

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование кафедры)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция электрооборудования и электрохозяйства завода по
производству пластмассы»

Студент

Е.А. Токарева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Г. Сорокин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

« » 2017 г.

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

Подробно рассмотрены вопросы реконструкции электрооборудования и электрохозяйства завода по производству пластмассы.

Определены электрические нагрузки потребителей, произведен светотехнический расчет, выбраны магистральный и распределительные шинопроводы, выбраны автоматические выключатели на стороне низкого напряжения, осуществлен выбор цеховых трансформаторов, выбраны трансформаторы главной понизительной подстанции, выбрана схема открытого распределительного устройства, выбраны выключатели, разъединители, короткозамыкатели и трансформаторы тока и напряжения.

Для реконструкции была предложена замена масляных выключателей на элегазовые, а также замена разъединителей на более перспективные.

Выпускная квалификационная работа изложена на 53 страницах, содержит 15 таблиц и 12 рисунков.

Чертежи представлены на 6 листах формата А1.

ABSTRACT

Explicitly questions of reconstruction of an electric equipment and electrical facilities of the plant on production of plastic are considered.

Electrical loadings of customers are defined, lighting engineering calculation is made, are selected trunk and distributive buslines, are selected time cut-outs on the side of a low tension, the choice of shop transformers is realized, transformers of the principal step-down substation are selected, the diagram of the open distributing device is selected, switches, disconnectors, short circuiters and current transformers and tension are selected.

For reconstruction changeover of oily switches on gas-insulated, and also changeover of disconnectors by more perspective was offered.

Final qualification operation is explained from 53 pages, contains 15 tables and 12 figures.

Drawings of final qualification operation it is provided on 6 sheets of the A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1. Технология производства полимерных материалов.....	6
2. Расчет электрических нагрузок цеха ППУ	12
3. Определение числа и мощности цеховых трансформаторов.....	23
4. Расчет числа и мощности трансформаторов главной понижительной подстанции	27
5. Выбор выключателей отделителей разъединителей	32
6. Мероприятия по реконструкции электрооборудования и электрохозяйства.....	37
Заключение.....	49
Список использованных источников	50

Введение

Электроэнергетика России сегодня проходит очень сложный период, который характеризуется отсутствием инвестиций, вследствие чего выходит из строя электротехническое оборудование. Для решения задачи обеспечения надежности и бесперебойности электроснабжения необходимо оборудование с показателями соответствующими необходимым современным стандартам.

Замена старого оборудования позволит снизить рабочие и финансовые затраты на эксплуатацию оборудования. За счет повышения надежности убытки, являющиеся вследствие внеплановых остановок и простоев оборудования, будут снижены. Непредусмотренные остановки приводят к нарушению технологического процесса предприятия, что может привести к неприятным последствиям. Для выполнения поставленной цели необходимо тщательное изучение объекта проектирования, а именно технологического процесса электростанции, установленного оборудования. Также не мало важно знать климатическую зону, где находится станция. Несомненно, выбор электрооборудования осуществляется на основе расчета токов короткого замыкания.

Для передачи электроэнергии в необходимом объеме и с соответствующим качеством существуют системы электроснабжения промышленных предприятий состоящие из сетей напряжения до 1000 В и выше, а так же трансформаторных, распределительных и преобразовательных подстанций.

Так же в передаче электроэнергии имеют место линии электропередач, которые, в свою очередь классифицируются: по роду тока, по напряжению, по нейтрали, по виду прокладки.

1. Технология производства полимерных материалов

Завод по производству пластмассы на сегодняшний момент является основным поставщиком современных и качественных компонентов для автомобилестроения. Так же, здесь производят компоненты для авиационной, космической и электротехнической промышленности, а также хозяйственные товары.

Согласно ПУЭ цеха относятся к категории Г, их стены изготавливают из кирпича, двери деревянные, обитые жстью для повышения пожаростойкости. Производство взрывобезопасное, класс пожароопасности П-II, так как имеются в наличии твёрдые горючие вещества в виде готовой продукции из пластика и сырья.

Обычно считают, что к переработке пластмасс относятся следующие основные области:

1. Подготовка пластических материалов к переработке - модификация их путем различных химических превращений или посредством добавления веществ, изменяющих соответствующим образом их свойства.

2. Переработка полимеров - разработка и применение различных процессов расплавления, формирования и других методов, изменяющих свойства пластических материалов с целью лучшего их использования.

3. Изготовление деталей из пластмасс с учетом свойств материала и условий эксплуатации.

4. Общие технологические операции, такие, как контроль качества продукции, разработка методов испытаний, некоторые экономические вопросы, связанные с производством и сбытом готовых изделий, изучение областей возможного применения готовых изделий и другие.

За последние двадцать лет наблюдается громадный рост потребления полимерных материалов. Синтетические полимеры по своему значению приближаются к таким природным полимерам, как каучук, хлопок и шелк, которые служили человечеству в течение многих столетий и продолжают

играть существенную роль и сейчас. Кроме того, перспективы применения синтетических материалов все время расширяются. В последние годы синтетические каучуки, волокна, пластические массы и поверхностные покрытия составили значительную долю продукции химической промышленности. Производство большинства синтетических материалов является сложным технологическим процессом, который экономически целесообразен только при осуществлении его в большом масштабе. Высокая техническая сложность и значительные капиталовложения, требующие для производства пластмассы в промышленном масштабе, послужили стимулом для интенсивного развития исследовательских и проектных работ в области производства полимерных материалов. Вместе с тем до недавнего времени основные операции переработки полимеров были сравнительно простыми в техническом отношении и требовали для своего осуществления незначительных капиталовложений. В последнее десятилетие технологические процессы перерабатывающее оборудование были существенно усовершенствованы. Размеры и производительность перерабатывающих машин увеличились до таких пределов, что строительство предприятий для переработки пластических материалов потребовало значительно больших затрат. Производительность шприц- машин, применяющихся в современных установках для покрытия бумаги, составляет 400 кг/ч полимера, а стоимость их вместе с комплектующим оборудованием достигает 250 000 долларов. Некоторые литьевые машины и кalandры требуют еще больших капиталовложений, а основное количество применяющихся в настоящее время полимеров перерабатывается именно на таких машинах.

Поскольку стоимость проведения экспериментальных работ подобных установках очень высока, необходим научный подход к проектированию и изготовлению нового оборудования. Вот почему возрос интерес к применению научно обоснованных методов расчета при конструировании перерабатывающего оборудования для отраслей промышленности, связанных с

синтезом и переработкой полимерных материалов, и у машиностроителей, занятых изготовлением перерабатывающего оборудования.

Впервые выдавливание как процесс переработки термопластичных материалов было применено в 1970 г. (на плунжерном гидравлическом прессе были изготовлены стержни из нитрата целлюлозы). Червячные шприц - машины для резин.

В настоящее время шприцевание термопластичных материалов производится главным образом на червячных шприц- машинах; для этого используется преимущественно одночервячные шприц- машины.

Шприцевание применяется при изготовлении из термопластичных материалов пленки, листа, труб, профилей, для наложения покрытий на провод, бумагу или любые другие подложки. Шприц- машины применяются также для смешения и транспортировки пластмасс в процессе переработки.

Современные червячные шприц- машины должны представлять собой совершенно свободные от пульсации давления насосы. Это позволит глубже понять принцип работы и методы расчета червячных шприц- машин. Размер червячной шприц- машины определяется внутренним диаметром корпуса. Серийно выпускаются машины следующих размеров: 25; 32; 37; 52; 65; 82; 90; 115; 150 и 203 мм. Машины большего размера изготавливаются по специальному заказам. Производительность машин с диаметром червяка 25мм составляет около 2.25 кг/ч; у машин с диаметром червяка 203мм - 450 кг/ч.

Загрузочная воронка корпуса может иметь круглое и прямоугольное поперечное сечение, вертикальные и наклонные сетки. Эти стенки могут быть или тангенциальны к поверхности червяка или подрезанными снизу. Воронки последнего типа обычно применяются на машинах, предназначенных для переработки каучуков каучукоподобных материалов, которые поступают в машину в виде лент. Гранулированные и порошкообразные материалы неудобно перерабатывать в машинах с такой формой сечения загрузочной воронки, так как эти материалы склонны к заклиниванию в зазоре между

стенкой корпуса и гребнями стенки канала червяка. Длина окна загрузочной воронки обычно составляет не менее диаметра червяка.

Червяк - это основная часть шприц- машины. Червяк должен забирать непластицированный материал от бункера и равномерно подавать его в виде гомогенного расплава к головке.

Корпус образует одну из двух поверхностей, ограничивающий расплав. Кроме того, извне через поверхность корпуса к полимеру подводится тепло. Шприц- машины для переработки пластических масс лучше делать с длинными корпусами, так как они имеют большую поверхность теплопередачи и обеспечивают лучшее смешение, в результате чего достигается большая однородность расплава.

Корпус машины может обогреваться электрическим током (индукционными нагревателями или нагревателями сопротивления) или при помощи рубашек, через которые пропускается горячее масло или какой- либо другой теплоноситель.

Электрообогрев обладает рядом преимуществ по сравнению со всеми другими способами обогрева: малой инерционностью и высокими температурами обогрева, недостижимыми при масляном обогреве. Кроме того, нагреватели сопротивления могут изготавливаться различных размеров, форм и мощности. При использовании электрообогрева охлаждения корпуса может производиться воздухом (при помощи вентиляторов), водой, водяным туманом и различными испарительными системами. Применение жидкого теплоносителя позволяет осуществлять не только нагрев находящегося в корпусе материала, но также и его охлаждение. Удаление тепла приобретает особенно большое значение в том случае, если материал может перегреться вследствие чрезмерного выделения тепла в результате работы сил вязкого трения.

Многочервячные шприц- машины - это двухчервячные шприц- машины. В многочервячных машинах могут применяться как взаимозацепляющиеся, так и незацепляющиеся червяки. Если все червяки вращаются в одном и том же направлении, то все они должны иметь одинаковое направление нарезки

винтового канала. Напротив, если червяки вращаются в различных направлениях, то они должны иметь винтовые каналы с разным направлением нарезки. Шприц-машины с взаимозацепленными червяками работают подобно объемным насосам, и их производительность сравнительно мало зависит от противодействия. Так как расход энергии на шприцевание у этих машин значительно меньше, чем у одночервячных машин, то в них процесс пластикации перерабатываемого материала в большей мере, чем у одночервячных машин, зависит от тепла, сообщаемого наружными нагревателями. Незацепляющиеся червяки обычно вращаются в противоположных направлениях. Двухчервячные шприц-машины такой конструкции часто имеют вентилируемые зоны и применяются для смешения и обезвоживания смол.

При любых условиях шприцевания расплава относительное движение червяка и стенок корпуса вызывает деформацию сдвига, находящегося в канале червяка материала. Мощность, расходуемая на деформацию полимера, превращается в тепло и вызывает повышение температуры полимера. Количество выделяющегося в материале тепла увеличивается с уменьшением глубины канала или увеличением длины червяка и с повышением скорости вращения червяка.

Другими факторами, существенно влияющими на количество тепла, выделяющегося в результате механической деформации полимера, являются его реологические свойства. Высокие вязкости расплавов и малая зависимость вязкости от температуры приводит к увеличению потребляемой мощности и возрастанию количества тепла, выделяющегося в материале во время шприцевания.

Количество тепла, выделяющегося в полимере в результате механической работы, сильно зависит от величины сопротивления мундштука. Уменьшение поперечного сечения матрицы приводит к увеличению противодействия в головке, которое, вызывая уменьшение объемного расхода на оборот червяка,

подвергает находящийся в червяке расплав более продолжительному сдвигу. При этом количество выделяющегося в полимере тепла увеличивается.

Это связь между величиной сопротивления головки и количеством выделяющегося тепла позволяет понять, почему можно управлять температурой шприцуемой массы и степенью смешения, которому она подвергается при прохождении через червяк, устанавливая на выходе из червяка различные сопротивления потоку, такие, как пакеты сеток или дроссели.

Если производительность зоны питания и зоны плавления недостаточна и не обеспечивает дозирующую зону необходимым для ее полной загрузки количеством материала, дозирующая зона при достаточной высокой скорости вращения червяка будет работать с недостаточным питанием. Производительность зоны плавления в ряде случаев определяется только коэффициентом теплоотдачи от стенки корпуса. Поэтому увеличение скорости вращения не даст существенного увеличения производительности этой зоны; в то же время производительность дозирующей зоны возрастает прямо пропорционально скорости вращения червяка. Следовательно, производительность машины оказывается ограниченной возможностями зон питания и плавления. При таких условиях шприцевание, как правило, сопровождается пульсациями деления и колебаниями производительности.

Для того чтобы решить, будет ли в действительности наблюдаться подобное явление, необходим точный расчет производительности дозирующей зоны при заданных условиях работы и сопоставление ее с возможной производительностью зон питания и плавления. Этот пример показывает, что возникающие при эксплуатации и проектировании шприц- машин проблемы требуют точного количественного анализа производительности отдельных функциональных частей червяка.

2. Расчет электрических нагрузок цеха ППУ

Расчет электрических нагрузок напрямую влияет на технические и экономические показатели электрооборудования и электрохозяйства завода по производству пластмассы.

В качестве исходных данных для определения нагрузок необходимо иметь спецификацию на технологическое оборудование, установленное в цехе ППУ, в которой должны быть указаны номинальные мощности электроприемников каждого вида оборудования таблица 2.1.

Таблица 2.1 - Спецификация оборудования

Наименование приемника	$P_{НОМ}$	K_{II}	$tg\phi$	Позиция на плане	Кол-во
Литьевая машина KuASY 170/55	15	0,45	0,88	5, 6, 8, 9, 11, 16, 18	7
Литьевая машина Demag	26	0,45	0,88	23, 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 35	9
Литьевая машина Toshiba	35	0,45	0,88	40, 41, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 52	9
Вентиляторы	8	0,65	0,75	4, 7, 10, 17, 24, 27, 31, 34, 42, 45, 48, 51	12
Калориферы	5	0,68	0,48	1, 3, 19, 21, 37, 39, 53, 55	8
Кран-балки	10	0,17	1,17	2, 20, 38, 54	4
Кран-балки	5	0,17	1,17	22, 36	2

Расчет электрических нагрузок цеха ППУ производится по методу коэффициента максимума.

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} \quad (2.1)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} \quad (2.2)$$

Литьевая машина KuASY 170/55

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 15 \cdot 7 \cdot 0,45 = 47,25 \text{ кВт} \quad (2.3)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 47,25 \cdot 0,88 = 41,58 \text{ квар} \quad (2.4)$$

Литьевая машина Demag

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 26 \cdot 9 \cdot 0,45 = 105,3 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 105,3 \cdot 0,88 = 92,7 \text{ квар} \quad (2.6)$$

Литьевая машина Toshiba

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 35 \cdot 9 \cdot 0,45 = 141,75 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 141,75 \cdot 0,88 = 124,74 \text{ квар} \quad (2.8)$$

Вентиляторы

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 8 \cdot 12 \cdot 0,65 = 62,4 \text{ кВт} \quad (2.9)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 62,4 \cdot 0,75 = 46,8 \text{ квар} \quad (2.10)$$

Калориферы

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 8 \cdot 5 \cdot 0,68 = 27,2 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 27,2 \cdot 0,48 = 13,1 \text{ квар} \quad (2.12)$$

Кран-балки

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 10 \cdot 4 \cdot 0,17 = 6,8 \text{ кВт} \quad (2.13)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 6,8 \cdot 1,17 = 8 \text{ квар} \quad (2.14)$$

Кран-балки

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 5 \cdot 2 \cdot 0,17 = 1,7 \text{ кВт} \quad (2.15)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 1,7 \cdot 1,17 = 2 \text{ квар} \quad (2.16)$$

Итого общая нагрузка по цеху

$$P_{CP.MAX} = K_{II} \cdot P_{НОМ} = 10 \cdot 4 \cdot 0,17 = 6,8 \text{ кВт} \quad (2.17)$$

$$Q_{CP.MAX} = tg\phi \cdot P_{CP.MAX} = 6,8 \cdot 1,17 = 8 \text{ квар} \quad (2.18)$$

Для общего освещения нашего цеха выбираем лампы высокого давления (ДРЛ) в светильниках РСПО5/ГОЗ расположенных равномерно. Определим расположение светильников в цехе. Рабочая высота $h_p = 1,3$ м, высота подвеса $h_c = 0,5$ м, $H = 10$ м.

Найдем расчетную высоту:

$$h = H - H_p - h_c = 10 - 1,3 - 0,5 = 8,2 \text{ м} \quad (2.19)$$

Для принятого типа светильника, имеющего глубокую кривую силы света (буква Г в обозначении светильника) находим значение $\lambda_3 = L_A / h = 1$, значение λ_3 находим по таблице 10.4[6].

$$L_A = h \cdot \lambda_3 = 1 \cdot 7,2 = 8,2 \text{ м} \quad (2.20)$$

При $L_A = 8,2 \text{ м}$ в ряду можно разместить восемь светильников, а при $L_B = 6 \text{ м}$ шесть светильников. Число светильников в цехе ППУ составляет 48 шт. Расположение светильников и внешний вид осветительной сети представлен на рисунке 2.1.

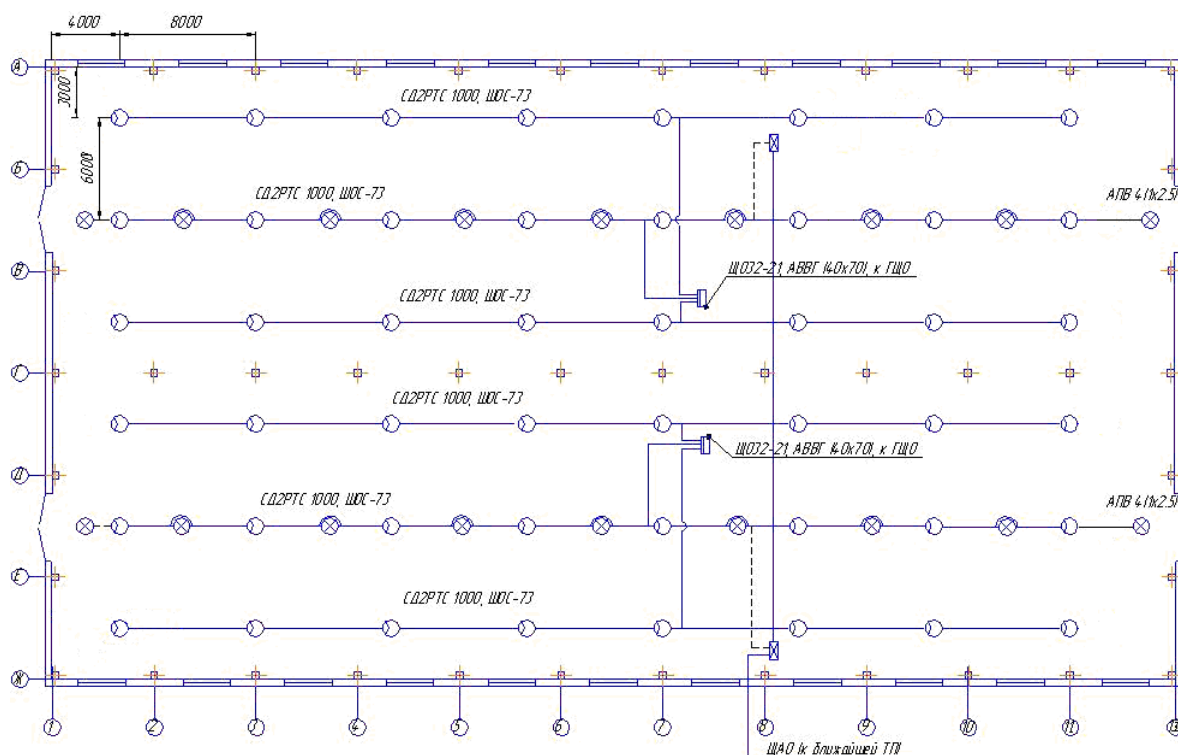


Рисунок 2.1 - Расположение компонентов осветительной сети

Суммарное действие «ближайших» светильников создает в контрольной точке условную освещенность. Действие более удаленных светильников и отраженная составляющая учитывается коэффициентом $\mu = 1,1-1,2$. Тогда для получения в этой точке освещенности $E_H = 300 \text{ лк}$, с учетом коэффициента запаса лампы $K_{зЛП} = 1,3$ Световой поток определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{1000 * E_H * K_{зап}}{\mu * \Sigma e} = \frac{1000 * 300 * 1,3}{1,2 * 12} = 29545,6 \text{ лм} \quad (2.21)$$

По таблице 2-15 [6] принимаем лампу ДРЛ с $P_H = 0,7$ кВт, $\Phi_H = 35000$ лм.

Отклонение Φ от Φ_H составляет 18,5% что допустимо т.к. по ГОСТу допускается отклонение 10 – 20%. Всего в цехе 48 светильников следовательно мощность осветительной установки:

$$P_H = 48 \cdot 0,7 = 33,6 \text{ кВт} \quad (2.22)$$

Устанавливаем три групповых щитка по одному на каждый пролет ЩО 31-21

Ток нагрузки от ШМА до ЩО:

$$I_{P.ЩО} = \frac{P_{P.O}}{\sqrt{3} * U_H * \cos \phi} = \frac{K_C * P_{уст}}{\sqrt{3} * U_H * \cos \phi} \quad (2.23)$$

Для первого и третьего пролетов:

$$I_{P.ЩО} = \frac{1,1 * 24 * 700}{\sqrt{3} * 0,22 * 0,65} = 74,6 \text{ А} \quad (2.24)$$

Для второго пролета:

$$I_{P.ЩО} = \frac{1,1 * 16 * 700}{\sqrt{3} * 0,22 * 0,65} = 49,7 \text{ А} \quad (2.25)$$

Расчетный ток от ЩО до светильников:

$$I_P = \frac{K_C * P_{уст}}{\sqrt{3} * U_H * \cos \phi} = \frac{1,1 * 5 * 700}{\sqrt{3} * 0,22 * 0,65} = 15,5 \text{ А} \quad (2.26)$$

Аварийное освещение должно создавать не менее 5% от нормы рабочего освещения, т.е. 15 лк и иметь независимый источник питания аккумуляторную батарею.

Площадь аварийного прохода:

$$S = H \cdot L = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ м}^2 \quad (2.27)$$

Для освещения принимаем светильники типа ППД – 500 лампы типа «Г».

Мощность ламп:

$$P = \frac{\omega \cdot S}{N} = \frac{4,15 \cdot 90}{3} = 124,5 \text{ кВт} \quad (2.28)$$

Где ω - удельная мощность освещения;

N - количество ламп;

S - площадь прохода.

Устанавливаем лампы накаливания мощностью 200 Вт с $\Phi_H = 2800$ лм.

В проектируемых цехах расположено оборудование средней и малой мощности напряжением до 1000 В. Использование напряжения 220 В для питания электродвигателей средней мощности экономически неоправданно ввиду больших потерь электроэнергии и большого расхода цветного металла.

Самое широкое распространение для питания электродвигателей средней и малой мощности в системах электроснабжения промышленного предприятия получило напряжение 380 В, поэтому для нашего цеха принимаем напряжение 380 / 220 В.

Цеховые сети до 1 кВ обычно выполняются по магистральной и радиальной схеме. Магистральная схема, которая представлена на рисунке 2.2, в чистом виде выполняется по так называемой схеме блок – трансформатор – магистраль.

В этом случае на трансформаторной подстанции распределительный пункт не ставится магистраль заводится непосредственно в цех и от нее ответвлениями питаются распределительные магистрали, к которым в свою очередь подключены электроприемники.

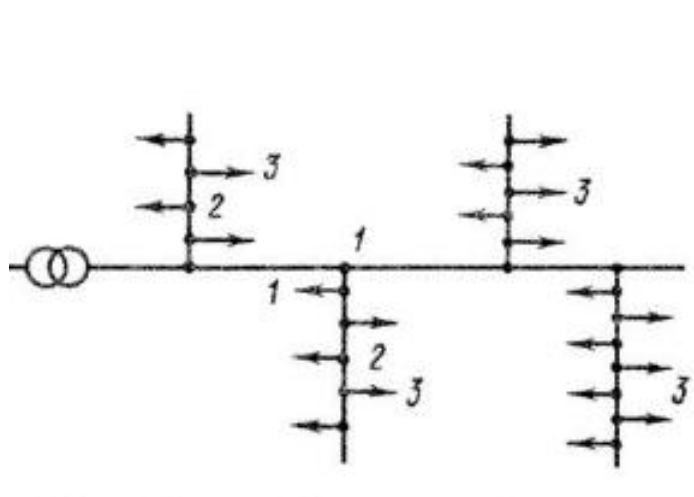


Рисунок 2.2 - Схема «блок – трансформатор – магистраль».

1- магистральный шиннопровод; 2- распределительный шиннопровод;

3 – потребители

При радиальной схеме, которая представлена на рисунке 2.3, от распределительного щита трансформаторной подстанции отходят питающие линии к главным шкафам, от которых идут вторичные линии к распределительным шкафам, а от них к отдельным ЭП.

На практике в чистом виде обе схемы выполняются редко, обычно цеховые электросеть выполняются по смешанной схеме.

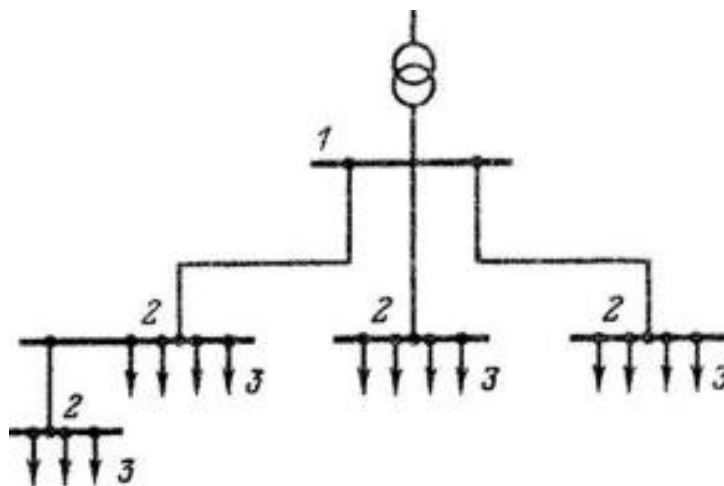


Рисунок 2.3 - Радиальная схема электроснабжения.

1 – распределительный щит подстанции; 2 – силовой распределительный щит;
3 – потребители.

В нашем случае наиболее оптимальной будет от цеховой подстанции проложить магистральный шинопровод поперек пролетов, а от него запитываем распределительные шинопроводы к которым подключаем электроприемники.

Магистральный шинопровод прокладывается выше кранов и крепят к строительным конструкциям цеха при помощи кронштейнов или подвесов.

Распределительный шинопровод прокладывается на высоте 2,5 м от уровня пола, что дает возможность подавать питание на большинство видов электроприемников сверху что удобно. Для крапления обычно используют стойки и кронштейны. Последние закрепляют на колонах или стенах цеха. ШПРА должны быть расположены в мертвой зоне кранов.

Ответвление к электроприемникам выполняются тремя проводами АПВ в стальных трубах и защищают автоматами ВА51, которые устанавливаются в начале линии (входят в комплект распределительных пунктов или шинопроводов).

Каждая схема электроснабжения отвечает следующим требованиям:

- обеспечение надежности электроснабжения электроприемника
- иметь оптимальные технико-экономические показатели на монтаж и эксплуатацию по капитальным затратам и потерям энергии
- быть удобным в эксплуатации.

Схема радиального питания имеет несколько повышенную надежность электроснабжения по сравнению с магистральной схемой, т.к. при аварии все ее потребители теряют питание.

Однако, у современных магистральных шинопроводов надежность высока. Стоимость использования магистральных сетей обычно ниже стоимости радиальных сетей, за счет использования меньшего количества устанавливаемой аппаратуры и меньшей стоимости монтажа питающей линии. В магистральных сетях по сравнению с радиальными большие ток короткого замыкания, зато, как правило, меньше потери напряжения и мощностью.

Электрические машины являются основными потребителями электроэнергии в цеху поэтому питаются от сети 380/220В и имеет четырехпроводную систему (зануление) с глухим заземлением нейтрали. Это согласно ПУЭ, что обеспечивает защитное отключение поврежденного участка сети, автоматическими выключателями при замыкании на землю;

Трансформатор также может быть опасным источником загрязнения окружающей среды, так как в настоящее время они заполнены полихлорбифельным диэлектриком (ПХБ).

В цехах предусмотрено защитное заземление и зануление. Двери КТП запираются на замок и открываются лишь обслуживающим персоналом, имеющим разрешение к обслуживанию.

Защитное отключение в электроустановках до 1000 В - автоматическое отключение фаз участка сети при замыкании на корпус.

Разделительный трансформатор предназначен для отделения сети питающей электроприёмник от первичной сети и от заземления.

Охрана труда представляет собой совокупность норм и правил, устанавливающих систему технических, санитарно-гигиенических, организационных мероприятий. Вопрос безопасности труда при эксплуатации электрооборудования приобретает особое значение.

Все мероприятия, направленные на улучшение условий труда, осуществляются инженерами, владеющими вопросами охраны труда и экономической безопасности.

В данном разделе рассматриваются технические меры по обеспечению безопасной, безаварийной и высокопроизводительной работы электроустановок. Выявлены опасные и вредные факторы и разработаны меры защиты от этих воздействий.

На присоединениях, где устанавливаются отделители и разъединители предусматривается блокировка, исключающая их ошибочное включение. На ограждениях высоковольтного оборудования ОРУ 110 кВ вывешиваются плакаты «Стойте! Высокое напряжение!» и другие. Для обнаружения замыканий на землю в сети 10 кВ применяется защита от замыканий на землю в сети с изолированной нейтралью, с действием на сигнал. Она даёт возможность быстрого отыскания оперативному дежурному персоналу, повреждённого участка сети, путём последовательного кратковременного отключения присоединённых секций 10 кВ до пропадания сигнала «Земля». Защита выполняется на реле присоединённого к трансформатору тока нулевой последовательности ТЗЛ, установленного на кабеле 10 кВ присоединения.

Шумовое загрязнение окружающей среды одно из самых неприятных видов загрязнения внешней атмосферы. Гигиенические исследования показали, что шум и вибрация оказывают ухудшения на условия труда.

При проектировании электроустановок следует выявлять совместно с технологами те особенности производства, которые смогут создавать условия взрывоопасности.

Для безошибочного выбора электрооборудования, схем и способов выполнения электрических сетей, размещения электротехнических помещений и подстанций на территории предприятия с взрывоопасными производствами необходимо заранее определить категории и группы взрывоопасных смесей, классы помещений и сред с точки зрения вероятности образования взрывоопасных смесей в процессе производства.

На чертежах электроустановок размещаемых во взрывоопасных помещениях, в обязательном порядке указывается класс взрывоопасности помещения, категория и группа взрывоопасных смесей, для которых выбрано исполнение электрооборудования и конструкции электрических сетей.

Всесторонний анализ экологической обстановке в нашей стране показывает что нагрузка на окружающую среду превышает уровень при котором эта система еще сохраняет способность к самовосстановлению. Особенно сильно усугублена данная ситуация в крупных промышленных районах, в частности в Самарской области.

В машиностроении высокими темпами идет освоение новых видов продукции. Это приводит к тому, что с внедрением новых технологий появляются и новые специфические загрязнители.

В настоящее время концентрация крупных отраслей промышленности и транспорта, отсталая технология и физический износ оборудования инженерных сетей и транспорта создают реальные предпосылки неблагоприятной экологической ситуации в отдельных районах города.

Острейшими проблемами экологической ситуации в городе являются:

-высокое загрязнение воздуха,

-значительное содержание загрязнителей в стоках, сбрасываемых в поверхностные водоемы,

-проблема утилизации, обезвреживания и захоронения промышленных и бытовых отходов и загрязнения земель,

-состояние растительного мира.

Пыль образуется при дроблении, размалывания, просеивании и т. д. Промышленные пыли подразделяются на ядовитые и неядовитые.

Контроль должен осуществляться постоянно, в сроки установленные санитарной инспекцией. Весовым методом определяют массу пыли в единице объема воздуха. Концентрацию газов определяют химическими, диффузионными и электрическими методами.

Защита человека осуществляется следующими мероприятиями:

1. автоматизация и механизация процессов.
2. совершенствование технологических процессов,
3. совершенствование конструкций оборудования.

В качестве индивидуальных средств защиты применяются дополнительные средства: спецодежда. Для защиты от щелочей и кислот применяют защитные перчатки и обувь. Глаза защищают специальными очками с масками и шлемами. Дыхательные органы защищают противогазами и респираторами.

Систематическое воздействие ЭМП может вызвать нарушение работоспособности, ослабление памяти и внимания, повышению риска сердечно-сосудистых заболеваний. Главный способ борьбы с ЭМП – установка защитных экранов, поглощающих ЭМИ.

Шум оказывает на человека отрицательное физиологическое действие, не только на слуховой аппарат, но и на нервную систему, возникают различные профессиональные заболевания. Шум может явиться причиной травматизма, снижается производительность труда. Шумы классифицируют по спектру – широкополосные не более 1-й октавы, тональные – в спектре которых слышимы дискретные тона. Шумы делят на постоянные и непостоянные, а также колеблющиеся во времени, прерывистые, импульсные. Характеристикой

постоянного шума на рабочих местах является уровень звукового давления, контролируемый на определенных частотах.

Для защиты от шума применяются:

1. Подавление шума в источниках при проектировании машин;
2. Предупреждение распространения шума – изоляция источника шума;
3. Строительные и организационные меры.

Внутренние протившумы – заглушки, вставляемые в слуховой канал.

Наружные протившумы, выполняемые из губчатой резины

Механические колебания могут передаваться не только по воздуху, но и через конструкции и почву. Под действием вибрации происходят изменения в нервной и костно-суставной системах, может вызываться виброболезнь.

Индивидуальные средства защиты. Техническими мерами не всегда удается снизить уровень шума или вибрации. В этих случаях применяют индивидуальные средства защиты.

Для защиты от локальных вибраций рекомендуется обувь на виброгасящей подошве, антивибрационные рукавицы.

3. Определение числа и мощности цеховых трансформаторов

Для питания потребителей с преобладанием второй категории необходимо устанавливать один трансформатор на цеховой комплектной подстанции.

Суммарная нагрузка силовой и осветительной сети цеха ППУ:

$$P_{CP.MAX} = 426 \text{ кВт}, Q_{CP.MAX} = 376,22 \text{ квар}$$

Выбор мощности трансформатора осуществляется по формуле:

$$S_{НОМ.Т} \geq \frac{P_{CP.M}}{K_3 \cdot N_{ОПТ}} = \frac{426}{0,9 \cdot 1} = 473,3 \text{ кВА} \quad (3.1)$$

Здесь $N_{ОПТ}$ - число трансформаторов в зависимости от категории потребителя, K_3 это рекомендуемый коэффициент загрузки трансформатора, который для цехов преобладающей нагрузкой второй категории и наличии централизованного складского резерва трансформаторов принимается равным 0,9.

Из стандартного ряда мощностей трансформатора принимаем к установке масляный трансформатор типа ТМ-630/10.

Наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через трансформатор в сеть с напряжением до 1кВ определяем по формуле

$$Q_{MAX.T} = \sqrt{N_{ОПТ} * K_3 * S_{НОМ.Т}^2 - P_{CP.M}^2} = \sqrt{1 \cdot 0,9 \cdot 630^2 - 426^2} = 374,2 \text{ квар} \quad (3.2)$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей на напряжение до 1 кВ составит:

$$Q_{НК1} = Q_{CP.M} - Q_{MAX.T} = 376,22 - 374,2 = 2 \text{ квар} \quad (3.3)$$

Выбираем мощность конденсаторных батарей для снижения потерь мощности в трансформаторах. Дополнительная мощность $Q_{НК2}$ НБК для трансформатора определяется по формуле:

$$Q_{НК2} = Q_{CP.M} - Q_{НК1} - \gamma * N_{ОПТ} * S_{НОМ.Т} = 376,22 - 2 - 0,72 \cdot 1 \cdot 630 = -79,8 \text{ квар} \quad (3.4)$$

Общая мощность конденсаторных низковольтных батарей:

$$Q_{НК} = Q_{НК1} + Q_{НК2} = 2 + 0 = 2 \text{ квар} \quad (3.5)$$

Принимаем к установке одну конденсаторную батарею типа УКМ 58-0,4-216УЗ.

Определим действительный коэффициент загрузки цехового трансформатора с учетом мощности компенсирующих устройств:

$$S_P = \sqrt{P_{CP.M}^2 + Q_{CP.M}^2} = \sqrt{426^2 + 376,22^2} = 568,4 \text{ кВА} \quad (3.6)$$

$$K_3 \geq \frac{S_{CP.M}}{S_{НОМ.Т} \cdot N_{ОПТ}} = \frac{568,4}{630 \cdot 1} = 0,9 \quad (3.7)$$

Окончательно принимаем к установке масляный трансформатор типа ТМ-630/10, с устройством компенсации реактивной мощности УКМ 58-0,4-216УЗ.

При выборе места размещения КТП руководствуемся месторасположением центра электрических нагрузок, координаты которого находятся по формулам:

$$X_S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * X_i}{\sum_{i=1}^n S} \quad (3.8)$$

$$Y_S = \frac{\sum_{i=1}^n S_i * Y_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (3.9)$$

Распределительную сеть рассчитываем следующим образом - сечение проводов выбираем по нагреву расчетным током:

$$I_P \leq I_{дл.доп} \quad (3.10)$$

где $I_{дл.доп}$ - длительно допустимый ток провода определяем по таблице 1.3.5 [1] его величина зависит от материала, способа изоляции, условия прокладки и других факторов.

Число часов использования максимума нагрузок для цеховых распределительных сетей – обычно невелико (<4000 – 5000ч), что согласно [1] освобождает от необходимости их проверки по экономической плотности тока.

Выбранное сечение провода должно соответствовать параметрам защитной аппаратуры на данном участке сети.

Для примера выберем сечение провода к ЭП №1 (калорифер) с $P_{НОМ} = 5$ кВт, $\cos\phi = 0,9$ длина провода от ШРА 4 до ЭП 14 метра.

Расчетный ток в проводе к ЭП №1 составит

$$I_P = \frac{P_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\phi} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 8,5 \text{ А} \quad (3.11)$$

По полученному току выбираем сечение 3-х жильного провода АПВ питающего ЭП №1 по таблице 1.3.5 [1], $S_P = 2 \text{ мм}^2$, с $I_{ДЛ.ДОП} = 19 \text{ А}$.

По нагреву длительным расчетным током:

$$I_P \leq I_{ДЛ.ДОП} \Rightarrow 8,5 < 19 \quad (3.12)$$

Выбираем автоматический выключатель: с

$$I_{НОМ.РАСЦ} = 16 \text{ А} \quad (3.13)$$

$$I_{V.T.P} = 1,25 \cdot I_{НОМ.РАСЦ} = 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ А} \quad (3.14)$$

$$I_{V.Э.P} = 10 \cdot I_{НОМ.РАСЦ} = 10 \cdot 16 = 160 \text{ А} \quad (3.15)$$

По условию соответствия жил провода выбранному защитному устройству:

$$I_{V.T.P} \geq I_P \cdot K_3 \Rightarrow 20 \geq 8,5 \cdot 1,25 = 10,6 \quad (3.16)$$

Номинальный ток расцепления автоматического выключателя, должен быть не менее наибольшего расчетного тока нагрузки длительно протекающему по защитному элементу:

$$I_{НОМ.РАСЦ} \geq I_P \Rightarrow 16 > 8,5 \quad (3.17)$$

Так как условие выполняется, поэтому принимаем провод АПВ с $S_P = 2 \text{ мм}^2$, с $I_{ДЛ.ДОП} = 19 \text{ А}$.

Комплектные шинопроводы типа ШМА для главных магистралей выбирают по расчетному току силового трансформатора:

$$I_P = \frac{S_{НОМ.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 953,4 \text{ А} \quad (3.18)$$

Принимаем к установке комплектный шинопровод ШМА – 73У3 с $I_{НОМ} = 1600 \text{ А}$ [2,4].

Расчетные токи ШРА3, ШРА6, ШРА4 не превышают значения 250 А поэтому принимаем к установке комплектные распределительные шинопроводы типа ШРА 73УЗ, $I_{НОМ} = 250$ А.

Для ШРА5 принимаем к установке типа ШРА 73УЗ, $I_{НОМ} = 400$ А.

Для ШРА1 и ШРА2 принимаем к установке двойные комплектные распределительные шинопроводы типа ШРА 73УЗ, $I_{НОМ} = 500$ А [2,4].

4. Выбор числа и мощности трансформаторов остальных цехов и ГПП

Алгоритм выбора числа и мощности трансформаторов остальных цехов с учетом мощности компенсирующих устройств сводим в таблицу:

Таблица 4.1 - Расчет потребляемой мощности

№ цеха	$P_{ND.MAX}$ кВт	$Q_{CP.MAX}$ квар	$S_{III.T}$ кВА	$Q_{\acute{E}O}$ квар	P_D кВт	Q_D кВт
1	951	616	1600	-	960,2	658,9
2	335	306	630	-	340,6	326,7
3	2732	2514	2*1600	1200	2771,1	1413,1
4	364	380	630	0	371,1	401,3
5	951	616	1600	-	960,2	658,9
6	2665	2443	2665	1000	2704,1	1542,1
7	2732	2514	2*1600	1200	2771,1	1413,1
8	1894,5	1545,4	2*1000	1414	1921,2	197,3
9	1668	1339	2*1000	500	1693,8	904,5
10	335	306	630	-	340,6	326,7
11	364	380	630	-	371,1	401,3
12	298	286,6	630	-	303	307
Итого по предприятию					15508,1	8550,9

Одной из основных задач, возникающих при проектировании или реконструкции системы электроснабжения промышленного предприятия, является задача определения числа, мощности трансформаторов главной понизительной подстанции. Место размещения определяют согласно центру электрических нагрузок и сдвигают на свободную территорию с учетом розы ветров в сторону внешнего источника питания.

Практически всегда на главной понизительной подстанции устанавливают два трансформатора. Установка одного трансформатора на главной

понижительной подстанции допускается только при наличии централизованного резерва. Установка более двух трансформаторов требует обоснования или, если на предприятие необходимо выделить разнопеременные нагрузки.

Поэтому на основании изложенного выше принимаем к установке два трансформатора, мощность которых выбираем на основании расчетной нагрузки.

Оптимальная реактивная мощность:

$$Q_{\Sigma 1} = \alpha \cdot P_p = 0,28 \cdot 15508,1 = 4342,3 \text{ квар}, \quad (4.1)$$

где $\alpha = 0,28$, согласно [4].

Полная расчетная мощность:

$$S_{P\Sigma} = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma 1}^2} = \sqrt{15508,1^2 + 4342,3^2} = 16104,6 \text{ кВА} \quad (4.2)$$

Номинальная мощность трансформатора:

$$S_{НОМ.Т} > \frac{S_{P\Sigma}}{N * K_3} = \frac{16104,6}{1 \cdot 0,7} = 11503,4 \text{ кВА} \quad (4.3)$$

Окончательно принимаем 2-х трансформаторную главную понизительную подстанцию, с трансформаторами типа ТДН-16000/110/10 паспортные данные $U_{ВН} = 115 \text{ кВ}$, $U_{НН} = 10,5 \text{ кВ}$, $P_{XX} = 26 \text{ кВт}$, $P_{КЗ} = 85 \text{ кВт}$, $U_K = 10,5 \%$, $I_{XX} = 0,85 \%$

Действительный коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{P\Sigma}}{N * S_H} = \frac{16104,6}{2 * 16000} = 0,54 \quad (4.4)$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q_T = 2 * \frac{S_{НОМ.Т}}{100} * U_R * \beta^2 + I_{X.X} = 2 * \frac{16000}{100} * 10,5 * 0,53^2 + 0,85 = 1215,8 \quad (4.5)$$

Проверим трансформатор по допустимой перегрузке:

$$1,4 * S_{НОМ.Т} \geq S_{P.Т} \Rightarrow 22400 \geq 16104,6 \quad (4.6)$$

Условие выполняется.

Наибольшая суммарная реактивная нагрузка предприятия Q_{M1} , принимаемая для определения мощности компенсирующих устройств, равна

$$Q_{M1} = \kappa_{HC} \cdot Q_P \quad (4.7)$$

где κ_{HC} - коэффициент, учитывающий несовпадение по времени наибольших активной нагрузки энергосистемы и реактивной нагрузки промышленного предприятия. Значение коэффициента несовпадения для тяжелой промышленности принимается равным 0,9.

По входной реактивной мощности $Q_{Э1}$ определяют суммарную мощность компенсирующих устройств, а по значению $Q_{Э2}$ - регулируемую часть компенсирующих устройств. Суммарную мощность компенсирующей установки определяют по балансу реактивной мощности на границе электрического раздела предприятия и энергосистемы в период наибольшей активной нагрузки энергосистемы

$$Q_K = Q_{M1} - Q_{Э1} \quad (4.8)$$

Согласно выше изложенного получаем:

$$Q_{M1} = \kappa_{HC} \cdot Q_P = 0,9 \cdot 8550,9 = 7695,8 \text{ квар} \quad (4.9)$$

$$Q_K = Q_{M1} - Q_{Э1} = 7695,8 - 4342,3 = 3353,5 \text{ квар} \quad (4.10)$$

Устанавливаем две высоковольтные конденсаторные установки типа: УКЛ - 10,5 - 1800 УЗ общей мощностью 3600 квар.

Внутризаводское распределение электроэнергии выполняем по смешанной схеме кабелем из сшитого полиэтилена, прокладываемого в земле.

За стандартное термически стойкое сечение принимается ближайшее меньшее стандартное сечение. Это обусловлено ошибкой в сторону завышения заложенной в метод расчета. Принимаем $S_T = 70 \text{ мм}^2$.

Наиболее простой и экономичной является схема подстанции без сборных шин на стороне высокого напряжения, основанная на блочном принципе.

Распределительное устройство 110 кВ принимаем открытого исполнения, так как условия окружающей среды не имеет препятствий к этому.

Распределительное устройство 10 кВ принимаем закрытого типа с одной секционированной системой шин. Комплектное распределительное устройство, рисунок 4.1, принимаем типа К-104М.



Рисунок 4.1 - Шкаф КРУ серии К-104М

- 1 –скоба под ТТ; 2 –верхняя перегородка; 3-заземлитель;
 4-трансформатор тока; 5-проходные изоляторы; 6 –отсек выкатного элемента;
 7 –средняя перегородка; 8 –отсек линейных шин и кабельных присоединений;
 9 –стенка отсека линейных шин; 10 –путевые выключатели;
 11 –горизонтальная перегородка; 12 –стенка отсека сборных шин;
 13 –отсек сборных шин; 14 –нижняя перегородка;
 15 –фиксатор положения выкатного элемента; 16 –релейный шкаф;
 17 –выкатной элемент с выключателем;
 18 – клапан отсека линейных шин; 19 –клапан отсека выкатного элемента; 20 –
 сборные шины; 21 –межъячеечные шины; 22 –линейные шины;
 23 –шины для кабельных подсоединений

Схема коммутации электроэнергии на высшем напряжении представлена на рисунке 4.1.

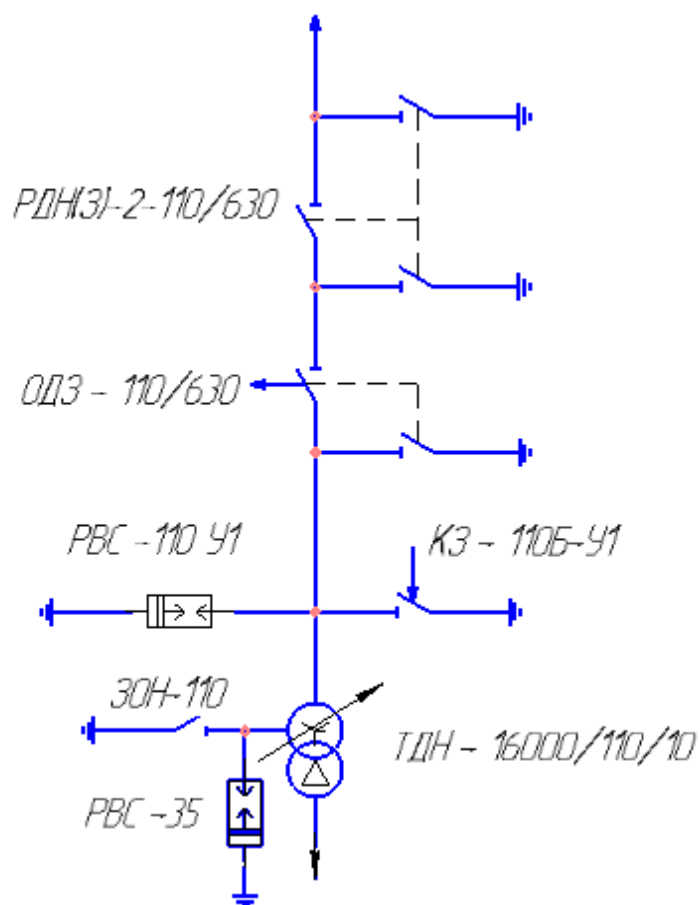


Рисунок 4.2 – Схема коммутации на отделителях и короткозамыкателях

Комплектные распределительные устройства серии К-104М предназначены для работы в электрических установках частоты 50 Гц.

5. Выбор выключателей отделителей разъединителей

Выбранные аппараты проверяем на электродинамическую стойкость к току короткого замыкания:

$$i_{НОМ.ДИН} = i_y \quad (5.1)$$

где i_y – расчетный ударный ток короткого замыкания.

Проверка на термическую стойкость к току короткого замыкания:

$$I_{НОМ.Т.С} \geq I_{П} * \sqrt{\frac{t_{П}}{t_{Т.С}}} \quad (5.2)$$

где $t_{П}$ – приведенное время тока короткого замыкания;

$$t_{П} = t_{П.П} + t_{П.А} \quad (5.3)$$

$t_{П.А} = 0,05$ с, $t_{П.П}$ – определяем по графику [11];

Проверяем трансформаторы тока и напряжения на электродинамическую и термическую стойкость к токам короткого замыкания по аналогии. Выбор коммутирующей аппаратуры и ее проверка, на действие токов короткого замыкания, сводим в таблицы 5.1 – 5.12.

Таблица 5.1 - Разъединители на 110 кВ

Параметры разъединителя типа РГ -110/630	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 110$ кВ	$U_{УСТ} = 110$ кВ
$I_{НОМ} = 630$ А	$I_P = 77,3$ А
$i_{НОМ,ДИН} = 100$ кА	$i_y = 8,2$ кА
$I_{НОМ.Т.С} = 40$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 3,4$ кА

Таблица 5.2 - Отделители на 110 кВ

Параметры отделителя типа ОДЗ-110/630	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 110$ кВ	$U_{УСТ} = 110$ кВ
$I_{НОМ} = 630$ А	$I_P = 77,3$ А
$i_{НОМ,ДИН} = 80$ кА	$i_y = 8,2$ кА
$I_{НОМ.Т.С} = 22$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 3,4$ кА

Таблица 5.3 - Короткозамыкатели на 110 кВ

Параметры короткозамыкателя типа КЗ-110	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 110$ кВ	$U_{УСТ} = 110$ кВ
$i_{НОМ,ДИН} = 32$ кА	$i_y = 8,2$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 12,5$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 3,4$ кА

Таблица 5.4 - Трансформаторы тока 110 кВ

Параметры трансформатора тока типа ТФЗМ-110	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 110$ кВ	$U_{УСТ} = 110$ кВ
$I_{НОМ} = 100$ А	$I_P = 77,3$ А
$i_{НОМ,ДИН} = 20$ кА	$i_y = 8,2$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 4$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 3,4$ кА
$S_{2НОМ}$ ВА	$S_{2P} = 30$ ВА

Таблица 5.5 - Вводные выключатели на 10 кВ

Параметры выключателя типа LF-10-1000-20УЗ	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 1000$ А	$I_P = 754$ А
$I_{НОМ.ОТК} = 20$ кА	$I_{П.С} = 7,1$ кА
$i_{НОМ,ДИН} = 52$ кА	$i_y = 15,8$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 20$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА

Таблица 5.6 - Выключатели отходящих линий на 10 кВ

Параметры выключателя типа LF-10-630-20УЗ	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 630$ А	$I_P = 309,5$ А
$I_{НОМ.ОТК} = 20$ кА	$I_{П.С} = 7,1$ кА
$i_{НОМ,ДИН} = 52$ кА	$i_y = 15,8$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 31,5$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА

Таблица 5.7 - Секционные выключатели на 10 кВ

Параметры выключателя типа LF-10-1000-20УЗ	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 1000$ А	$I_P = 754$ А
$I_{НОМ.ОТК} = 20$ кА	$I_{П.С} = 7,1$ кА
$i_{НОМ,ДИН} = 52$ кА	$i_y = 15,8$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 20$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА

Таблица 5.8 - Приборы каждой цепи трансформатора

Прибор	Тип	Потребляемая мощность обмотки, В*А		Класс точности
		тока	напряжения	
Амперметр	Э537	0,1	-	0,2
Ваттметр	Д5061	0,1	0,5	0,1
Счетчик энергии	230 ART-03 CN	0,5	1,0	0,5

Таблица 5.9 - Трансформаторы тока на 10 кВ

Параметры трансформатора тока типа ТЛМ-10	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 1000$ А	$I_P = 754$ А
$i_{НОМ,ДИН} = 100$ кА	$i_y = 15,8$ кА
$I_{НОМ.ОТК} = 26$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА
$S_{2НОМ} = 10$ В*А	$S_{2P} = 6$ В*А

Таблица 5.10 – Приборы на отходящих линиях

Прибор	Тип	Потребляемая мощность обмотки, В*А		Класс точности
		тока	напряжения	
Амперметр	Э537	0,1	-	0,2
Счетчик энергии	230 ART-03 CN	0,5	1,0	0,5

Таблица 5.11 - Трансформаторы тока на отходящих линиях

Параметры трансформатора тока типа ТЛМ-10	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 300$ А	$I_P = 277,1$ А
$i_{НОМ,ДИН} = 100$ кА	$i_Y = 15,8$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 18,4$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА
$S_{2НОМ} = 10$ В*А	$S_{2P} = 5,5$ В*А

Таблица 5.12 - Разъединители на отходящих линиях на 10 кВ

Параметры разъединителя типа РВЗ-10/400	Расчетные данные
$U_{НОМ} = 10$ кВ	$U_{УСТ} = 10$ кВ
$I_{НОМ} = 400$ А	$I_P = 88$ А
$I_{НОМ,ДИН} = 41$ кА	$i_Y = 30,1$ кА
$I_{НОМ.ТС} = 16$ кА	$I_{П.С} \cdot \sqrt{t_{П} / t_{Т.С}} = 14,7$ кА

Проверка однополосных шин сводится к расчету силы и напряжения в металле шин. Наибольшая расчетная сила действует на шину средней фазы при трехфазном коротком замыкании:

$$F_p = 1,76 * i_Y * \frac{l}{a} * 10^{-7} = 1,76 * 30100^2 * \frac{1,5}{0,22} * 10^{-7} = 1087 \text{ Н} \quad (5.6)$$

l – длина пролета, м;

a – расстояние между осями фаз, м;

i_Y – ударный ток короткого замыкания, А.

Максимальное расчетное механическое напряжение в металле шин:

$$\delta_{доп} = \frac{F_p * L}{10 * W} = \frac{1087 * 1,5}{10 * 0,17 * 0,12^2 * 0,008} = 8,3 \text{ Па} \quad (5.7)$$

где

$$W = 0,17 * h * b^2 \quad (5.8)$$

момент сопротивления для однополосных шин, расположенных плашмя, м³.

Полученное сечение должно удовлетворить условию электродинамической стойкости шин:

$$\delta_p \leq \delta_{доп} \Rightarrow 41 > 8,3 \quad (5.9)$$

Выбираем материал шин алюминиевый сплав АДО, $\delta_{доп} = 41 \text{ Мпа}$.

Жесткие шины крепятся на опорных и проходных изоляторах, которые проверяются на разрушающее действие тока КЗ по условию:

$$F_p \leq F_{доп} = 0,6 * F_{раз} \quad (5.10)$$

где $F_{раз}$ – разрушающая нагрузка на изгиб Н;

0,6 – коэффициент запаса.

Выбираем опорный изолятор типа ИО-10-УЗ, $F_{раз} = 2000 \text{ Н}$.

$$754 < 0,6 * 2000 = 1200 \quad (5.11)$$

Условие выполняется.

Выбор проходных изоляторов аналогичен, и отличается только тем, что расчетное усилие уменьшается в два раза:

$$\frac{754}{2} < 0,6 * 750 \Rightarrow 377 < 450 \quad (5.12)$$

Выбираем проходной изолятор типа ИП-10/100-750УЗ.

6. Модернизация электрохозяйства завода по производству пластмассы

Реконструкция электрооборудования и электрохозяйства завода по производству пластмассы предусматривает замену разъединителей на более технологичные и высоковольтных масляных выключателей на элегазовые колонковые выключатели. Установленные в настоящее время масляные выключатели морально и физически устарели. Предусмотренный нормативный срок эксплуатации (25 лет) превышен почти в два раза.

В ходе работы электрического оборудования имеет место его изнашивание со временем и потеря первоначальных качеств и параметров. Состояние технического объекта оценивается по моральному и физическому износу.

Высоковольтный выключатель значителен одним из ключевых электроагрегов в электроустановках, он предназначен для коммутаций в электрической цепи в любом режиме. По способу гашения дуги воздушные выключатели относятся к дугогасящим устройствам газового дутья, в которых дуга гасится в струе сжатого воздуха, поступающего от компрессорных установок.

Анализ статистических данных показывает, что на долю масляных выключателей приходится до 60 % всех повреждений электрооборудования РУ, причем при повышении напряжения их повреждаемость растет.

Повреждаемость баковых выключателей 35 кВ довольно высока. Около 70 % случаев повреждений связано с непогашением дуги, перекрытиями внутрибаковой изоляции, повреждением вводов. Остальные повреждения связаны с нарушением контактной системы, поломками изоляционных частей и деталей механизма управления выключателем.

Отказы дугогасящих устройств связаны с дефектами дугогасительной камеры или с малой скоростью расхождения контактов из-за ослабления пружин, загустения смазки, заедания передаточных механизмов, повышенной вязкости масла при низких температурах.

Повреждения вводов «вязаны с ударными механическими нагрузками-при включении, с увлажнением изоляций, с дефектами изготовления и ремонта вводов. Средний срок службы вводов — около 10 лет. За этот период отбраковывают или заменяют 10 % вводов. Чтобы предупредить повреждение ввода, нужно обеспечить герметичность внутренней полости надлежащее качество в отношении ее морозостойкости.

Повреждения контактной системы выключателей 35 кВ объясняются следующими причинами: дефектами изготовления и ремонта контактной системы, разрегулировкой привода выключателя и соединительных тяг, повреждениями в механической системе управления и недовключениями выключателей.

У выключателей ВМГ-10, ВМП-10 повреждения вызываются перекрытием опорных изоляторов и изоляционных цилиндров при увлажнении, перекрытием, между фазами и на землю при отключении токов к. з. Значительные повреждения имеют контактные и дугогасительные устройства, которые работают в тяжелых, условиях

Модернизация коммутационного оборудования посредством установки элегазовых выключателей более технологичных и актуальных по сравнению с другими типами выключателей позволит повысить надежность электрохозяйства в целом. Тем более не нужно ни расширения подстанции, ни перемещения другого коммутационного оборудования.

До модернизации в распределительном устройстве установлены масляные выключатели, которые предназначены для работы в цепях переменного тока высокого напряжения. В них для изолирования токоведущих частей друг от друга и устройств для гашения электрической дуги применяются достаточно разнообразные твердые изоляционные материалы. В этом случае масло служит только для выделения газа. Устройство для гашения электрической дуги выполнено с поперечным дутьем и располагается в отдельной камере.

В ходе реализации плана по модернизации было принято заменить старые выключатели на элегазовые выключатели, рисунок 6.1, компании ЗАО «Шнейдер Электрик». Данный выключатель является достаточно надежным и имеет хороший эксплуатационный ресурс.

Можно сделать вывод что, замена масляных выключателей на элегазовые определяется большим количеством недостатков и не перспективностью использования.

Выключатель состоит из трех полюсов, расположенных в герметичном, заполненном элегазом (SF₆ - шестифтористая сера) корпусе с избыточным давлением 0,15МПа (1,5кгс/см²). Элегаз служит изолирующей и дугогасящей средой. Корпус выключателя изготовлен из качественных электротехнических смол обладающих высокой диэлектрической и механической прочностью. В зависимости от типов исполнения выключатель поставляется в стационарном исполнении и на выкатной тележке.

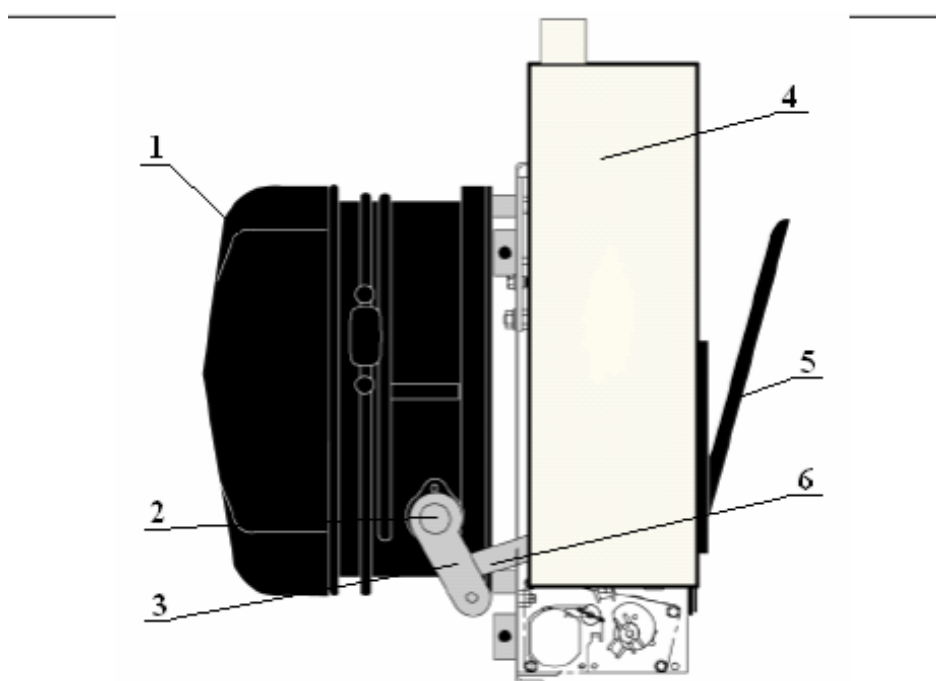


Рисунок 6.1 - Выключателя серии LF стационарное исполнение.

1 – корпус выключателя; 2 – вал механизма ломающихся рычагов;
3 – тяга; 4 – съемная панель привода; 5 – рукоятка ручного взвода пружины; 6 – тяга соединяющая вал привода с синхронизирующим валом.

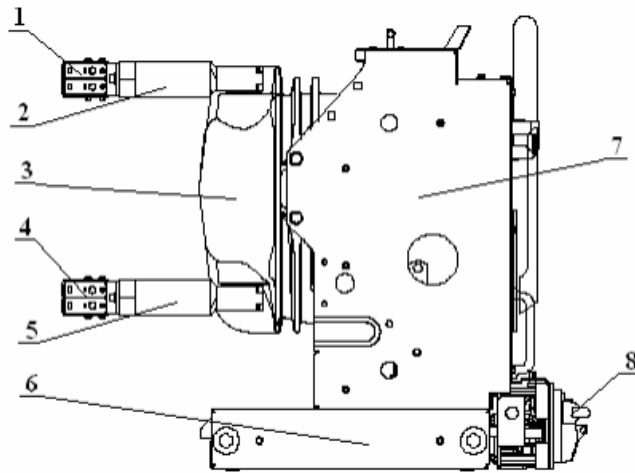


Рисунок 6.2 - Выключатель серии LF на выкатной тележке.

1 – верхние втычные контакты; 2 – переходные шины верхних втычных контактов; 3 – корпус выключателя; 4 – нижние втычные контакты;
 5 - переходные шины нижних втычных контактов; 6 – выкатная тележка;
 7 – стойка выкатного элемента; 8 – селектор управления выкатным элементом.

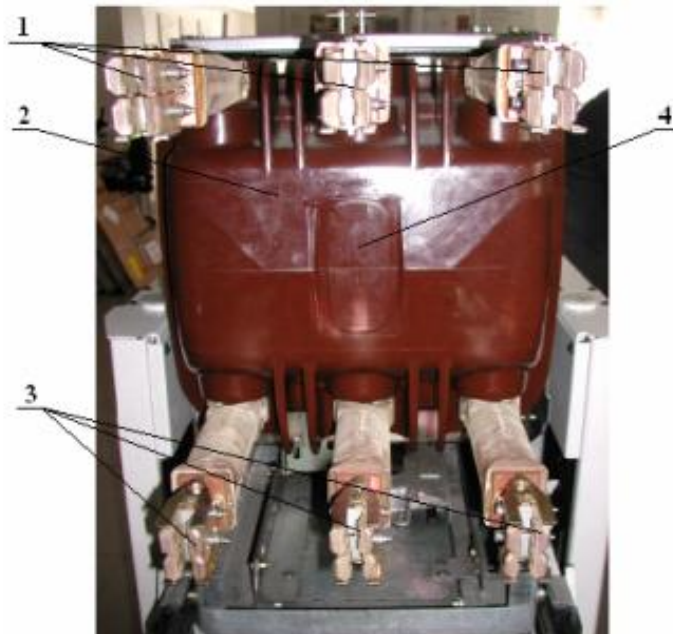


Рисунок 6.3 - Выключатель серии LF на выкатной тележке
 (вид со стороны втычных контактов).

1 – верхние втычные контакты; 2 – корпус выключателя;
 3 – нижние втычные контакты; 4 – клапан аварийного сброса давления
 (вид с лицевой стороны).



Рисунок 6.4 - Фото выключателя серии LF на выкатной тележке.

- 1 – кнопка включения (местного управления); 2 – кнопка отключения;
 3 – указатель положения выключателя;
 4 – ручка для вкатывания и выкатывания выкатного элемента (ВЭ);
 5 – место установки встроенного замка блокировки выключателя в положении «О»; 6 – отверстие для съемной рукоятки управления ВЭ; 7 – указатель положения ВЭ; 8 – рукоятка для завода пружины; 9 –разъем цепей управления и контроля; 10 – счетчик числа отключений выключателя; 11 – указатель состояния пружин привода(взведена, разряжена); 12 – табличка выключателя; 13 – селектор управления ВЭ (вкат, выкат); 14 – кнопка аварийного отключения (снятие блокировки).

Основные этапы гашения дуги приведены на рисунке 6.5. Во включенном положении выключателя (а) замкнуты главные (рабочие) контакты (поз. 2, 3, 4) и дугогасительные контакты (поз.8, 11). Ток протекает через главные контакты.

В дугогасительной камере (поз.10) давление элегаза постоянно и равно номинальному давлению заполнения. При подаче команды на отключение (б) внешний привод обеспечивает перемещение подвижной системы выключателя

- подвижного главного контакта (поз.3) и подвижного дугогасительного контакта (поз.11), которые жестко связаны между собой через систему ломающихся рычагов (поз.13) и тягу (поз.14) с силовым приводным механизмом. В начале размыкаются главные контакты (поз.2, 3), при этом ток проходит через дугогасительные контакты, а затем дугогасительные контакты (поз.8, 11).

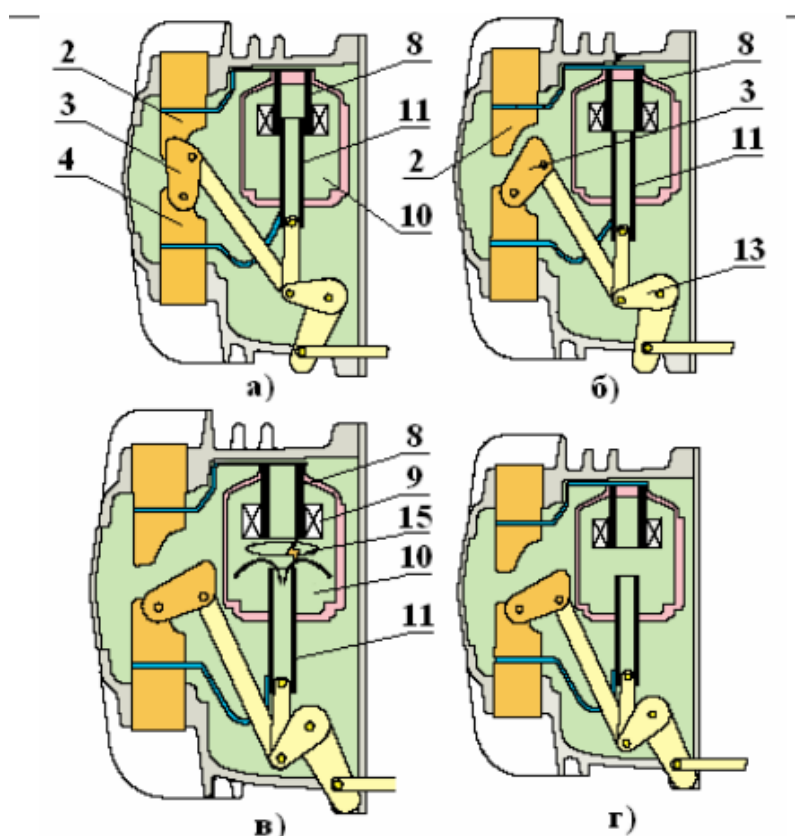


Рисунок 6.5 - Основные этапы гашения дуги.

При расхождении дугогасительных контактов (в) возникает дуга (поз. 15) между неподвижным и подвижным дугогасительными контактами (поз. 8, 11), что приводит к резкому увеличению температуры газовой среды и росту давления в дугогасительной камере (поз. 10). В свою очередь взаимодействие дуги с магнитным полем катушки (поз.9) вызывает интенсивное вращательное движение дуги по дугогасительным контактам и повышение уровня взаимодействия дуги с элегазом, что вызывает интенсивную турбулизацию и нагрева газа в дугогасительной камере. В итоге продукты горения дуги выдуваются в полость цилиндрического подвижного дугогасительного

контакта (поз. 11), а межконтактное расстояние заполняется элегазом с более низкой температурой и более высокой диэлектрической прочностью.

При переходе тока через ноль, когда в области ноля тока, благодаря активной деионизации межконтактного промежутка и увеличению электрической прочности изоляции среды происходит гашение дуги с восстановлением напряжения на разомкнутых контактах дугогасительного устройства. Процесс гашения дуги завершен, выключатель отключен - (рис. г).

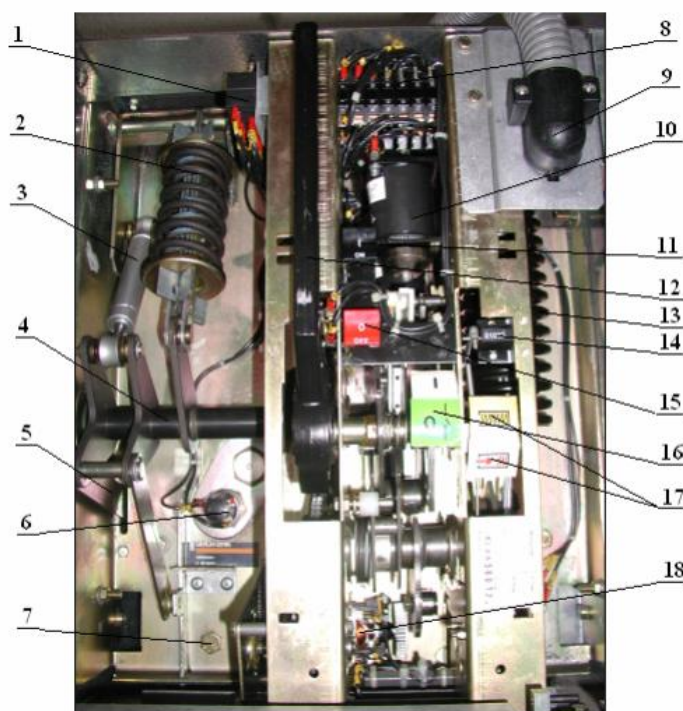


Рисунок 6.6 - Общий вид привода выключателя серии LF.

1 – реле блокировки от многократного включения; 2 – пружина отключения; 3 – амортизатор (демпфер); 4 – синхронизирующий вал привода; 5 – тяга соединяющая вал привода с синхронизирующим валом; 6 – датчик давления элегаза; 7 – болт крепления заземляющей шины; 8 – блок-контакты (11 пар); 9 – цепи вторичной коммутации; 10 – катушка отключения ; 11 – кнопка включения; 12 – рукоятка ручного взвода пружины включения; 13 – пружина включения; 14 – счетчик числа отключений; 15 – кнопка отключения; 16 – указатель положения выключателя ; 17 – указатель состояния пружин; 18 – мотор-редуктор привода.

Причины повреждений и отказов разъединителей, отделителей и короткозамыкателей следующие: поломки опорных изоляторов, нарушение контактов, дефекты приводов, дефекты пружинных и передаточных механизмов, обледенение механизмов и контактов, поломки изоляционных вставок и т. п.

Разъединитель – это коммутационный аппарат для напряжения выше 1000 В, изолирующий предварительно отключенную часть системы, электроустановки, отдельных аппаратов от смежных частей, находящихся под напряжением [7].

Разъединители с приводами предназначены для эксплуатации в электрических сетях переменного тока частоты 50Гц с номинальным напряжением 110 и 220 кВ для включения и отключения обесточенных участков электрической цепи, находящихся под напряжением, заземления отключенных участков электрической цепи при помощи заземлителей, а также отключения токов холостого хода трансформаторов, зарядных токов воздушных и кабельных линий [7]. Разъединителями нельзя отключать токи нагрузки, т.к. их контактная система не имеет дугогасительных устройств.

На ОРУ установлены разъединители марки РНДЗ - 110.

В процессе эксплуатации РНДЗ - 110 выявлено следующие:

- несовершенство технологии изготовления изоляторов;
- нарушение технологии изготовления изоляторов;
- снижение механической прочности в процессе эксплуатации;
- оксидирование поверхности контактов разъединителей;
- искривления ножей подвижных контактов.

Было принято решение замены разъединителей РНДЗ на РГ – разъединитель горизонтально-поворотного типа, рисунок 6.6 и 6.7, которые обладают высокими эксплуатационными качествами, исключающими необходимость обслуживания в течение всего срока службы.

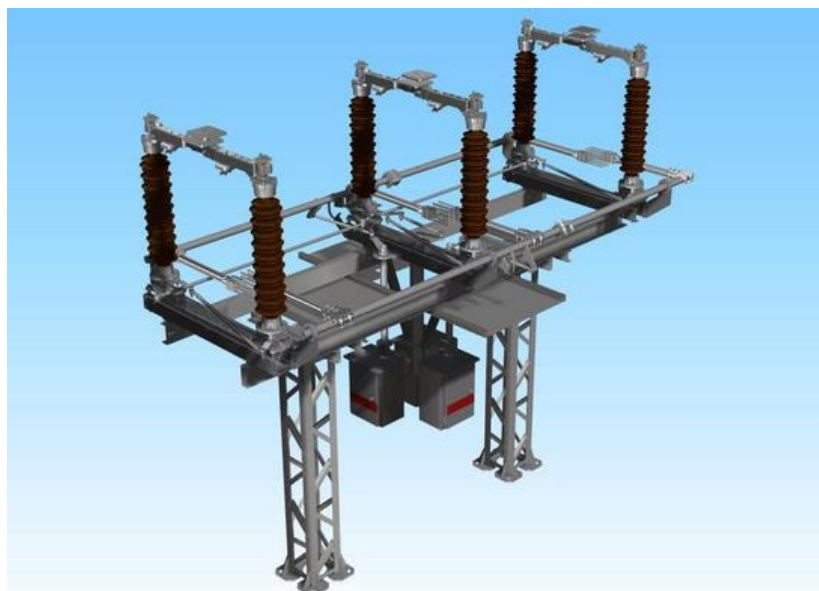


Рисунок 6.7 – Три полюса разъединитель РГ-110

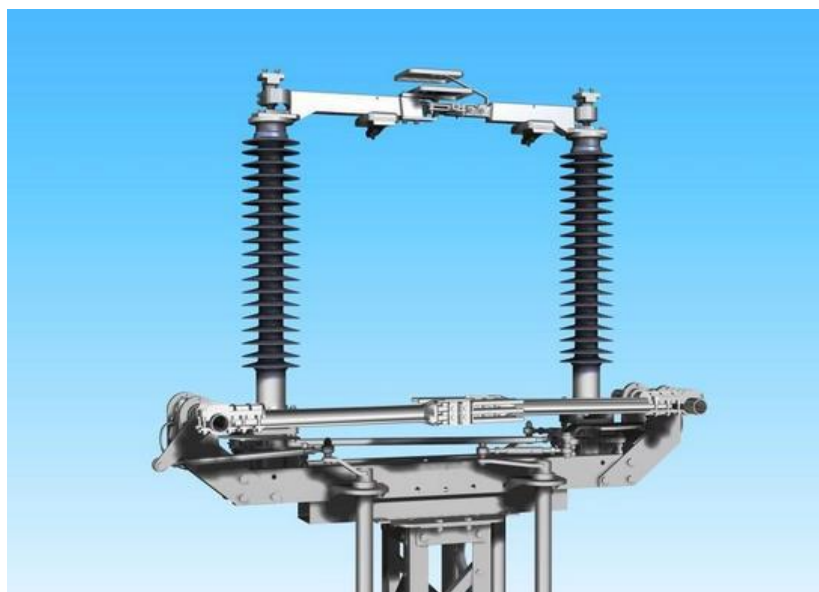


Рисунок 6.8 – Один полюс разъединитель РГ-110

После окончания ремонта разъединители регулируют. При этом проверяют плотность прилегания подвижных и неподвижных контактов, глубину вхождения подвижно, го контакта в неподвижный, угол поворота ножей разъединителя при отключении. Отрегулированный разъединитель проверяют путем многократного включения и отключения.

При ремонте отделителей и короткозамыкателей выполняют следующее: разбирают колонки отделителей, промывают валы опорных и направляющих подшипников, заменяют смазку; разбирают шарниры токоведущих клемм,

промывают и смазывают; зачищают контакты или промывают посеребренные контакты, проверяют контактное давление и при необходимости регулируют; очищают и смазывают пружины и их направляющие; разбирают, очищают от ржавчины и старой смазки все шарнирные и трущиеся соединения и смазывают их; разбирают привод с выемкой вала, удаляют старую и накладывают новую смазку; собирают и регулируют отделители и короткозамкатели; измеряют сопротивление контактов и снимают виброграммы работы отделителя.

Ремонты короткозамкателей и отделителей направлены прежде всего на устранение возможных заеданий механизмов и регулировку контактной системы отделителей. Для смазки этих аппаратов применяют смазку ГОИ-54 с присадкой 10% графита.

Изоляторы с небольшими сколами и частично разрушенными армировочными швами подлежат ремонту. Если сопротивление изоляций между обмотками и металлическим корпусом трансформатора менее 50 МОм, то трансформаторы тока нужно сушить (кроме ТПЛ).

Трансформаторы тока для внутренней установки подлежат внешнему и внутреннему ремонту с разборкой трансформатора. Трансформаторы тока для наружной установки допускается ремонтировать только внешне.

Обрыв проводов вторичных обмоток ликвидируют посредством сварки соответствующих концов провода или пайки их фосфористо-медным или медио-цинковым припоем. При этом пайка оловом не допускается.

Если у трансформатора тока для внутренней установки обнаружены серьезные неисправности (полное разрушение изоляторов, токоведущих частей, витковые замыкания и др.), то его вскрывают и заменяют поврежденные узлы и детали. При частичном или полном выходе из строя стали сердечника его восстанавливают путем замены листов из однотипного вышедшего из строя трансформатора тока. При ремонте сердечника не следует допускать уменьшения его массы, так как это приводит к снижению точности и уменьшению 10 %-ной кратности трансформатора тока.

Во избежание нарушения конструктивных размеров обмоток трансформатора при ремонте следует точнее воспроизводить первоначальное (заводское) расположение вторичной обмотки на сердечнике. Первичную обмотку на сердечнике нужно располагать симметрично вторичной.

Испытания трансформаторов тока, вышедших из ремонта, зависят от характера проведенного ремонта. Если ремонтируют только металлические части, то изоляцию первичной обмотки подвергают испытанию напряжением, составляющим 0,9 $U_{\text{исп}}$, в течение 1 мин; изоляцию вторичных обмоток испытывают относительно корпуса напряжением 2 кВ в течение 1 мин; определяют погрешность трансформатора тока.

Если при ремонте изменились обмоточные данные вторичных обмоток, то дополнительно к указанным испытаниям проверяют отсутствие витковых замыканий вторичных обмоток. А при изменении площади сечения проводников первичной или вторичной обмоток дополнительно испытывают обмотки на нагрев.

При ремонте трансформаторов напряжения измеряют намагничивающий ток при напряжении на вторичной обмотке, равном 100 В. Если ток холостого хода выше предыдущих измерений, то необходимо вскрыть и осмотреть трансформатор.

Качество изоляции обмоток оценивают по ряду характерных величин: тангенсу угла диэлектрических потерь, сопротивлению изоляции первичной и вторичных обмоток, а также испытанием повышенным напряжением переменного тока.

Повреждения и поломки опорно-стержневых изоляторов дают от 50 до 90 % повреждений аппаратов. Перекрытия связаны в основном с недостаточной длиной пути утечки токов и несвоевременной чисткой изоляторов. Поломки стержневых изоляторов связаны с недостаточной механической прочностью, низким качеством изготовления фарфора и дефектами армировки изоляторов.



Рисунок 6.9. – Ограничитель перенапряжения

Нарушение контактов наблюдается в основном у разъединителей и отделителей 35 кВ. Эти повреждения происходят из-за дефектов контактных ламелей, которые не были выявлены при монтаже и приемке в эксплуатацию КТП.

К сборным шинам РУ примыкают спуски к шинным разъединителям и сами разъединители. Повреждения таких элементов часто бывают из-за ошибок персонала при оперативных переключениях и при наложении переносных заземлений. При этом повреждаются ошиновка спусков и сами разъединители.

Трансформатор тока – устройство, позволяющее редуцировать значение первичного тока до такого, которое будет комфортно для работы средств измерения и устройств релейной защиты. Значение вторичного тока трансформатора тока является установленной величиной и составляет 1 или 5 А.

Трансформаторы напряжения выполняют функцию понижения напряжения до нормированного значения, что в свою очередь необходимо для удобства работы с измерительными приборами и аппаратами релейной защиты и автоматики. Стандартное принятое значение равно 100 и $100\sqrt{3}$ В.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе была успешно решена задача реконструкции электрооборудования и электрохозяйства завода по производству пластмассы. Экономия энергетических ресурсов осуществляется путем перехода на энергосберегающие технологии производства, совершенствования энергетического оборудования, реконструкция или полная замена устаревшего оборудования, сокращения всех видов энергетических потерь и повышения уровня использования вторичных энергетических ресурсов, улучшения структуры производства.

Определены электрические нагрузки потребителей, произведен светотехнический расчет, выбраны магистральный и распределительные шинопроводы, выбраны автоматические выключатели на стороне низкого напряжения, осуществлен выбор цеховых трансформаторов, выбраны трансформаторы главной понизительной подстанции, выбрана схема открытого распределительного устройства, выбраны выключатели, разъединители, короткозамыкатели и трансформаторы тока и напряжения.

Для реконструкции была предложена замена масляных выключателей на элегазовые, а также замена разъединителей на более перспективные.

Список использованных источников

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.
2. Балдин, М. Н. Основное оборудование электрических сетей / М. Н. Балдин, И.Г. Карапетян. М.: "ЭНАС", 2014. 208с.
3. Бики, М. А. Проектирование силовых трансформаторов. Расчеты основных параметров. М.: Знак, 2013. 612с.
4. Быстрицкий, Г.Ф. Электроснабжение. Силовые трансформаторы. Учеб. пособие для академического бакалавриата. 2 изд. Юрайт, 2016.261с.
5. Быстрицкий, Г.Ф. Основы энергетики [Текст]: учебник / Г. Ф. Быстрицкий. – 4-е изд., стер. - М.: КНОРУС, 2013. - 352 с.
6. Вахнина, В. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров: Учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина, Ю. В. Степкина, О. В. Самолина.- Тольятти : ТГУ, 2012. - 31с.
7. Гук, Ю. Б. Проектирование электрической части станций и подстанций: Учебное пособие для вузов по специальности "Электрические станции"/ Ю.Б. Гук, В. В. Кантан, С.с. Петрова. -М.: Медиа,2012. - 310с.
8. Дрозд, В. Трансформаторы. Книга 1. Трансформаторы силовые. Технические характеристики и область применения. "Альвис", 2014.672с.
9. Дрозд, В. Трансформаторы. Книга 2. Трансформаторы силовые. Технические характеристики и область применения. "Альвис", 2015.704с.
10. Игнатович, В. Электрические машины и трансформаторы. Учеб. пособие. 6 изд."Юрайт", 2016. 182 с.
11. Карапетян, И.Г. Справочник по проектированию электрических сетей. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : ЭНАС, 2012. — 392 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/38546> — Загл. с экрана
12. Конюхова, Е.А. Электроснабжение: Учебник / Е.А Конюхова - М.: МЭИ, 2014. - 512с.

13. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование предприятий. учеб. пособие / Э.А. Киреева.- М.: КноРус, 2013.- 368 с.
14. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование. учеб. пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. - СПб.: Лань, 2014.-192 с.
15. Крючков, И.П. Короткие замыкания и выбор электрооборудования. [Электронный ресурс] / Крючков И.П., Старшинов В.А., Гусев Ю.П.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2012. — 568 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72231> — Загл. с экрана.
16. Копылов, А.С. Водоподготовка в энергетике. [Электронный ресурс] / Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.. — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2016. — 310 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72208> — Загл. с экрана.
17. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 352 с.
18. Лыкин, А.В. Электроэнергетические системы и сети / А. В. Лыкин [Текст]: учеб. пособие. - М.: Юрлайт, 2017. - 360 с.
19. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Текст]/ Г.Н. Ополева, - М.:ФОРУМ-ИНФРА-М, 2017. – 416 с.
20. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. А.М. Деревянко М.: ДЕАН, 2015.
21. Правила технической эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во Омега-Л, 2014.
22. Рожин, А.Н. Внутрицеховое электроснабжение.учеб.пособие / А.Н. Рожин, Н.С. Бакшаева. - Киров: Изд-во Вяткинского гос. ун-та, 2012.-258 с.
23. Рождествина, А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров) / А.А. Рождествина. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

24. Свирен, С.Я. Электрические станции, подстанции и сети: пособие по курсовому и дипломному проектированию[Текст]/С.Я. Свирен. – М.: Издательство «Книга по требованию», 2012. – 352с.
25. Сивков, А.А. Основы электроснабжения. учеб. для вузов / А.А. Сивков, Д.Ю. Герасимов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Томск: Юрайт, 2016.- 173 с.
26. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – 2-е изд. – М.: ФОРУМ, 2012. – 136с.
27. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты [Текст]: учебник/Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 304 с.
28. Ушаков, В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2014. — 447 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/62918> — Загл. с экрана.
29. Asea Brown Boveri Ltd. (ABB).product catalog 2015 [Электронный ресурс]. <http://www.abb.com/>
30. Cheaper energy prices on a platter for the UK, 05 Jan 2017 (4356 символовспробелами), <https://www.engerati.com/article/cheaper-energy-prices-platter-uk>
31. China’s renewable energy growth useless without infrastructure , 07 Dec 2016 (2140 символов с пробелами), <https://www.engerati.com/article/china%E2%80%99s-renewable-energy-growth-useless-without-infrastructure>.
32. David Derbyshire. Atom-sized transistor created by scientists[Электронный ресурс]/ David Derbyshire.URL: <http://englishon-line.ru/chtenie-gaseta19.html.-14.04.17>.
33. Friza Memet. Ehighway more efficient conventional engines [Электронный ресурс]/ Friza Memet.URL: <https://www.engerati.com/article/sweden%E2%80%99s-ehighway-more-efficient-conventional-engines.-27.04.17>
34. How much do you know about Tesla’s solar roof? , 06 Jan 2017 (2800 символовспробелами), <https://www.engerati.com/article/how-much-do-you-know-about-tesla%E2%80%99s-solar-roof>

35. Many energy markets creating more efficiency, 15 Dec 2016 (3800 символов с пробелами), <https://www.engerati.com/article/many-energy-markets-creating-more-efficiency>.

36. Methodologies and tools for evolving DSO roles for renewable energy integration in distribution networks, 29 Sep 2016 (3400 символов с пробелами), <https://www.engerati.com/article/methodologies-and-tools-evolving-dso-roles-renewable-energy-integration-distribution-networks>.

37. PMU Optimal Allocation Using a Posteriori Bus-Observing Redundancy Removal Approach/ N. H. Abbasy, N.A. Ahmed// Selected Topics in Power Systems & Remote Sensing. 10th WSEAS/IASME International Conference on Electric Power Systems, High Voltages, Electric Machines. Japan - 2013. - P. 35-40.

38. Ryan Godsell. Electricity Power System: A Comprehensive Guide for Students and Professionals (Electrical Engineering Book 3)[Текст] / Ryan Godsell- Rycos Kindle Publishing, 2014.67с.

39. Shoulder Electronics Ltd. Manual for the design of substations edition 2 [Электронный_ресур].<http://www.shoulder.cn/en/home.aspx>.

40. Yingkai BAO. Impact analysis of human factors on power system operation reliability [Электронный ресурс]/ Yingkai BAO.URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40565-016-0231-6.-11.02.17>