из расчетных методов определения электрических нагрузок. Определив токи послеаварийного режима по нагрузкам, было произведено его сравнение с допустимыми токами существующих электрических аппаратов и токоведущих частей. Что позволит нам в дальнейшем ограничиться только выбором высоковольтных выключателей на комплектах ретрофита. Затем были проанализированы режимы работы схемы электроснабжения рудотермических печей, после чего на основе данного анализа были составлены схемы замещения для расчета токов короткого замыкания в максимальном и минимальном режимах. На их основании был произведен расчет токов короткого замыкания для всех рудотермических печей, результаты расчетов сведены в таблицы.

Воспользовавшись данными расчета токов короткого замыкания, была осуществлена проверка всего существующего электрооборудования и токоведущих частей пс №88 и пс №101. Также был произведен выбор и проверка электрических аппаратов входящих в объем ретрофита. Все выбранное, а также существующее электрооборудование прошли по условиям проверки.

В завершении расчетной части были рассчитаны защиты электропечного трансформатора рудно- термической печи согласно нормативного перечня защит, приведенного в Правилах Устройства Электроустановок. Были последовательно рассчитаны токовая отсечка, МТЗ с выдержкой времени и защита от перегрузки. Вследствие недостаточной чувствительности токовой отсечки была применена ее блокировка по напряжению.

В качестве рабочего органа РЗиА был использован микропроцессорный терминале Сириус-2МЛ производства АО «Радиус Автоматика». Было описано

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

использование газовой, дуговой и технологической защит, а также показан способ реализации автоматической частотной разгрузки (АЧР-1).

По результатам расчётов в экономической части можно сделать вывод, что модернизация электрооборудования рудо-термической печи РКЗ-5К Департамента по производству плавленного периклаза ООО «Группа» Магнезит» (ЦМП-4) экономически выгодна. Сравнивая расчётный срок окупаемости (0,4 года) с современным нормативом для энергетики чёрной металлургии (3 года) можно сделать вывод о достаточной эффективности проекта. В результате проекта модернизации уменьшатся простои электропечей из-за перерывов в электроснабжении, снизятся издержки производства, облегчатся условия труда обслуживающего персонала.

В заключительном разделе настоящего исследования, рассмотрев вредные и опасные производственные факторы на рабочем месте плавильщика в Департаменте по производству плавленного периклаза ООО «Группа Магнезит» было установлено, что наибольший вред персоналу в настоящее время наносит недостаточная освещенность. Поэтому последовательно выбрав производителя и тип энергоэффективного светодиодного промышленного светильника и далее произведя светотехнический расчет были предложены пути решения данной проблемы.

Также была рассмотрены вопросы пожарной безопасности и охраны окружающей среды.

Таким образом, цель работы достигнута, а все поставленные задачи – решены.

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Васильев В.В. Система управления рудно-термической печи с использованием гармонических составляющих тока электродов / В.В.Васильев // Записки Горного института. – 2011.– Т.192. – С.157– 160.
- 2 Исследование рынка электротехнического оборудования (сегмент вакуумной коммутационной аппаратуры) : справочное пособие / под ред. И.В. Сарычева.– М.: БизнесСтат, 2018.– 45 с.
- 3 Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М.: ЭНАС, 2009. – 456 с.
- 4 Стрелов К.К. Технология огнеупоров: учебное пособие / К.К. Стрелов, И.Д. Кащеев. – М.: Металлургия, 1988. – 450 с.
- 5 Соколов В.А., Гаспарян М.Д., Махов С.В. Проблемы и перспективы развития производства плавнелитых огнеупоров в Российской Федерации / В.А. Соколов, М.Д. Гаспарян, С.В. Махов // Новые огнеупоры. – 2017. – №3. – С.113–117.
- 6 Каталог вакуумные выключатели 6 кВ. – Севастополь: ООО «Таврида Электрик», 2020. – 42 с.
- 7 Каталог на измерительные трансформаторы. – Екатеринбург: АО «Свердловский трансформаторный завод», 2020. – 87 с.
- 8 Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. / Б.Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
- 9 Справочник по проектированию электроснабжения: Электроустановки промышленных предприятий / под ред. Ю. Г. Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
- 10 Паспорт на Распределительное устройство подстанции №88: внутренний документ – Сатка: ООО «Группа Магнезит», 2019. – 23 с.
- 11 Правила Устройства Электроустановок.– М.: Энас, 2019.– 745 с.
- 12 Регламент работы АСТУЭ : внутренний нормативный документ / под ред. С.И. Чумаченко. – Сатка: ООО «Группа Магнезит», 2017. – 42 с.
- 13 Руководство к терминалу Сириус 2МЛ: справочное пособие.– М.: АО «Радиус Автоматика», 2020. – 64 с.
- 14 Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: учебник / М.А. Шабад. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.– 150 с.
- 15 Официальный сайт АО «ГРУППА КОМПАНИЙ «ЭЛЕКТРОЩИТ»-ТМ САМАРА» <https://www.electroshield.ru/>

					13.03.02.2020.066.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		88