

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
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)  
Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Реконструкция системы электроснабжения пластмассового производства»

Студент	<u>А.Н. Кис</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>Ю.В. Черненко</u> (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)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ Г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа выполнена на тему «Реконструкция системы электроснабжения пластмассового производства».

При выполнении бакалаврской работы произведен расчет нагрузок силовых электроприемников, системы внутреннего освещения, выполнен выбор цехового трансформатора с учетом компенсации реактивной мощности, выполнено технико-экономическое сравнение и выбор мощности силовых трансформаторов, рассчитаны токи КЗ.

Выпускная квалификационная работа выполнена на 62 листах. Содержит 6 таблиц и 2 рисунка. Графическая часть бакалаврской работы состоит из 6 чертежей на формате А1.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Категории потребителей.....	6
1.1. Электроснабжение потребителей первой категории.....	6
1.2 Электроснабжение потребителей второй категории .....	8
1.3 Электроснабжение потребителей третьей категории .....	9
2 Характеристика производственного участка .....	11
3 Расчет электрических нагрузок.....	14
3.1 Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА5.....	15
3.2 Расчет силовой нагрузки магистрального шинпровода ШМА.....	18
4 Расчет осветительной нагрузки.....	27
4.1 Электрический расчет осветительной сети.....	31
5 Компенсация реактивной мощности.....	34
6 Выбор числа и мощности трансформаторов.....	36
7 Расчет токов короткого замыкания, выбор высоковольтного кабеля.....	40
7.1 Выбор высоковольтного кабеля.....	47
8 Защитные аппараты, расчет и выбор аппаратов защиты.....	49
9 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока.....	56
Заключение.....	58
Список используемых источников .....	60

## ВВЕДЕНИЕ

По статистике около 2/3 вырабатываемой в стране электроэнергии потребляет промышленность, более того постоянно возрастают мощности многих предприятий, так и отдельных видов оборудования и иных приемников электроэнергии. Основное отличие промышленного электроснабжения от бытового отличается совсем иными величинами напряжения, тока, его мощности, для пропуска которого нужны мощные трансформаторные установки, токоведущие кабели и различное электрооборудование. Промышленное электроснабжение также требует повышенной надежности и стабильности обеспечения электроэнергией, безопасной и экономичной эксплуатации электроустановок.

Любая система промышленного электроснабжения состоит из питающих, распределительных и трансформаторных подстанций и связанных с ними кабельных и воздушных линий электропередач и токопроводов высокого и низкого напряжения. На первое место при формировании электрической системы любого промышленного предприятия определяется условия надежности и безопасности электроснабжения. К тому же система должна обеспечивать стабильное и бесперебойное электроснабжение в штатном и аварийном режиме. В последние годы все большее значение приобретают вопросы внедрения современных энергосберегающих и энергоэффективных технологий, направленных на сокращение потребления электроэнергии и ее потерь, а также на снижение расхода дефицитных электроматериалов и изделий.

Экономичность, стабильность и надежность системы электроснабжения достигается применением взаимного резервирования сетей промышленных предприятий и объединением промышленных, транспортных, коммунальных и сельских потребителей электрической энергии. Более того при сооружении установок для автономного получения электроэнергии или главных понизительных подстанций необходимо

учитывать потребности в электроэнергии расположенных вблизи внезаводских ее потребителей. Такой подход является наиболее оптимальным в удаленных районах с недостаточной сетью электроснабжения.

Электрические сети со всеми необходимыми сооружениями и устройствами органично входят в общий комплекс предприятий наряду с их производственными сооружениями и коммуникациями. В связи с этим сооружения и устройства электроснабжения должны быть полностью увязаны со строительными и технологическими частями проекта предприятия и очередностью строительства, а также с общим генеральным планом строительства, реконструкции или развития предприятия. В наше время все возрастающий удельный вес приобретают крупные энергоемкие предприятия металлургической промышленности – черной и цветной, перерабатывающей, химической и других видов промышленности. Такие предприятия характеризуются прежде всего большими суммарными значениями установленных мощностей оборудования, которые достигают 1000 -2000 МВт.

Серьезные дополнительные требования по электроснабжению предъявляют агрегаты с резко переменной циклической нагрузками, а также потребители с особыми технологическими процессами, для которых требуется особо стабильное и бесперебойное электроснабжение при любых режимах энергетических систем. Естественно, что такой особый режим электроснабжения предприятий может обеспечить только крупная электротехническая компания, располагающая высокопрофессиональными электромонтажниками и оснащенная необходимой материально-технической базой, средствами для выполнения электромонтажных работ любого объема и любого уровня сложности.

## **1 Категории потребителей**

Наша жизнь тесно связана с электроэнергией. Без нее перестают функционировать системы связи, транспорт, а дома и улицы погружаются во мрак.

Работа систем электроснабжения без аварий невозможна, и их отказы – не такая уж и редкость. Поэтому обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей – важная задача электроэнергетики.

Но одно дело, когда прервется электропитание сталеплавильного завода, и в его печах застынет металл. Устранение последствий аварии обойдется предприятию в кругленькую сумму. Другое – когда погаснет свет в операционной во время операции, что приведет к гибели больного. И третье – на сутки без электричества останется дачный поселок. Жители испытают дискомфорт, но никто не погибнет, а размер ущерба ограничится стоимостью протухших продуктов в холодильнике.

Для классификации важности электроснабжения потребители разделены на три группы, называемые категориями по бесперебойности электроснабжения. Для каждой из них установлены типовые схемы электроснабжения.

### **1.1 Электроснабжение потребителей первой категории**

Даже кратковременный перерыв питания электроприемников первой категории приводит к возникновению крупного материального ущерба. В результате аварии возможны взрывы и выбросы в атмосферу токсичных газов и аэрозолей, возникает угроза для жизни людей. Электроснабжение этих потребителей не должно прерываться ни на секунду.

Электроснабжение таких объектов предусматривает питание по двум линиям, независимым друг от друга. Это означает, что выход из строя источника питания одной линии не может привести к нарушению работы

другой. Они не должны идти от одной распределительной подстанции. В нормальном режиме работы каждая из линий питает часть нагрузки. При исчезновении напряжения на одной из них вся нагрузка автоматически переключается на оставшуюся в работе. Переключение выполняет система, называемая АВР (автоматический ввод резерва).

Схема АВР постоянно контролирует напряжение обоих источников питания. При исчезновении одного из них она ожидает несколько секунд, а затем выдает команду на отключение выключателя (пускателя, контактора) аварийной линии. Одновременно формируется команда на включение секционного выключателя, которым к потребителям отключенной линии подается напряжение от оставшегося в работе источника питания. Для исключения возможных аварийных ситуаций, связанных с подачей напряжения от второго источника на короткое замыкание в линии питания первого, включение секционного выключателя происходит только после полного отключения выключателя аварийной линии.

Выдержка времени в работе схемы АВР нужна для исключения ее ложных срабатываний при посадках (понижениях) напряжения во время запуска электродвигателей или при коротких замыканиях. Но сильно увеличивать время до срабатывания АВР нельзя. При относительно длительном перебое электропитания становится невозможным групповой самозапуск электродвигателей. Если скорость их вращения во время перебоя в электроснабжении упадет, то возобновление электропитания приведет к возникновению пусковых токов. Сумма пусковых токов всех работающих электродвигателей приведет к срабатыванию защит в сетях электроснабжения. Эффект от работы АВР окажется противоположным требуемому. Сильное же уменьшение уставки по времени АВР ведет к возникновению ложных срабатываний. Для подбора правильной величины анализируются возможные варианты работы, с учетом выдержек времени защит, пусковых токов электродвигателей. Выбранная выдержка времени

корректируется в процессе эксплуатации с учетом анализа работы в аварийных ситуациях.

Но двух источников для первой категории недостаточно. Кроме двух источников питания у них должен быть свой, ни от чего не зависимый. Это либо дизель-генераторная установка, либо генераторы собственной электростанции предприятия. При потере обеих линий внешнего питания они должны взять на себя питание тех потребителей, которых нельзя отключить. Менее важные нагрузки отключаются автоматикой. Подает напряжение от независимого источника потребителям взамен исчезнувшего основного питания все та же схема АВР.

Системы связи: телефонная, сотовая, интернет – имеют источники независимого питания. Перерыв в снабжении систем связи связан с прекращением функционирования экстренных служб. Это не только приведет к невозможности вызвать врача или наряд полиции, но и затруднит локализацию аварии: ведь электрикам для связи тоже требуются телефоны. Бесперебойность работы интернета тоже имеет стратегическое значение.

## **1.2 Электроснабжение потребителей второй категории**

Перерыв электроснабжения этих потребителей не приводит к таким последствиям, как в первом случае. Но и долго оставаться без электропитания они не могут. Поэтому для их снабжения тоже используются два независимых источника питания. Но переключение между ними происходит не автоматически, а вручную. Перевод питания производит либо собственный персонал предприятия, либо оперативно-выездная бригада, вызванная потребителем по телефону.

Примером потребителей второй категории являются городские электрические сети. При повреждениях электрооборудования часть домов в городе остается без электричества. Приняв вызов от жильцов, оперативный персонал городских сетей выезжает на место аварии, локализует



поврежденный участок и выясняет причину отключения. Затем аварийный участок изолируется от исправной сети с обеих сторон (отключением коммутационных аппаратов или снятием предохранителей), и потребителям подается питание от другой подстанции (распределительного пункта).

### **1.3 Потребители третьей категории**

К ним относятся рядовые потребители: квартиры, частные дома, офисы и мелкие предприятия. Они могут без проблем подождать, пока не будет устранена неисправность, в результате которой они остались без света. Большинство сельских поселений тоже попадает под эту категорию. Все они питаются от одного источника электроснабжения. В деревнях установлены трансформаторные подстанции, на которые приходит одна линия. Квартира питается кабелем от группового щитка, который также не имеет резервного питания.

Но как же быть с примером, приведенным в предыдущем разделе? Ведь в качестве потребителей там выступают городские дома с квартирами.

Дело в том, что электропитания лишается группа людей. Одна квартира относится к потребителям третьей категории, а дом – уже ко второй. Больничная палата относится к потребителям третьей категории, здание больницы – ко второй, а операционная в ней – к первой.

Для питания одной деревни используется одна трансформаторная подстанция и одна линия питания, к которой подключено еще несколько селений. При ее выходе из строя электроснабжение прервется до тех пор, пока повреждение не будет обнаружено и устранено. Но подстанция, от которой отходят несколько таких линий, относится уже к потребителям второй категории и имеет два независимых питания.

Что делать потребителю третьей категории?

Если потребитель, относящийся к третьей категории по бесперебойности электроснабжения, захочет оградить себя от неприятностей,

то может установить у себя бензиновую или дизельную электростанцию. А устанавливая устройства бесперебойного питания для компьютеров (UPS) требуется всегда, даже если помещение, где они установлены, относится к потребителям первой категории. Ведь во время переключения источников питания напряжение в розетке все-таки пропадает.

Еще одной необходимостью для потребителей является аварийное освещение. Полезно иметь у себя дома фонарик, лежащий в известном всем жильцам квартиры месте. При исчезновении электричества он поможет сориентироваться в пространстве.

В офисах и на предприятиях аварийное освещение питается от независимого источника, как электроприемник второй категории. Это – отдельные светильники с корпусами, окрашенными в красный цвет. Либо – специальные светильники с аккумулятором внутри.

## 2 Характеристика производственного участка

Для того чтобы разместить производство изделий из пластика, необходимо помещение со стандартными коммуникациями. Каких-либо особых требований обычно не предъявляется. Важно не забыть, что помещения для производства необходимо подбирать вдали от “спальных” районов больших городов, лучше всего расположиться на окраине населенного пункта или в промышленной зоне. Для размещения линии площадей потребуется не менее 200 кв.м. Но склад может понадобиться очень большой (так как складировать придется «воздух» — изделия весят не много, но места при этом занимают не мало).

В этом качестве можно применять практически любое помещение, которое обеспечивает защиту изделий от влаги, ветра, пыли, воров и других неблагоприятных факторов. Необходимо хранить гранулированные полимеры в сухом и, если это возможно, отапливаемом помещении: в таком случае их поверхность будет адсорбировать меньше влаги, а качество какого-либо изделия от этого ещё больше улучшится. К инстанциям, у которых необходимо получить разрешение для организации производства изделий из пластика, относятся санэпидстанция, местные органы исполнительной власти, пожарная инспекция, тепловики, газовая служба и электрики.

Оборудование для производства изделий из пластмассы, пластика

Технику для производства пластмассовых изделий можно найти разнообразную. В нашей стране есть большое количество машиностроительных организаций, которые выпускают технику для изготовления машин для переработки пластика. Можно приобрести и импортное оборудование.

Основное оборудование:

- вакуум-формовочное оборудование,
- станок для нарезки резьбы на пластиковых трубах,
- термопластавтомат,

— литейные машины термопластов,

— оборудование производства пластиковой упаковки.

Сырье для пластмассовых изделий

С сырьем для производства изделий из пластика довольно сложно. Каким бы ни было хорошим оборудование, его использование, не позволит получить продукцию одинакового качества из аналогичного пластика от разных производителей. Чтобы перейти от одного сырья к другому, необходима серьезная переналадка техники и отработка технологии с применением нового пластика

Таблица 1 - Перечень оборудования участка пластмассового литья

№	Наименование оборудования	Количество, шт	Мощность, кВт
001	Установка сушки пластмассы	7	35
002	Печь индукционная	11	30
003	Пласт-автомат	7	24
004	Пласт-штамп	7	0,5
005	Установка горячей пайки	1	21
006	Шкаф сушильный	1	8
007	Станок для нарезки резьбы	4	7
008	Станок бесцентровый круглошлифовальный	2	5,2
009	Козловой кран 12 тонн	1	22
010	Станок токарный	2	24
011	Пресс-штамп	1	45
012	Универсально автоматический станок чистой обработки	4	15
013	Вакуум-формовочное оборудование	4	17
014	Пресс гидравлический	2	38
015	Станок двухстоечный токарно- карусельный	1	16
016	Станок производства пластиковой упаковки	3	14
017	Установка плазменной руки	3	50
018	Конвейер подвесной	1	37
019	Станок двухстоечный продольно- строгальный	1	30
020	Установка пластмассового литья	1	56
021	Станок горизонтально-расточный	1	3,7
022	Вакуум-формовочное оборудование	1	12
	Всего	72	

Магистральные схемы в основном применяют при равномерном распределении нагрузки по площади цеха. Они не требуют установки распределительного щита на подстанции, и энергия распределяется по совершенной схеме блока «трансформатор-магистраль», что упрощает и удешевляет сооружение цеховой подстанции.

Учитывая мощность электроприемников, расположение по площади участка, схема электроснабжения – смешанная:

- магистральный шинопровод ШМА;
- распределительные шинопровода ШРА №1 – ШРА №10;
- распределительные пункты ПР №1 – ПР №2.

### 3 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок показан на примере распределительного шинпровода ШРА №5.

Таблица 2 - Перечень оборудования распределительного шинпровода ШРА №5

Позиция оборудования	Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемников	Коэффициент использования	Коэффициент мощности	Тангенс потерь
		n, шт	P, кВт			
1	2	3	4	5	6/7	
013	Вакуум-формовочное оборудование	2	17	0,6	0,8/0,75	
014	Пресс гидравлический	2	38	0,65	0,8/0,75	
002	Печь индукционная	2	30	0,7	0,35/2,67	
016	Станок производства пластиковой упаковки	2	14	0,2	0,6/1,33	

Расчет группы электроприемников

- Номинальная мощность группы электроприёмников  $P_{ном.уст013}$ , кВт

$$P_{ном.уст013} = n \cdot P_{ном013} ,$$

где n - количество электроприёмников в группе, шт

$$P_{ном.уст013} = 2 \cdot 17 = 34 \text{ кВт.}$$

- среднесменная активная мощность  $P_{см013}$ , кВт

$$P_{см013} = P_{ном.уст013} \cdot K_{и}$$

$$P_{см.013} = 34 \cdot 0,6 = 20,4 \text{ кВт.}$$

- среднесменная реактивная мощность  $Q_{см}$ , кВАр

$$Q_{см013} = P_{см013} \cdot \text{tg } \varphi,$$

$$Q_{см013} = 20,4 \cdot 0,75 = 15,3 \text{ кВАр.}$$

### 3.1 Расчет силовой нагрузки распределительного шинпровода ШРА №5

- номинальная мощность электроприёмников распределительного шинпровода  $P_{ШРА \text{ №5}}$ , кВт

$$P_{ном.ШРА \text{ №5}} = \sum_{i=1}^n P_{ном.гр}$$

$$P_{ном.ШРА \text{ №5}} = 34 + 76 + 60 + 28 = 198 \text{ кВт.}$$

- среднесменная активная мощность  $P_{см.ШРА \text{ №5}}$ , кВт

$$P_{см.шра\text{№5}} = \sum_{i=1}^n P_{см.гр} \text{ кВт,}$$

$$P_{см.ШРА \text{ №5}} = 20,4 + 49,4 + 42 + 5,2 = 11 \text{ кВт.}$$

- среднесменная реактивная мощность  $Q_{см.ШРА \text{ №5}}$ , квар

$$Q_{\text{см.ШРА №5}} = \sum_{i=1}^n \cdot Q_{\text{см.гр}},$$

$$Q_{\text{см.ШРА №5}} = 15,3 + 37,05 + 111,72 + 6,91 = 170,98 \text{ квар.}$$

- модуль силовой сборки  $m$

$$m = \frac{P_{\text{НОМ.ШРА №5}}}{P_{\text{НОМ.ШРА №5}}},$$

$$m = \frac{38}{14} = 2,7.$$

- коэффициент использования  $K_{\text{и.ШРА №5}}$

$$K_{\text{и.ШРА №5}} = \frac{P_{\text{см.ШРА №5}}}{P_{\text{НОМ.ШРА №5}}},$$

$$K_{\text{и.ШРА №5}} = \frac{117}{198} = 0,55.$$

- средневзвешенный тангенс потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{ШРА №5}}$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ШРА №5}} = \frac{Q_{\text{см.ШРА №5}}}{P_{\text{см.ШРА №5}}},$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ШРА №5}} = \frac{170,97}{117} = 1,46 \Rightarrow \cos\varphi = 0,56.$$

- эффективное число электроприёмников  $n_3$ , шт

$$n = n_3 = 8 \text{ т.к } m > 3; K_{\text{и}} < 0,2, n > 5.$$



- коэффициент максимума  $K_{\text{макс}}$

$$K_{\text{макс}} = 1,3.$$

- максимальная активная мощность  $P_{\text{макс.ШРА №5}}$ , кВт

$$P_{\text{макс.ШРА №5}} = P_{\text{см.ШРА5}} \cdot K_{\text{макс.ШРА №5}} \text{ кВт},$$

$$P_{\text{макс.ШРА №5}} = 117 \cdot 1,3 = 152,1 \text{ кВт}.$$

- максимальная реактивная мощность  $Q_{\text{макс.ШРА №5}}$ , квар

$$Q_{\text{макс.ШРА №5}} = 1,1 \cdot Q_{\text{см.гр}} \text{ если } n < 10 ,$$

$$Q_{\text{макс.ШРА №5}} = 1,1 \cdot 170,98 = 188,08 \text{ квар}.$$

- максимальная полная мощность  $S_{\text{макс.ШРА №5}}$ , квар

$$S_{\text{макс.ШРА №5}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра №5}}^2 + Q_{\text{макс.ШРА №5}}^2} \text{ квар},$$

$$S_{\text{макс.ШРА №5}} = \sqrt{152,1^2 + 188,08^2} = 241,89 \text{ квар}.$$

- максимальный ток  $I_{\text{макс.ШРА №5}}$ , А

$$I_{\text{макс.ШРА №5}} = \frac{S_{\text{макс.ШРА №5}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \text{ А},$$

$$I_{\text{макс.ШРА №5}} = \frac{254,07 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 386,03 \text{ А.}$$

### 3.2 Расчет магистрального шинпровода ШМА

Количество электроприемников шинпровода ШМА  $n_{\text{ШМА}}$ , шт

$$n_{\text{ШМА}} = n_{\text{ШРА}} + n_{\text{ГР}},$$

$$n_{\text{ШМА}} = 8 + 8 + 8 + 6 + 8 + 10 + 4 + 4 + 4 + 8 + 3 + 1 = 72 \text{ шт.}$$

- номинальная мощность электроприёмников  $P_{\text{ШМА}}$ , кВт

$$P_{\text{уст}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.ШРА}} \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{уст}} = 179 + 179 + 179 + 178 + 198 + 102,4 + 224 + 114 + 89,5 + 198,7 + \\ + 100 + 22 = 1763,6 \text{ кВт.}$$

- среднесменная активная мощность  $P_{\text{см.ШМА}}$ , кВт

$$P_{\text{см.ШМА}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{см.гр}} \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{см.ШМА}} = 103,45 + 103,45 + 103,45 + 103,2 + 117 + 37,77 + 134,4 + 39,38 + \\ + 51,72 + 118,5 + 25,1 + 2,2 = 939,62 \text{ кВт.}$$

- среднесменная реактивная мощность  $Q_{\text{см.ШМА}}$ , квар

$$Q_{\text{см.ШМА}} = \sum_1^n Q_{\text{см.гр}} \text{ квар},$$

$$Q_{\text{см.ШМА}} = 147,82 + 147,82 + 147,82 + 147,85 + 40,62 + 118,27 + 39,38 + \\ + 74,14 + 134,5 + 18,42 + 3,8 = 1004,39 \text{ квар}.$$

- модуль силовой сборки  $m$

$$m = \frac{P_{\text{ном.ШМА}}}{P_{\text{ном.ШМА}}},$$

$$m = \frac{56}{0,5} = 112.$$

- коэффициент использования  $K_{\text{и.ШМА}}$

$$K_{\text{и.ШМА}} = \frac{P_{\text{см.ШМА}}}{P_{\text{ном.ШМА}}},$$

$$K_{\text{и.ШМА}} = \frac{939,62}{1763,6} = 0,53.$$

- средневзвешенный тангенс потерь  $\text{tg}\varphi_{\text{ШМА}}$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ШМА}} = \frac{Q_{\text{см.ШМА}}}{P_{\text{см.ШМА}}},$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{ШМА}} = \frac{1004,39}{939,62} = 1,07 \Rightarrow \cos\varphi = 0,68.$$

- эффективное число электроприёмников  $n_3$

$$n_3 = \frac{2 \cdot \frac{n}{1} P_n}{P_{n.нб}} \quad \text{т.к } m > 3; K_{и} > 0,2, n > 5,$$

$$n_3 = \frac{2 \cdot 1763,6}{56} = 62,99 \approx 63.$$

- коэффициент максимума  $K_{\text{макс}}$

$$K_{\text{макс}} = 1,1.$$

- максимальная активная мощность  $P_{\text{макс.ШМА}}$ , кВт

$$P_{\text{макс.ШМА}} = P_{\text{см.ШМА}} \cdot K_{\text{макс}} \text{ кВт},$$

$$P_{\text{макс.ШМА}} = 939,62 \cdot 1,1 = 1033,58 \text{ кВт}.$$

- максимальная реактивная мощность  $Q_{\text{макс.ШМА}}$ , квар

$$Q_{\text{макс.ШМА}} = Q_{\text{см.ШМА}}, \text{ если } n > 10 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{макс.ШМА}} = 1004,39 \text{ кВар}.$$

- максимальная полная мощность  $S_{\text{макс.ШМА}}$ , кВАр

$$S_{\text{макс.ШМА}} = \sqrt{P_{\text{макс.ШМА}}^2 + Q_{\text{макс.ШМА}}^2} \text{ кВАр},$$

$$S_{\text{макс.ШМА}} = \sqrt{1033,58^2 + 1004,39^2} = 1441,21 \text{ кВАр}.$$

- максимальный ток  $I_{\text{макс.ШМА}}$ , А

$$I_{\text{макс.ШИМА}} = \frac{S_{\text{макс.ШИМА}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} \text{ A,}$$

$$I_{\text{макс.ШИМА}} = \frac{1441,21 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 2189,69 \text{ A.}$$

Таблица 3 - Расчет электрических нагрузок

№ п/п	Наименование потребителя	Количество, п	Установленная мощность		m	Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка		n <sub>э</sub>	Км	Расчетная нагрузка			I <sub>p</sub> А
			Одного ЭП, кВт	Общая, кВт				P <sub>ср</sub> кВт	Q <sub>ср</sub> квар			P <sub>p</sub> кВт	Q <sub>p</sub> кВАР	S <sub>p</sub> кВА	
001	Установка сушки пластмассы	2	35	70	-	0,6	0,95/ 0,32	42	13,44	-	-	-	-	-	-
002	Печь индуктивная	2	30	60	-	0,7	0,35/ 2,67	42	112,14	-	-	-	-	-	-
003	Пласт-автомат	2	24	48	-	0,4	0,65/ 1,16	19,2	22,27	-	-	-	-	-	-
004	Пласт-штамп	2	0,5	1	-	0,25	0,52/ 1,64	0,25	0,41	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №1	8>5	-	179	70>3	0,57 >0,2	0,57/ 1,42	103,45	147,82	8	1,46	151,04	162,6	221,93	337,18
001	Установка сушки пластмассы	2	35	70	-	0,6	0,95/ 0,32	42	13,44	-	1,04	-	-	-	-
002	Печь индуктивная	2	30	60	-	0,7	0,35/ 2,67	42	112,14	-	1,04	-	-	-	-
003	Пласт-автомат	2	24	48	-	0,4	0,65/ 1,16	19,2	22,27	-	1,04	-	-	-	-
004	Пласт-штамп	2	0,5	1	-	0,25	0,52/ 1,64	0,25	0,41	-	1,04	-	-	-	-
	Итого ШРА №2	8>5	-	179	70>3	0,57 >0,2	0,57/ 1,42	103,45	147,82	8	1,46	151,04	162,6	221,93	337,18
001	Установка сушки пластмассы	2	35	70	-	0,6	0,95/ 0,32	42	13,44	-	1,04	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

002	Печь индуктивная	2	30	60	-	0,7	0,35/ 2,67	42	112,14	-	-	-	-	-	-
003	Пласт-автомат	2	24	48	-	0,4	0,65/ 1,16	19,2	22,27	-	-	-	-	-	-
004	Пласт-штамп	2	0,5	1	-	0,25	0,52/ 1,64	0,25	0,41	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №3	8>5	-	179	70>3	0,57 >0,2	0,57/ 1,42	103,45	147,82	8	1,46	151,04	162,6	221,93	337,18
012	Универсальны й автоматически й станок чистой обработки	2	35	70	-	0,6	0,95/ 0,32	42	13,44	-	-	-	-	-	-
002	Печь индукционная	2	30	60	-	0,7	0,35/ 2,67	42	112,14	-	-	-	-	-	-
010	Станок токарный	2	24	48	-	0,4	0,65/ 1,16	19,2	22,27	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №4	6>5	-	198	2,7<3	0,55 >0,2	0,57/ 1,43	103,2	147,85	6	1,46	150,67	162,6	221,68	336,80
013	Вакуум- формовочное оборудование	2	17	34	-	0,6	0,8/ 0,75	20,4	15,3	-	-	-	-	-	-
014	Пресс гидравлически й	2	38	76	-	0,65	0,8/ 0,75	49,4	37,05	-	-	-	-	-	-
002	Печь индукционная	2	30	60	-	0,7	0,35/ 2,67	42	111,72	-	-	-	-	-	-
016	Станок производства пластиковой упаковки	2	14	28	-	0,2	0,6/ 1,33	5,2	6,91	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №5	6>5	-	196	2,7<3	0,55 >0,2	0,56/ 1,46	117	170,98	8	1,3	152,1	188,08	241,89	367,50

Продолжение таблицы 3

007	Станок для нарезки резьбы	4	7	28	-	0,14	0,5/ 1,73	3,92	6,86	-	-	-	-	-	-
013	Вакуум-формовочное оборудование	2	17	34	-	0,6	0,8/ 0,75	20,4	15,3	-	-	-	-	-	-
012	Универсально автоматический станок чистой обработки	2	15	30	-	0,4	0,6/ 1,33	12	15,96	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №6	6>5	-	102,4	3,2<3	0,36 >0,2	0,68/ 1,07	37,77	40,62	10	1,87	70,63	40,62	81,48	123,79
022	Вакуум-формовочное оборудование	4	56	224	-	0,6	0,75/ 0,88	134,4	118,27	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №7	4>5	-	224	56<3	0,6> 0,2	0,68/ 1,07	134,4	118,27	4	1,46	196,22	130,1	235,43	357,7
009	Козловой кран 12 тонн	1	22	22	-	0,1	0,5/ 1,72	2,2	3,8						
	Итого ПР №1	1>5	-	224	56<3	0,6> 0,2	0,68/ 1,07	2,2	3,8	22	1,71	3,76	3,8	5,35	8,12
001	Установка сушки пластмассы	1	35	35	-	0,6	0,95/ 0,32	21	6,72	-	-	-	-	-	-
012	Универсальный автоматический станок чистой обработки	1	15	15	-	0,4	0,6/ 1,33	6	7,98	-	-	-	-	-	-



Продолжение таблицы 3

016	Станок производства пластиковой упаковки станок	1	14	14	-	0,2	0,6/ 1,33	2,8	3,83	-	-	-	-	-	-
017	Установка плазменной руки	1	50	50	-	0,2	0,9/ 0,48	10	4,8	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №8	5>5	-	114	3,57< 3	0,36 >0,2	0,68/ 1,07	42	27,13	5	1,76	73,92	29,84	79,72	121,12
001	Установка сушки пластмассы	1	35	35	-	0,6	0,95/ 0,32	21	6,72	-	-	-	-	-	-
003	Пласт-автомат	1	24	24	-	0,4	0,65/ 1,16	9,6	11,14	-	-	-	-	-	-
004	Пласт-штамп	1	0,5	0,5	-	0,25	0,52/ 1,64	0,12	0,21	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №9	4>5	-	89,5	70<3	0,58 >0,2	0,57/ 1,43	51,72	74,14	2	1,46	75,51	81,55	111,14	168,86
006	Шкаф сушильный	1	8	8	-	0,8	0,95/ 0,32	6,4	2,05	-	-	-	-	-	-
022	Вакуум-формовочное оборудование	1	12	12	-	0,3	0,5/ 1,73	3,6	6,23	-	-	-	-	-	-
023	Станок горизонтально-расточный	1	3,7	3,7	-	0,14	0,5/ 1,73	0,51	0,9	-	-	-	-	-	-
011	Пресс-штамп	1	45	45	-	0,8	0,5/ 1,73	36	62,28	-	-	-	-	-	-
01	Станок двухстоечный токарно-карусельный	1	16	16	-	0,14	0,55/ 1,51	2,24	3,88	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

005	Установка горячей пайки	1	21	21	-	0,4	0,85/ 0,61	8,4	12,68	-	-	-	-	-	-
018	Конвейер подвесной	1	37	37	-	0,75	0,6/ 1,33	27,75	16,92	-	-	-	-	-	-
022	Вакуум-формовочное оборудование	1	56	56	-	0,6	0,75/ 0,88	33,6	29,56	-	-	-	-	-	-
	Итого ШРА №10	8>5	-	198,7	15,14 <3	0,59 >0,2	0,65/ 1,14	118,5	134,5	8	1,3	154	148	213,62	324,56
017	Установка плазменной руки	2	50	100	-	0,2	0,9/ 0,48	20	9,6	-	-	-	-	-	-
019	Станок двухстоечный продольно-строгательный	1	30	30	-	0,17	0,5/ 1,73	5,1	8,82	-	-	-	-	-	-
	ПР №2	3>5	-	130	3,33< 3	0,21 >0,2	0,8/ 0,73	25,1	18,42	1,88	1,14	28,61	20,26	35,06	53,27
	ШМА	72>5	-	1763,6	112< 3	0,53 >0,2	0,68/ 1,07	939,62	1004,4	63	1,1	1033,5 8	1004,39	1441,2	2189,69
	Освещение	(336*2)	0,054	45		0,95	0,95/ 0,32	30,24	11,98	-	-	36,29	11,98	38,22	81,29
	Итого с освещением	72>5	-	1808,6	112< 3	0,54 >0,2	0,69/ 1,05	969,86	1016,3	63	1,1	1066,8 5	1016,37	1473,49	2238,74
	Компенсация	-	-	-	-	-	-	-	-700	-	-	-	-	-	-
	Итого с компенсацией	72>5	-	1808,6	112< 3	0,53 >0,2	0,93/ 0,39	969,86	316,37	63	1,1	1066,8 5	316,37	1112,77	1690,68

#### 4 Расчет осветительной нагрузки

При проектировании светотехнической части осветительной установки выбирают:

- системы и вид освещения;
- освещенности и коэффициенты запаса;
- светильники, их расположение и высоту подвеса;
- определяют количество и мощность каждого светильника для обеспечения требуемой освещенности рабочего места

В целом осветительная установка должна обеспечить нормальные и безопасные условия освещения для выполнения производственного процесса

В осветительных установках применяются системы общего и комбинированного освещения (общее и местное).

Система общего освещения предназначена для обеспечения нормированной освещенности, как на рабочих местах, так и в проходах помещений. При общем освещении светильники располагаются под потолком и на стенах, при этом они могут, размещены либо равномерно, создавая по возможности, вне зависимости от расположения оборудования, одинаковую освещенность на всей площади помещения, либо локализовано при неравномерном распределении освещенности. В последнем случае освещенность создается на рабочем месте.

Местное освещение предназначено только для освещения рабочих мест. Местное освещение может быть стационарным и переносным.

Система комбинированного освещения применяется в производственных помещениях с тонкими зрительными работами, требующими высокой освещенности при высокой точности и небольших размерах обрабатываемых заготовок, деталей.

Исходные данные:

- нормируемая освещенность  $E_n = 300$  лк;

- коэффициент запаса  $K_z = 1,5$ ;
- высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м;
- высота подвеса  $h_c = 0,6$  м;
- размеры цеха  $A \times B \times H = 42 \times 72 \times 6$  м
- высота подвеса светильников над рабочей поверхностью  $H_p$ , м

$$H_p = H - h_c - h_p \text{ м,}$$

$$H_p = 6 - 0,6 - 0,8 = 4,4 \text{ м.}$$

- расчетное значение расстояния между рядами светильников  $L$ , м

$$L = \lambda \cdot H_p \text{ м,}$$

$$L = 4,4 \cdot 0,7 = 3,08 \approx 3 \text{ м}$$

- расчетное значение расстояния до первого ряда светильников  $l$ , м

$$l = 0,5 \cdot L \text{ м,}$$

$$l = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ м.}$$

- количество светильников по ширине  $N_A$ , шт

$$N_A = \frac{A - 2l}{L} + 1 \text{ шт,}$$

$$N_A = \frac{42 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 14 \text{ шт.}$$

- количество светильников по длине  $N_B$ , шт

$$N_B = \frac{B - 2l}{L} + 1 \text{ шт},$$

$$N_B = \frac{72 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 24 \text{ шт.}$$

- общее число светильников для цехового помещения  $N_{об}$ , шт

$$N_{об} = N_A \cdot N_B \text{ шт},$$

$$N_{об} = 14 \cdot 24 = 336 \text{ шт.}$$

Принять и установить расположение светильников вдоль архитектурных линий здания, с расстоянием между светильниками по длине 3 м, по ширине 3 м, расстояние от стены до линий светильников 1,5 м.

- расчетное значение светового потока  $\Phi$ , лм

$$\Phi_{пр} = \frac{S \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{об} \cdot \eta} \text{ лм.}$$

где  $S$  – площадь помещения;

$E_n$  – нормируемая освещенность  $E_n = 300$  лк;

$K_3$  – коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ ;

$$Z = 1,15$$

$\eta$  – КПД ламп светильника  $\eta = 0,8$

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 42 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{2 \cdot (14 \cdot 24) \cdot 0,8} = 2910,94 \text{ лм.}$$

- нормированная освещенность  $E_p$ , лк

$$E_p = \frac{\Phi_{л} \cdot P_{л}}{\Phi_{лр}} \text{ лк,}$$

$$E_p = \frac{5000 \cdot 300}{2910,94} = 515,3 \text{ лк.}$$

- коэффициент запаса  $K_3$

$$K_3 = \frac{E_p}{E_n},$$

$$K_3 = \frac{515,3}{300} = 1,72 .$$

Выбраны светильники LZ.OPL ECO LED 1200 5000K 45 Вт степенью защиты IP65 и высокой, мощностью, со световым потоком 4700 лм в соответствии с рисунком 2.



Рисунок 2 - Светильник LZ.OPL ECO LED 1200

## 4.1 Электрический расчет осветительной сети

В целом осветительная установка должны обеспечивать нормальные и безопасные условия для выполнения производственных процессов.

Освещение разделяется на рабочее и аварийное.

Электрический расчет осветительной сети производится с целью выбора марки провода (кабеля), определения сечения питающих проводников, а так же выбора типов защитных аппаратов.

К расчету осветительных сетей предъявляются следующие требования:

- выбранное сечения проводов должно обеспечивать требуемые напряжения у источников света, так как только при этом обеспечивается наиболее экономичная их работа (световая отдача, срок службы);

- токовые нагрузки на отдельные провода не должны превышать допустимых значений; это необходимо для увеличения срока их изоляции, а также для создания условий по механической прочности должны обеспечить надежность при монтаже и эксплуатации.

-выбранные сечения проводов по механической прочности должны обеспечивать надежность при монтаже и эксплуатации.

- Активная мощность осветительной нагрузки  $P_{осв}$ , кВт

$$P_{осв} = N \cdot P_{л} \cdot K_{и} \cdot K_{пра} \text{ кВт},$$

где  $K_{и} = 0,95$  - коэффициент использования;

$K_{пра} = 1,12$  - коэффициент пуско-регулирующей аппаратуры;

$$P_{осв} = 2 \cdot 14 \cdot 24 \cdot 0,054 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 36,29 \text{ кВт}.$$

- реактивная мощность осветительной нагрузки  $Q_{осв}$ , квар

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg } \varphi \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{осв}} = 36,29 \cdot 0,33 = 11,98 \text{ квар.}$$

- полная мощность осветительной нагрузки  $S_{\text{осв}}$ , кВА

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2} \text{ кВА,}$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{36,29^2 + 11,98^2} = 38,22 \text{ кВА.}$$

- максимальный ток осветительной нагрузки  $I_{\text{осв}}$  А

$$I_{\text{осв}} = \frac{S_{\text{осв}} \cdot K_{\text{пуск}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \text{ А.}$$

где  $K_{\text{пуск}} = 1,4$  - коэффициент пуска

$$I_{\text{осв}} = \frac{38,22 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 81,29 \text{ А.}$$

- ток теплового расцепителя вводного автомата  $I_{\text{тр}}$ , А

$$I_{\text{тр}} = 1,15 \cdot I_{\text{осв}} \text{ А,}$$

$$I_{\text{тр}} = 1,15 \cdot 81,29 = 93,5 \text{ А.}$$

- номинальный ток отходящей линии  $I_{\text{л}}$ , А



$$I_{л} = \frac{I_{осв}}{N_{А В}} \text{ А,}$$

$$I_{л} = 81,29/14 = 5,8 \text{ А.}$$

- ток теплового расцепителя автомата отходящей линии (на 2 ряда)

$$I_{тр.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot I_{н} \text{ А,}$$

$$I_{тр.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot 5,8 = 13,7 \text{ А.}$$

Осветительная сеть выполнена осветительным шинопроводом ШОС4 - 25 - 44 - 1УЗ, с  $I_{доп}=15 \text{ А} > I_{осв}=6,72 \text{ А}$

К монтажу принят щиток освещения ОЩВ-9 УЛ4 на 9 отходящих линий с вводным автоматическим выключателем АВВ S803N,  $I_{ном}=160 \text{ А}$ ,  $I_{тр}=160 \text{ А}$ , линейные автоматические выключатели АВВ S803N с  $I_{ном}=16 \text{ А}$ ,  $I_{тр}=16 \text{ А}$ , подключение осветительного щитка к КТП выполнено кабелем ВВГнг LS 4x25, с  $I_{доп}=100 \text{ А} > I_{осв}=81,29 \text{ А}$

## 5 Компенсация реактивной мощности

В комплекте с трансформаторной подстанцией применяют компенсирующую установку. Она используется для повышения коэффициента мощности и понижения реактивной мощности. Значение коэффициента мощности ( $\cos\varphi$ ) и его повышение имеет большое значение для народного хозяйства. Основными электроприемниками реактивной мощности являются асинхронные двигатели, на их долю приходится 65-70 % потребляемой реактивной мощности, 20-25 % на трансформаторы, 10 % на ЛЭП, реакторы и люминесцентные лампы.

- Расчетное значение реактивной мощности установки  $Q_K$ , квар

$$Q_K = \alpha \cdot P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2 \text{ квар.}$$

где  $\alpha = 0,85$  – коэффициент, учитывающий изменение среднегодового потребления электрической энергии;

$P_{см}$  - среднесменная активная мощность участка, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi_1$  – значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующее среднегодовому коэффициенту мощности  $\cos\varphi_1$ ;

$\operatorname{tg}\varphi_2 = 0,42$  - рекомендуемое значение  $\operatorname{tg}\varphi$  энергосистемы (0,33-0,42)

$$Q_K = 0,85 \cdot 969,86 \cdot 1,21 - 0,33 = 725,45 \text{ квар,}$$

$$Q_{стк} = 700 \text{ квар.}$$

- фактическое значение тангенса потерь  $\operatorname{tg}\varphi$  и коэффициент мощности  $\cos\varphi$

$$\operatorname{tg}\varphi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{стк}}}{P_{\text{см}} \cdot \alpha},$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 1,21 - \frac{700}{969,86 \cdot 0,85} = 0,36 \Rightarrow \cos\varphi = 0,94.$$

Окончательно к установке принимается конденсаторная компенсационная установка КРМ 0,4-700-5У3 с мощностью  $Q_{\text{ст}} = 700$  квар на напряжение 0,4 кВ.

## 6 Выбор числа и мощности трансформаторов

Исходные данные:

- номинальное напряжение питающей сети -  $U_H = 380/220$  В;
- коэффициент мощности после компенсации  $\cos\varphi = 0,94$
- среднесменная активная мощность  $P_{см} = 969,86$  кВт;
- среднесменная реактивная мощность  $Q_{см} = 316,37$  квар;
- максимальная полная мощность  $S_{мах} = 1112,77$  квар

Мощность трансформатора должна соответствовать:

$$S_{тр} \geq S_{мах.рас} \text{ кВА.}$$

где  $S_{тр}$  – мощность трансформатора, кВА;

$S_{мах}$  - расчетное значение полной максимальной мощности после компенсации с учетом потерь трансформатора, кВА

- активные потери мощности трансформатора  $\Delta P_{тр}$ , кВт

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot S_{мах} \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot 1112,77 = 22,25 \text{ кВт.}$$

- реактивные потери мощности трансформатора  $\Delta Q_{тр}$ , квар

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot S_{мах} \text{ квар,}$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 \cdot 1112,77 = 111,28 \text{ квар.}$$

- полные потери мощности трансформатора  $\Delta S_{\text{тр}}$ , кВА

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2} \text{ кВА},$$

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{22,25^2 + 111,28^2} = 113,48 \text{ кВА}.$$

- расчетное значение полной максимальной мощности на высокой стороне  $S_{\text{тр.ВН}}$ , кВА

$$S_{\text{тр.ВН}} = S_{\text{max}} + \Delta S_{\text{тр}} \text{ кВА},$$

$$S_{\text{тр.ВН}} = 1112,77 + 113,48 = 1226,25 \text{ кВА}.$$

Выбор мощности трансформатора из экономических соображений. Выбор делается по результатам сравнения двух силовых трансформаторов разной мощности: 1250 кВА и 1600 кВА.

- коэффициент загрузки трансформатора  $K_3$

$$K_3 = \frac{S_{\text{max}}}{S_{\text{T}}},$$

$$K_{3,1} = \frac{1112,77}{1250} = 0,89;$$

$$K_{3,2} = \frac{1112,77}{1600} = 0,69.$$

- потери холостого хода приведенные

$$\Delta P_{x.x} \cdot S_H \cdot (I_{x.x}/100) \text{ кВт.}$$

где  $K_{и.п} = 0,01$  – коэффициент изменения потерь;

$I_{x.x}$  – ток холостого хода, %

$$\Delta P_{x.x.1} = 1,74 + 0,01 \cdot 1250 \cdot \frac{0,6}{100} = 1,81 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{x.x.2} = 1,75 + 0,01 \cdot 1600 \cdot \frac{0,5}{100} = 1,83 \text{ кВт.}$$

Потери короткого замыкания приведенные  $\Delta P_{к.з}$  кВт

$$\Delta P_{к.з} = \Delta P_{к.з} + K_{и.п} \cdot S_H \cdot \frac{U_{к.з}}{100} \text{ кВт.}$$

где  $U_{к.з}$  – напряжение короткого замыкания, %

$$P_{к.з.1} = 14,8 + 0,01 \cdot 1250 \cdot \frac{6}{100} = 15,55 \text{ кВт};$$

$$P_{к.з.2} = 18 + 0,01 \cdot 1600 \cdot \frac{6}{100} = 18,96 \text{ кВт.}$$

Потери приведенные полные  $\Delta P_T$ , кВт

$$\Delta P_T = \Delta P_{x.x} + K_3^2 \cdot \Delta P_{к.з} \text{ кВт,}$$

$$\Delta P_{T.1} = 1,81 + 0,89^2 + 15,55 = 18,15 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{T.2} = 1,83 + 0,69^2 + 18,96 = 21,26 \text{ кВт.}$$

Потери электроэнергии за год  $\Delta\omega_{\Gamma}$ , кВт · ч

$$\Delta\omega_{\Gamma} = \Delta P_{\Gamma} \cdot T.$$

Где  $T=6400$  ч – число работы годовое

$$\Delta\omega_{\Gamma} = 18,15 \cdot 6400 = 116160 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta\omega_{\Gamma} = 21,26 \cdot 6400 = 136064 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Стоимость потерь электроэнергии за год  $C_{\Pi}$ , руб

$$C_{\Pi} = \Delta\omega_{\Gamma} \cdot C_0.$$

Где  $C_{\Pi} = 1,15 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$  -тариф на электроэнергию

$$C_{\Pi,1} = 116160 \cdot 1,15 = 133584 \text{ руб};$$

$$C_{\Pi,1} = 136064 \cdot 1,15 = 156473 \text{ руб}.$$

Окончательно к установке выбрана трансформаторная цеховая подстанция КТП с трансформатором ТМГ-1600 10/0,4.

Таблица 4 - Данные трансформатора

Марка ТР	$S_{\text{тр}}$ , кВА	Данные из каталога производителя						Стоимость тр-ра тыс.руб
		$U_{\text{ном}}$ , кВ		$U_{\text{кз}}$ ,%	$P_{\text{кз}}$ кВт	$P_{\text{xx}}$ кВт	$I_{\text{xx}}$ ,%	
		ВН	НН					
ТМГ1600 10/0,4	1600	10	0,4	6	18	1,75	0,5	854000

## 7 Расчет токов короткого замыкания, выбор высоковольтного кабеля

Исходные данные для расчета токов короткого замыкания:

- базисная мощность системы неограниченной мощности  $S_{\text{б}} = 300$  МВА;
- базисное напряжение  $U_{\text{б}} = 115$  кВ;
- относительное базисное сопротивление системы неограниченной мощности принято  $x_{\text{с}} = 0,3$ ;
- длина воздушной линии (ЛЭП)  $L_1 = 50$  км;
- длина кабельной линии  $L_2 = 1,5$  км;
- мощность головного трансформатора  $S_{\text{н.т}} = 100$  МВА;
- напряжение короткого замыкания  $u_{\text{к.з1}} = 10,5$  %;
- мощность трансформатора цеховой КТП  $S_{\text{тр2}} = 1600$  кВА;
- напряжение короткого замыкания  $u_{\text{к.з2}} = 6$  %

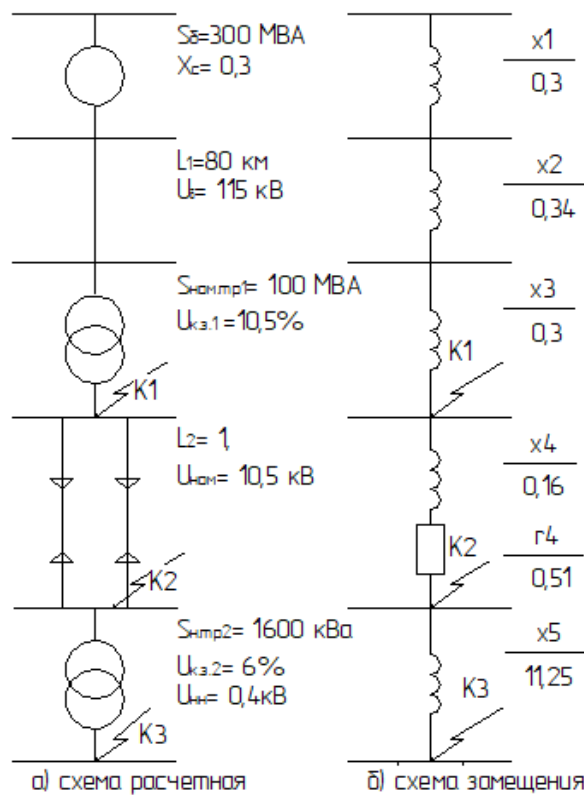


Рисунок 3 - Схема к расчету токов короткого замыкания



- сопротивление системы  $x_1$

$$x_1 = x_c = 0,3.$$

- индуктивная сопротивление высоковольтной ЛЭП  $x_2$

$$x_2 = \frac{x_0 \cdot L_1 \cdot S_6}{U_6^2},$$

где  $L_1$  – длина воздушной линии, км;

$S_6$  – базисная мощность, МВА;

$U_6$  – базисное напряжение, кВ;

$x_0 = 0,4$  Ом/км – сопротивление воздушной линии

$$x_2 = \frac{0,3 \cdot 50 \cdot 300}{115^2} = 0,34.$$

- сопротивление головного трансформатора,  $x_3$

$$x_3 = \frac{U_{к.з} \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{ном.тр1}},$$

$$x_3 = \frac{10 \cdot 300}{100 \cdot 100} = 0,3.$$

- индуктивное сопротивление кабельной линии,  $x_4$

$$x_4 = \frac{x_0 \cdot L_2 \cdot S_6}{U_6^2},$$

где  $x_0 = 0,08$  Ом/км – индуктивное сопротивление

$$x_4 = \frac{0,08 \cdot 1,5 \cdot 300}{2 \cdot 10,5^2} = 0,16.$$

- активное сопротивление кабельной линии  $r_4$

$$r_4 = \frac{r_0 \cdot L_2 \cdot S_6}{U_6^2},$$

где  $r_0 = 0,25$  Ом/км – активное сопротивление кабеля

$$r_4 = \frac{0,25 \cdot 1,5 \cdot 300}{(2 \cdot 10,5)^2} = 0,51.$$

- сопротивление трансформатора  $x_5$

$$x_5 = \frac{U_{к.з} \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{ном.тр2}},$$

$$x_5 = \frac{6 \cdot 300}{1 \cdot 160} = 11,25.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке  $k_1$

- суммарное сопротивление  $X_{\Sigma k1}$

$$X_{\Sigma k1} = x_1 + x_2 + x_3,$$

$$X_{\Sigma k1} = 0,3 + 0,34 + 0,3 = 0,94.$$

- базисный ток  $I_{61}$ , А

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}} \text{ A,}$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{300}{\sqrt{3} + 115} = 1,5 \text{ кА.}$$

- ток короткого замыкания  $I_{\text{кз1}}$  кА

$$I_{\text{кз1}} = \frac{I_{\sigma}}{X_{\text{к1}}},$$

$$I_{\text{кз1}} = \frac{1,5}{0,94} = 1,6 \text{ кА.}$$

- ударный ток короткого замыкания  $i_{y1}$ , кА

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{кз}} \text{ кА,}$$

где  $K_y = 1,8$  – ударный коэффициент для сетей высокого напряжения

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 1,6 = 4 \text{ кА,}$$

расчет токов короткого замыкания в точке  $\text{к}_2$

- суммарное сопротивление  $X_{\Sigma \text{к2}}$

$$X_{\Sigma \text{к2}} = X_{\Sigma \text{к1}} + x_4,$$

$$X_{\Sigma \text{к2}} = 0,94 + 0,16 = 1,1.$$

- полное сопротивление  $Z_{к2}$

$$Z_{к2} = \sqrt{r_4^2 + X_{\Sigma к2}^2},$$

$$Z_{к2} = \sqrt{1,1^2 + 0,51^2} = 1,36.$$

Активное сопротивление кабеля учитывается, если оно больше 1/3 суммарного индуктивного сопротивления до расчетной точки короткого замыкания.

$$r_4 < \frac{1}{3} \cdot X_{к2},$$

$$0,51 < \frac{1}{3} \cdot 1,1 = 0,36.$$

- базисный ток  $I_{б2}$ , А

$$I_{б2} = \frac{S_6}{3 \cdot U_H},$$

$$I_{б2} = \frac{300}{3 + 10,5} = 16,50 \text{ кА.}$$

- ток короткого замыкания  $I_{кз2}$ , кА

$$I_{кз2} = \frac{I_6}{X_{к2}},$$

$$I_{кз2} = \frac{16,5}{1,43} = 15 \text{ кА.}$$

- ударный ток короткого замыкания  $i_{y2}$ , кА

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к3} \text{ кА},$$

где  $k_y = 1,2$  – ударный коэффициент

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 15 = 25,45 \text{ кА}.$$

- мощность короткого замыкания  $S_{к32}$ , МВА

$$S_{к32} = \frac{S_6}{x_{\Sigma}} \text{ МВА},$$

$$S_{к32} = \frac{300}{0,98} = 220,59 \text{ МВА}.$$

Расчет токов короткого замыкания в точке  $к_3$

- суммарное сопротивление  $X_{\Sigma к3}$

$$X_{\Sigma к3} = X_{\Sigma к2} + x_5,$$

$$X_{\Sigma к3} = 1,36 + 11,95 = 13,31,$$

- базисный ток  $I_{б3}$ , А

$$I_{б3} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{нн}} \text{ А},$$

где  $U_{\text{нн}} = 0,4$  кВ – номинальное напряжение на низкой стороне трансформатора цеховой КТП

$$I_{\text{б3}} = \frac{300}{3 \cdot 0,4} = 433 \text{ кА.}$$

- ток короткого замыкания  $I_{\text{кз3}}$  кА

$$I_{\text{кз3}} = \frac{I_{\text{б}}}{X_{\text{к3}}} \text{ кА,}$$

$$I_{\text{кз3}} = \frac{433}{13,31} = 32,53 \text{ кА.}$$

- ударный ток короткого замыкания  $i_{\text{у3}}$ , кА

$$i_{\text{у3}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у}} \cdot I_{\text{кз}} \text{ кА,}$$

где  $k_{\text{у}} = 1,2$  – ударный коэффициент

$$i_{\text{у3}} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 32,53 = 55,2 \text{ кА.}$$

- мощность короткого замыкания  $S_{\text{кз3}}$ , МВА

$$S_{\text{кз3}} = \frac{S_{\text{б}}}{X_{\Sigma}} \text{ МВА,}$$

$$S_{\text{кз3}} = \frac{300}{55,2} = 5,43 \text{ МВА.}$$

## 7.1 Выбор высоковольтного кабеля

Для передачи электроэнергии большой мощности и на напряжении свыше 6 кВ служат высоковольтные (силовые) кабели. Такие кабели содержат в своей конструкции элементы, обеспечивающие надежность, долговечность использования. Кроме того, высоковольтные кабели обладают хорошими механическими и диэлектрическими свойствами. Толщина изоляции в таких кабелях составляет 4-6 мм, может быть бумажно-масляной, но чаще всего из сшитого полиэтилена. Токопроводящая жила может быть алюминиевой или медной. Также высоковольтные кабели обладают низкой горючестью с отсутствием галогенов. Допустимая температура окружающей среды при эксплуатации высоковольтных кабелей колеблется от -50 градусов до +60 градусов, при коротком замыкании – до +250 градусов. Срок службы современных высоковольтных кабелей составляет минимум 30 лет.

- Номинальный ток трансформатора  $I_{н.тр}$ ; А

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} \text{ А,}$$

где  $S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ

$$I_{н.тр} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 87,97 \text{ А.}$$

- предварительное сечение кабеля  $S$ ; мм<sup>2</sup>

$$S_э = \frac{I_{н.тр}}{\gamma_э},$$

где  $\gamma_3=1,2$  - экономическая плотность тока для алюминиевого кабеля

$$S_3 = \frac{87,97}{1,2} = 73,33 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбран кабель с алюминиевой жилой стандартного сечения  $S_{ст} = 95 \text{ мм}^2$

- проверка сечения на термическую устойчивость  $S_{мин}$ ,  $\text{мм}^2$

$$S_{мин} = \frac{I_{к.з.к.2} \cdot \overline{t_{пр}}}{c},$$

где  $c = 85$  – для кабеля с алюминиевой жилой

$$S_{мин} = \frac{11,53 \cdot \overline{0,4}}{85} = 85,79 \text{ мм}^2.$$

Окончательно к монтажу принят алюминиевый высоковольтный кабель марки (А-CREOLON 3x95 RM/10 6/10кV).



## 8 Защитные аппараты, расчет и выбор аппаратов защиты

Аппараты защиты служат для ограничения времени действия токов короткого замыкания и перегрузки, т. е. для ликвидации опасных последствий этих явлений.

- Номинальный ток  $I_{\text{ном}010}$ , А

$$I_{\text{ном}010} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta},$$

$$I_{\text{ном}010} = \frac{24 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,89} = 47,64 \text{ А.}$$

- ток теплового расцепителя  $I_{\text{т.р.}010}$ , А

$$I_{\text{т.р.}010} = 1,15 \cdot I_{\text{ном}010} \text{ А,}$$

$$I_{\text{т.р.}010} = 1,15 \cdot 47,64 = 54,78 \text{ А.}$$

- пусковой ток  $I_{\text{пуск}010}$ , А

$$I_{\text{пуск}010} = I_{\text{н}} \cdot K \text{ А,}$$

$$I_{\text{пуск}010} = 47,64 \cdot 5 = 238,2 \text{ А.}$$

- ток электромагнитного расцепителя  $I_{\text{эм.р.}010}$ , А

$$I_{\text{эм.р.}010} = I_{\text{пуск}001} \cdot 1,25 \text{ А,}$$

$$I_{\text{эм.р.010}} = 238,2 \cdot 1,25 = 297,75 \text{ А.}$$

Выбран автоматический выключатель АВВ S803N с номинальным током  $I_{\text{ном}} = 63 \text{ А}$ , током теплового расцепителя  $I_{\text{т.р}} = 63 \text{ А}$ , током электромагнитного расцепителя  $I_{\text{эл.р}} = 630 \text{ А}$ . Подключение электроприёмника выполнено кабелем ВВГнг LS 4x10, с  $I_{\text{доп.}} = 55 \text{ А}$ .

Аналогично произведен расчет и выбор автоматических выключателей и марки кабеля, сечение жилы и длительно допустимый тока для остальных электроприемников, результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчетно-монтажная

№ п/п	Наименование электроприемников (станков)	Количество электроприемников в	Номинальная мощность электроприемника $P_{н}$ , кВт	Номинальный ток электроприемника $I_{ном2}$ , А	Пусковой ток электроприемника $I_{пуск}$ , А	Номинальный ток теплового расцепителя $I_{т.р.}}$ , А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя $I_{эм.р.}}$ , А		Номинальный ток автомата $I_{ном2}$ , А	Тип выбранного аппарата	Номинально допустимый ток $I_{ном2}$ , А	Сечение провода $S_{мм^2}$ ,
						Расчетное значение	Стандартное значение	Расчетное значение	Стандартное значение				
001	Установка сушки пластмассы	2	35	69,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
002	Печь индуктивная	2	30	59,55	297,75	68,48	80	372,19	800	80	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
003	Пласт-автомат	2	24	47,64	238,2	54,78	63	297,75	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
004	Пласт-штамп	2	0,5	1	5	1,15	2	5,25	200	2	ABB S203N	19	ВВГнг LS 4x1,5
ШРА №1 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводная IP-55 $I_{ном}=400A$ ABB S5N 400 $I_{ном}=400A$													
001	Установка сушки пластмассы	2	35	69,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
002	Печь индуктивная	2	30	59,55	297,75	68,48	80	372,19	800	80	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
003	Пласт-автомат	2	24	47,64	238,2	54,78	63	297,75	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10

Продолжение таблицы 5

004	Пласт-штамп	2	0,5	1	5	1,15	2	5,25	200	2	ABB S203N	19	ВВГнг LS 4x1,5
ШРА №2 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
001	Установка сушки пластмассы	2	35	69,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
002	Печь индуктивная	2	30	59,55	297,75	68,48	80	372,19	800	80	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
003	Пласт-автомат	2	24	47,64	238,2	54,78	63	297,75	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
004	Пласт-штамп	2	0,5	1	5	1,15	2	5,25	200	2	ABB S203N	19	ВВГнг LS 4x1,5
ШРА №3 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
012	Универсальный автоматический станок чистой обработки	2	35	68,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
002	Печь индукционная	2	30	59,55	297,75	68,48	80	372,19	800	80	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
010	Станок токарный	2	24	47,64	238,2	54,78	63	297,75	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
ШРА №4 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
013	Вакуум- формовочное оборудование	2	17	33,75	168,73	38,8	50	210,91	500	50	ABB S803N	42	ВВГнг LS 4x6
014	Пресс гидравлический	2	38	75,43	377,16	86,75	100	471,45	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25

Продолжение таблицы 5

002	Печь индукционная	2	30	59,55	297,75	68,48	80	372,19	800	80	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
016	Станок производства пластиковой упаковки	2	14	27,79	138,95	31,95	40	173,69	400	40	ABB S803N	42	ВВГнг LS 4x6
ШРА №5 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line KO, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
007	Станок для нарезки резьбы	4	7	13,9	69,48	16	25	85,85	250	25	ABB S803N	19	ВВГнг LS 4x1,5
013	Вакуум- формовочное оборудование	2	17	33,75	168,73	38,8	40	210,91	400	40	ABB S803N	42	ВВГнг LS 4x1,5
012	Универсально автоматический станок чистой обработки	2	15	29,78	148,88	34,24	40	186,1	400	40	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
ШРА №6 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line KO, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =250А ABB S4N 400 I <sub>НОМ</sub> =250А													
022	Вакуум- формовочное оборудование	4	56	111,1	555,8	127,84	160	694,75	1600	160	ABB XT1B 160 TMD	145	ВВГнг LS 4x50
ШРА №7 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line KO, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =630А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =630А													
009	Козловой кран 12 тонн	1	22	43	218,35	50,22	63	272,94	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
ИР №2 ABB SR2; ABB S803N I <sub>НОМ</sub> =100А													
001	Установка сушки пластмассы	1	35	69,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
012	Универсальный автоматический станок чистой обработки	1	15	29,78	148,88	34,24	40	186,1	400	40	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10

Продолжение таблицы 5

016	Станок производства пластиковой упаковки	1	14	27,79	138,95	31,95	40	173,69	400	40	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
017	Установка плазменной руки	1	50	99,25	496,25	114,13	125	620	1250	125	ABB S803N	155	ВВГнг LS 4x35
ШРА №8 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
001	Установка сушки пластмассы	1	35	69,48	347,38	79,9	100	434,25	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25
003	Пласт-автомат	1	24	47,64	238,2	54,78	63	297,75	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x16
004	Пласт-штамп	1	0,5	1	5	1,15	2	5,25	20	2	ABB S203N	19	ВВГнг LS 4x1,5
ШРА №9 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line КО, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =250А ABB S4N 250 I <sub>НОМ</sub> =250А													
006	Шкаф сушильный	1	8	1588	79,4	18,22	25	99,25	250	25	ABB S803N	19	ВВГнг LS 4x1,5
022	Вакуум-формовочное оборудование	1	12	23,82	119,1	27,4	40	148,88	400	40	ABB S803N	35	ВВГнг LS 4x4
023	Станок горизонтально-расточный	1	3,7	7,34	36,72	8,45	16	45,9	160	16	ABB S803N	19	ВВГнг LS 4x1,5
011	Пресс-штамп	1	45	89,33	446,63	102,73	125	558,29	1250	125	ABB S803N	120	ВВГнг LS 4x35
01	Станок двухстоечный токарно-карусельный	1	16	31,76	158,8	36,52	50	198,5	500	500	ABB S803N	42	ВВГнг LS 4x6
005	Установка горячей пайки	1	21	41,69	208,43	47,94	63	260,54	630	63	ABB S803N	55	ВВГнг LS 4x10
	Конвейер подвесной	1	37	73,45	367,23	84,46	100	459	1000	100	ABB S803N	95	ВВГнг LS 4x25

Продолжение таблицы 5

022	Вакуум-формовочное оборудование	1	56	111,1	555,8	127,84	160	694,75	1600		ABB XT1B 160 TMD	145	ВВГнг LS 4x50
ШРА №10 Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line KO, 4-проводная IP-55 I <sub>НОМ</sub> =400А ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
0,17	Установка плазменной руки	2	50	99,25	496,25	114,13	125	620	1250	125	ABB S803N	120	ВВГнг LS 4x35
019	Станок двухстоечный продольно-строгательный	1	30	59,52	298,1	68,56	80	372,62	1000	100	ABB S803N	75	ВВГнг LS 4x16
ПП №2 типа ABB SR2 IP65; ABB S5N 400 I <sub>НОМ</sub> =400А													
ШМА Шинопроводная система распределения энергии "Басбар" E-Line KB, 4-проводная (корпус) I <sub>НОМ</sub> =2250А ABB Emax E2B PR121/P I <sub>НОМ</sub> =2000А													

## 9 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока

Трансформатор тока – предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.

- сравнение номинального напряжения установки и номинального напряжения установки выключателя.

$$U_{\text{НОМ ВЫКЛ}} \geq U_{\text{НОМ УСТ}}$$

$$10\text{кВ}=10\text{кВ}$$

II производим расчет номинального тока, выбор по номинальному току сводится к выбору выключателя, у которого ток является самым ближайшим к расчетному току.

- номинальный расчетный ток  $I_{\text{НОМ РАСЧ}}$

$$I_{\text{НОМ РАСЧ}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}$$

$$I_{\text{НОМ РАСЧ}} = \frac{1112,77}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 61,18 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ ВЫКЛ}} \geq I_{\text{МАКС УСТ}}$$

$$I_{\text{НОМ ВЫКЛ}} = 630\text{А}$$



$$630 \text{ A} > 61,18 \text{ A}$$

-выключатели выбираются по отключающей способности по предельно отключающему току  $I_{по}$ , т.е току, который выключатель надежно разъединяет при коротком замыкании без повреждений. Таблица №6

Таблица 6 - Высоковольтное оборудование

Выключатель вакуумный ВРС-10		Разъединитель РВ-10/400 УХЛ2		Трансформатор тока ТОЛ 10	
Расчетное	Паспортные	Расчетные	Паспортные	Расчетные	Паспортные
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 54,99 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 59,99 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 54,99 \text{ А}$	$I_H = 75 \text{ А}$
$i_y = 25,45 \text{ кА}$	$I_{откл сл} = 52 \text{ кА}$	$i_y = 25,45 \text{ кА}$	$I_{откл сл} = 52 \text{ кА}$	-	-
$I_{к.3.2} = 11,53 \text{ кА}$	$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	-	-	-	-
$I_{к.3.2}^2 \cdot t_{пр} = 15 \cdot 0,4 = 6 \text{ кА} \cdot \text{с}^2$	$I_5^2 \cdot t_5 = 20^2 \cdot 5 = 2000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$I_{к.3.1}^2 \cdot t_{пр} = 15^2 \cdot 0,4 = 6$	$I_{10}^2 \cdot t_{10} = 10^2 \cdot 10 = 1000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$K_d = \frac{i_y}{2 \cdot I_H} = \frac{25,45}{2 \cdot 0,075} = 65$	$K_d = 250$
$S_k = 306,12 \text{ МВА}$	$S_{откл} = 350 \text{ МВА}$	-	-	$K_T = I_{к.3.2} \cdot \frac{\overline{t_{пр}}}{I_H} = 15 \cdot \frac{0,4}{0,075} = 40$	$K_T = 90$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчетов, выбора решений и проведения обоснований, окончательно в проекте принято следующее:

- схема силовой распределительной сети – смешанная, в качестве распределительных шинопроводов (ШРА1-ШРА-10) применены сборные шинопроводные канальные системы “Басбар” E-Line, группы КО на номинальный ток  $I_{ном}=250 - 630A$ , с медной шиной, являющиеся четырехпроводниковыми: L1, L2, L3, N, PE (корпус) для штепсельного присоединения (втычными контактами), магистральный шинопровод на номинальный ток 2250 А и степень защиты IP55.

- выбраны распределительные пункты ПР-1 – ПР2 типа АBB SR2 на номинальные токи вводных автоматов по токам нагрузки (таблица 5).

Шинопроводные системы имеют компактную конструкцию.

Компактность конструкции обеспечивается расположением надежно изолированных и плотно сжатых плоских проводников внутри кожуха.

В цеху предусмотрена комплектная трансформаторная подстанция с трансформатором ТМГ-1600 10/0,4, мощностью 1600 кВА с напряжением первичной обмотки 10 кВ, напряжение вторичной обмотки 0,4 кВ, схемой соединения первичной и вторичной обмотки «звезда», напряжением короткого замыкания 6%, потери холостого хода  $P_0=1750$  Вт, током холостого хода  $I_{xx}=0,5\%$ , мощность короткого замыкания  $P_{к.з.}=18000$  Вт.

Цеховая подстанция связана с источником питания заводской ГПП кабельной линией. Марка кабеля А-CREOLON 3x95 RM/10 6/10кV с алюминиевой жилой.

На стороне низкого напряжения для питания электроприемников применяется пятипроводная электрическая сеть напряжение 380/220 переменного тока промышленной частоты 50 Гц, для совместного питания силовых и осветительных нагрузок.

На низкой стороне трансформатора 0,4 кВ принята схема блок «трансформатор - магистраль».

К распределительным шинопроводам ШРА подключены электроприемники с помощью ответвительных коробок с автоматическими выключателями.

В качестве защитных аппаратов предусмотрены автоматические выключатели серии АВВ S803N с разными номинальными токами, которые установлены в ответвительные коробки секций шинопроводов.

Для освещения цеха предусмотрено искусственное освещение, выполненное светодиодными светильниками LZ.OPL ECO LED 1200 в количестве 336 штук мощностью 45 Вт каждый, со световым потоком одного светильника  $\Phi = 2910$  лм.

Осветительная сеть выполнена осветительным шинопроводом.

Норма освещенности на рабочих местах цеха  $E_n = 515,3$  лк.

Для компенсации реактивной мощности предусмотрена конденсаторная установка КРМ 0,4-700-5УЗ мощностью 700 кВАр, с тремя ступенями автоматического регулирования, обеспечивающая повышение коэффициента мощности до  $\cos\varphi = 0,94$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» – от 13 ноября 2009 г.
2. ГОСТ Р 21.1101-2009 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
3. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. СПб.: Энергоатомиздат. 2017.
4. Правила технической эксплуатации электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат. 2013.
5. Афонин В.В., Набатов К.А. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. тех. университета, 2015. 90 с.
6. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2016. 288 с.
7. Балдин М.Н., Карапетян И.Г. Основное оборудование электрических сетей. Справочник. М.: ЭНАС, 2014. 208 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования: Издательский центр «Академия». 2012. – 2-е изд., перераб. и доп. – 352 с.
9. Кургузова Л.И., Кургузов Н.Н., Леньков Ю.А. Основы проектирования электрических станций. 2012. 40 с.
10. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: КноРус. 2013. 368 с.
11. Коробов Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: учебное пособие СПб.: Лань. 2014. 192 с.
12. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие. М.: МЭИ. 2013. 412 с.

13. Выключатели-разъединители 110-330 кВ. Общие технические требования // Официальный сайт ПАО "ФСК ЕЭС" URL: [http://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_atandart/doc/СТО\\_34.01-4.1-007-2018.pdf](http://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_atandart/doc/СТО_34.01-4.1-007-2018.pdf) (дата обращения: 28.05.2019).

14. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: учебное пособие для среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия. 2013. 320 с.

15. Технические требования к автоматизированному мониторингу устройств РЗА, в том числе работающих по стандарту МЭК 61850 // Официальный сайт ПАО "Россети" URL: [http://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_atandart/doc/СТО\\_34.01-4.1-007-2018.pdf](http://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_atandart/doc/СТО_34.01-4.1-007-2018.pdf) (дата обращения: 28.05.2019).

16. Электрические сети. Оборудование электроустановок [Электронный ресурс]. <http://forca.ru>. (дата обращения: 28.05.2019).

17. ПАО «РАДИУС-Автоматика». Комплекс оборудования релейной защиты и автоматики для сетей 0,4 кВ до 110 кВ [Электронный ресурс]. <http://www.rza.ru/catalog/> (дата обращения: 28.05.2019).

18. Каталог электрооборудования «Электрощит» [Электронный ресурс]. <https://electroshield.ru> (дата обращения: 28.05.2019).

19. Электроснабжение административных зданий [Электронный ресурс]/ форум для электриков: [http://projectsdevelop.com/power\\_supply\\_of\\_office\\_buildings](http://projectsdevelop.com/power_supply_of_office_buildings). (дата обращения: 28.05.2019).

20. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение. Курсовое проектирование: учебное пособие /Александров Д.С., Дубов. А.Л. СПб.: Лань. 2014. 192 с.

21. Bhalja V., Maheshwari R. P., Chothani N. Protection and Switchgear (Oxford Higher Education). 1 изд. - Oxford: Oxford University Press, 2016 576

22. Croft T., Hartwell F.P., Summers W.I. American Electricians' Handbook. 16 изд. New York City: McGraw-Hill Education, 2013. 1712 p.

23. Gönen T. Electric Power Distribution Engineering. 3 изд. Boca Raton: CRC Press, 2014. 1061 p.

24. McPartland J.F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. 320 p.

25. Ram B. Power System Protection and Switchgear. New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2011. 684 p.