



## АННОТАЦИЯ

В описанной ниже выпускной квалификационной работе бакалавра изложен процесс реконструкции системы электроснабжения холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти».

Работа раскрывает основные разделы, касающиеся реконструкции систем электроснабжения и освещения, а также предлагает технические решения для повышения надежности, энергоэффективности и эксплуатационной пригодности объекта в целом. Запас, закладываемый в работе, обеспечивает потенциал расширения технологических мощностей цеха.

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) является принятие решений, на основе которых будет проводиться реконструкция системы электроснабжения цеха предприятия.

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 60 страниц, содержит 10 таблиц, 9 рисунков, список используемых источников из 20 наименований, графическую часть на 6 листах формата А1.

## ABSTRACT

The title of the diploma paper is: «Reconstruction of the power supply system of the refrigeration department of caoutchouc production of LLC "SIBUR Tolyatti"». This graduation work is about the process of forming a power supply system reconstruction project.

The subject of the graduation work is the refrigeration department of caoutchouc production of LLC "SIBUR Tolyatti", placed in Industrial Zone of Central district of Tolyatti and, particularly, its power supply system. The key issue of the graduation work is the development of solutions for renovation of the power supply system, with is necessary for rise of safety and efficiency of power equipment. We touch upon the problem of rusty, outdated power transformers and ineffective short circuit protection system, relay and a number of other types of structures, which should conform to the existing norms and regulations. We start with the statement of the problem and then logically pass over to its possible solutions.

We study the role of reactive power compensation in the functioning of the infrastructure facility as a single unified electrotechnical complex and analyze the technical condition of it. We also examine how voltage level affect to work conditions of affects the level of illumination of industrial premises and develop solutions to improve it.

In conclusion we'd like to stress that taking into consideration the fact that the power supply system has not undergone major repairs since the construction, the graduation project will allow us to prepare for the upcoming reconstruction. The technique applied has confirmed that the state of the power supply system of the refrigeration department of caoutchouc production of LLC "SIBUR Tolyatti"» does not comply with the existing norms and rules and it needs reconstruction.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Описание объекта выпускной квалификационной работы .....	7
2 Анализ технологического плана реконструкции.....	10
3 Вычисление ожидаемых нагрузок цеха .....	13
3.1 Система освещения цеха холодильного отделения.....	14
3.2 Расчет общецеховых нагрузок.....	16
3.3 Выбор компенсирующего устройства .....	23
4 Выбор источника питания цеха .....	25
5 Выбор оборудования сети электроснабжения .....	38
5.1 Расчет аппаратов защиты .....	39
5.2 Выбор проводников цеховой сети.....	44
6 Расчет токов короткого замыкания .....	48
Заключение .....	57
Список используемых источников.....	59

## ВВЕДЕНИЕ

Главной тенденцией современной ситуации как на политической, так и на экономической арене, если рассматривать Российскую Федерацию, является постепенный отказ от продуктов промышленного производства, импортируемых из западных стран в пользу отечественных изделий и материалов. Данное явление обусловлено как санкциями иностранных держав, так и напряженной внешнеполитической обстановкой, которая обязывает наше государство стремиться к максимально возможному импортозамещению, в особенности, в области военно-промышленного комплекса.

Несмотря на тяжелую обстановку в промышленности, сложившуюся в постперестроечный период, на настоящий момент большая часть уцелевших промышленных предприятий смогла адаптироваться к непростым условиям рыночной экономики и принимает участие в борьбе за отечественные рынки сбыта практически наравне с иностранными компаниями. Этому в немалой степени способствует политика протекционизма, реализуемая нашим правительством последние несколько лет.

Одним из примеров такого возрождения, или, правильнее сказать, перерождения, является предприятие ООО «СИБУР Тольятти», расположенное в промышленной зоне Центрального района города Тольятти Самарской области. Завод, до 2016 года носивший название ООО «Тольяттикаучук» на настоящий момент вошел в холдинг химической отрасли «СИБУР».

Характерной чертой холдинга является продвижение современных технологий как в технологическом процессе, так и в сфере управления персоналом. Не обошло данное явление и сферу электроснабжения. Проведение всестороннего энергоаудита выявило значительный потенциал экономии на всех подведомственных объектах вообще и на предприятии ООО «СИБУР Тольятти» - в частности. Руководством компании было принято решение о последовательной модернизации оборудования и инженерных систем предприятия с целью экономии тепловой и электрической энергии. Часть средств изыски-

вается из бюджета компании, а другая часть обеспечивается заключением энергосервисных контрактов, причем, развитая система энергоменеджмента, внедренная на предприятии, позволит значительно повысить эффективность предлагаемых мер.

Одним из наиболее старых, а значит, нуждающихся в модернизации производств ООО «СИБУР Тольятти» является производство каучука, а в особенности, холодильное отделение данного производства. Принятое в эксплуатацию в 1951-м году, оно с тех пор не подвергалось капитальному ремонту. Следствием этого стал износ значительной части питающего оборудования (в частности, речь идет о трансформаторах), и проводников. Кроме того, необходимо отметить, что в рамках модернизации производства, программа которой принята на ООО «СИБУР Тольятти», будет производиться замена технологического оборудования, что приведет не только к изменению установленной мощности сети, но и ее конфигурации. Таким образом, использование старой системы электроснабжения становится неприемлемым.

Еще одним аспектом, склоняющим к разработке новой системы электроснабжения, является факт значительных изменений, внесенных в руководящие документы за прошедшие годы.

Таким образом, целью выпускной квалификационной работы (ВКР) является реконструкция системы электроснабжения холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти». К постановке принимаются следующие задачи: определение итоговой конфигурации технологического оборудования цеха, реконструкция системы электроснабжения на основе существующих норм и правил, а также оформление графической части ВКР с использованием полученной информации.

## 1 Описание объекта выпускной квалификационной работы

Холодильное отделение производства каучука ООО «СИБУР Тольятти» было запущено в эксплуатацию в 1951 году. Его основным предназначением является подача хладагента (рассола) для охлаждения в технологическом процессе по производству каучука. В отводе тепла, в частности, нуждаются резервуары с продуктом и ряд частей крупногабаритного оборудования, которое в противном случае будет подвергаться недопустимому нагреву. Естественное охлаждение таких установок невозможно, либо является недостаточным по ряду причин.

Основной агрегат, применяемый в холодильном отделении (ХО) на настоящий момент – холодильная турбокомпрессорная машина марки ХТМ-3-1400, выполняющая охлаждение «рассола» - смеси, используемой в качестве хладагента, а также циркуляционные насосы 12НДс, обеспечивающие циркуляцию вещества по трубам установки.

Помимо основного оборудования, в цеху присутствует ремонтное отделение, в котором расположен ряд станков, предназначенных для текущего ремонта и обслуживания объекта.

ХО получает питание от двух подстанций, которые расположены во внутрицеховом пространстве. В частности,

– ПС №5 – РУ 6 кВ и РУ 0,4 кВ (питание по КЛ В-5-1 с ГПП-1 «СИБУР Тольятти» и КЛ СК21 – с Тольяттинской ТЭЦ)

– ПС №54 – РУ 6 кВ (питание по КЛ В-54-1 и В-54-2 с ГПП-3 «СИБУР Тольятти»)

Общая пропускная способность составляет 10 МВА.

Необходимо отметить, что электрическая часть оборудования, которое эксплуатируется на заводе на настоящий момент, имеет сильный физический износ, из-за чего участились несчастные случаи и отказы.

Более того, если в случае с центробежным насосом имеется возможность подобрать комплектующие для ремонта из предложений современного

рынка, то установка ХТМ-3-1400 настолько сильно устарела, что запасные части для нее не производятся, в связи с чем ремонт ее электрической части становится значительной проблемой.

Наиболее сильные затруднения обусловлены износом электрических приводов оборудования. Если корпуса и иные части агрегатов подлежат текущему ремонту в условиях завода, то оборудования для ремонта электродвигателей (ЭД), в особенности, высоковольтных, на заводе нет. Это обуславливает необходимость отправки ЭД в ремонт на другие заводы, что зачастую крайне неудобно, а иногда – просто неприемлемо для технологического процесса. Единственным выходом в таком случае может стать остановочный ремонт, ведущий к значительным убыткам для предприятия.

Далее, необходимо затронуть также электрическую проводку и коммутационно-защитную аппаратуру холодильного отделения.

Питание оборудования ХО большей частью осуществляется по кабелям с алюминиевыми жилами, с резиновой поясной и фазной изоляциями. За десятилетия активной эксплуатации в условиях холодильного отделения кабели успели выработать установленный производителем ресурс, что приводит к частым отказам оборудования из-за коротких замыканий.

Отключение неблагоприятных режимов работы сети (в данном случае, КЗ и перегрузка) осуществляется автоматическими выключателями типа А31 УЗ в трехфазной и однофазной конфигурациях – для оборудования классов напряжения 220 и 380 В.

Многочисленные короткие замыкания, вызванные износом проводников, привели, в свою очередь, к сильному износу автоматических выключателей, который, в первую очередь, обусловлен обгоранием их контактов. Ремонтные бригады энергоцеха ООО «СИБУР Тольятти» производят периодическое обслуживание таких выключателей, однако отсутствие запасных частей не позволяет чинить их полноценно.



Защита оборудования класса напряжения 6 кВ выполнена путем использования релейной защиты на базе электромеханических реле, установленных на РУ 6 кВ.

Система освещения холодильного отделения представлена люминесцентными лампами образцов, применявшихся повсеместно в СССР для освещения технологических помещений. Имеющиеся лампы находятся в плохом состоянии – в связи с уже упоминавшейся проблемой поиска запасных частей для устаревшего оборудования, их ремонт является все более затруднительной задачей. Кроме того, иногда единственным способом ремонта лампы является извлечение из ее схемы конденсатора, предназначенного для снижения пульсации. Применение таких ламп на производстве влечет повышенную утомляемость персонала, а в случае использования в ремонтном отделении также может вызывать стробоскопический эффект, создавая опасность для жизни и здоровья работников.

Таким образом, существует необходимость реконструкции системы электроснабжения (ЭСН) холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти» с заменой изношенных электрических двигателей технологического оборудования, а также проводников и аппаратов защиты.

## **2 Анализ технологического плана реконструкции**

В соответствии с данными, предоставленными руководством отдела, ответственного за модернизацию производства каучука ООО «СИБУР Тольятти», было принято решение произвести замену технологического оборудования в целях обновления его парка и оптимизации производства.

В соответствии с данными таблицы 2.1 парк высоковольтного оборудования холодильного отделения представлен двумя типами агрегатов:

- Машина холодильная турбокомпрессорная ХТМ-3-1400
- Насос циркуляционный 12НДс

В соответствии с предоставленной ООО «СИБУР Тольятти» информацией, в связи с тем, что конструкция охлаждающего турбоагрегата серьезно устарела в целом и подверглась сильному физическому износу, машины ХТМ-3-1400, ранее установленные на предприятии, было решено заменить на более современные агрегаты – 20ТХМВ-8000 с двигателями марки СТД-2500-23 УХЛ4. Номинальная электрическая мощность такой машины составляет 2500 кВт. Против ранее установленного двигателя СТД-1600-2, имевшего мощность 1600 кВт. Увеличение номинальной мощности, и, как следствие, производительности машин позволяет снизить их количество до 5 штук (до реконструкции использовалось 7 установок).

Центробежные насосы, обеспечивающие циркуляцию рассола было решено заменить на агрегаты марки CalpedaN, оборудованные приводами ДА-304-400Х-4МУ1 (номинальная мощность 400 кВт против 320 кВт у прежних двигателей).

За счет повышения номинальной мощности и оптимизации схемы подачи рассола количество машин удалось снизить с 17 до 10 штук в соответствии с предварительными расчетами. Помимо высоковольтного оборудования, замене подверглись также устройства, работающие от напряжения 380 В. Полный перечень изменений технологического плана приведен в таблице 2.1 (1 – до реконструкции, 2 – после реконструкции).

Таблица 2.1 – Перечень технологического оборудования

Наименование	Кол-во №1, шт	P <sub>1н</sub> , кВт	Тип привода до реконструкции	P <sub>2н</sub> , кВт	Кол-во №2, шт
Низковольтное оборудование					
Сверлильный ст. (1-ф)	1	2,5	АИР 1Е 90 L2 Б3	2,5	1
Фрезерный ст.	1	10	АИР 132 S4, АИР 80 В2, АИР 63 А4	10	1
Токарно–винторезный ст.	1	10,5	АИР 132 S4, АИР 71 В4, АИР 80 В2	10,5	1
Токарно–револьверный ст.	1	28	АИР 180 S4, АИР 100 L4, АИР 80 В4	28	1
Калориферы	8	49,25	GEJZER II	49,25	8
Осевые вент-ры	8	1,1	АИР 80 А4	1,1	8
Вытяжка	12	3,8	АИР 132 S6	3,8	8
Мостовой кран	1	50	4МТКМ 200 LB8, МТКН 312-8,4МТК 200 LA8	50	1
Маслонасос ХТМ	21	3	АИР 90 L2	3	15
Вакуум-насос	1	2,8	АИР 90 L4	2,2	1
ХУ	2	55	АИР 225 М4	55	1
Насос подачи	6	7,5	АИР 112 М2	7,5	4
Насос подпитки	2	55	АИР 225 М2	55	2
Насос промежуточный	2	55	АИР 225 М2	55	2
Насос масляный	4	1,5	АИР 80 В4	1,5	3
Насос подачи масла	2	2,2	АИР 90 L4	2,2	2
Насос откачки	2	15	АИР 160 S4	15	2
Агрегат сварочный (ПВ =40%)	2	15	ПДГ - 451 У3	15	2
Наждачный ст. (1-ф)	1	2,5	АИР 1Е 90 L2 Б3	2,5	1
Заточный ст. (1-ф)	1	2,5	АИР 1Е 90 L2 Б3	2,5	1
Высоковольтное оборудование					
Турбоохладитель	7	1600	СТД – 2500 – 23УХЛ4	2500	5
Насос циркуляционный	17	320	ДА304 – 400Х – 4МУ1	400	10

Данные, предоставленные отделом, отвечающим за реконструкцию холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти» дают ясное представление о кардинальных изменениях, которые затрагивают не только токопропускную способность линий, но и их конфигурацию в целом.

Так, изменение количества высоковольтного оборудования привело к изменению положения турбоохладителей. В связи с этим изменяется также логика прокладки кабельных трасс. Изменение установленной мощности оборудования приводит к обновлению сечений питающих кабелей и, соответственно, к необходимости замены аппаратов защиты.

Комплексный подход к проведению реконструкции электрической части производства позволит обеспечить высокую технологическую гибкость холодильного отделения, надёжность его функционирования и максимальную производительность при минимальных финансовых затратах, что особенно актуально в условиях рыночной экономики.

Так или иначе, сокращение количества оборудования, в особенности – высоковольтного, не может не сказаться положительно на структуре сети. Иными словами, произойдет упрощение схемы питания холодильного отделения, что в свою очередь упростит организацию схем защиты и позволит снизить затраты времени и финансов на обеспечение селективности.

Далее, в целях сокращения затрат времени на выполнение ВКР необходимо оформить план реконструкции, в котором будут указаны основные разделы, отражаемые в работе.

### 3 Вычисление ожидаемых нагрузок цеха

Электрические нагрузки цеха определяют конфигурацию системы ЭСН. Это справедливо как, в частности, для источника питания – трансформаторной подстанции, так и для последующего выбора проводников и защитных аппаратов. Выбор производится на основании типовых статистических данных, которые определяют частоту использования и длительность включения аппаратов цеха.

Оптимальным в соотношении точность/трудоемкость способом определения нагрузки цеха промышленного предприятия является метод коэффициента максимума (в некоторой литературе – расчетного коэффициента), который более подробно описан в [15]. Общий порядок расчета в соответствии с данной методикой таков:

- Вычисляются активные, реактивные и полные мощности ЭП по группам.
- Определяются групповые параметры нагрузки (например, по шинному проводу или по пункту распределительному).
- Вычисляются эффективное (действующее) число ЭП и на его основе вычисляется т.н. коэффициент максимума.
- На базе вычисленного коэффициента определяются расчетные мощности и токи как по группам, так и по отдельным ЭП.

В связи с плотной группировкой отдельных типов оборудования холодильного отделения и удаленностью отдельных групп друг от друга наиболее удачным решением для цеха станет применение двухуровневой радиальной схемы ЭСН:

- 1-й уровень: шины ТП – пункт распределительный (РП)
- 2-й уровень: шины РП – приемники

Более подробно схема питания цеха представлена в графической части. Далее произведем расчет системы освещения цеха в программной среде DI-ALux.

### 3.1 Система освещения цеха холодильного отделения

В связи с общим износом системы освещения холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти» (см. пункт 1 данной ВКР) решено было обновить ее в рамках реконструкции системы электроснабжения. Для упрощения вычислений и, одновременно, повышения точности и наглядности результатов расчета, он производится в программной среде DIALux. Такой метод расчета, помимо прочих плюсов, рекомендован [19]

Среда в холодильном цехе относится к сухой зоне по влажности и определяется категорией А по агрессивности среды в соответствии с [7] – не является агрессивной. На основании вышеизложенного для освещения рабочего пространства решено использовать современные светодиодные светильники для освещения промышленных площадок марки: СДП СТС 01-60-107, производимые тольяттинской компанией ООО «СветТехСервис».

Для расчета в программной среде DIALux приняты следующие исходные данные (единицы измерения величин приняты в соответствии с [5]):

- Длина цеха: 81 м
- Ширина цеха: 34 м
- Высота подвеса светильников: 4 м
- Высота рабочей поверхности: 0,8 м
- Коэффициент уменьшения: 0,67
- Требуемая средняя освещенность: 400 Лк.

Результаты расчета, проведенного в программной среде DIALux приведены на рисунке 3.1. При такой конфигурации средняя освещенность составит 410 Лк при принятой в соответствии с пожеланием заказчика и требованиями [8], а также рекомендациями [20] норме освещенности 400 Лк.

Количество светильников достигло 272 штуки, а их общая мощность –  $16320 \text{ Вт} = 16,32 \text{ кВт}$ .

Таким образом, произведен расчет цеховой системы освещения. Приступим к расчету общецеховых нагрузок.

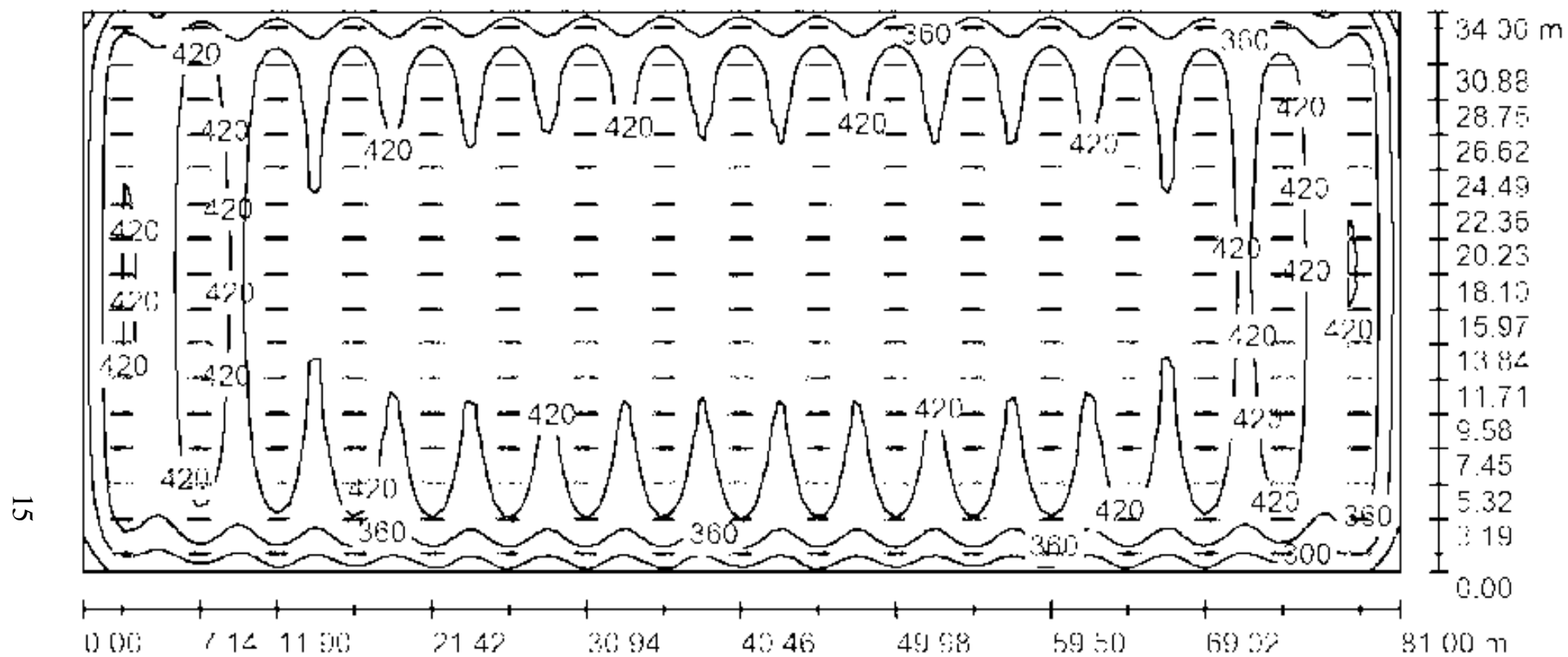


Рисунок 3.1 – Результаты расчета цеховой системы освещения

### 3.2 Расчет общецеховых нагрузок

Проведение расчета по методу коэффициента максимума предполагает формирование таблицы, которая заполняется в соответствии с типовыми формулами и методами, приведенными в [15]. Далее приведем расчетные формулы и пример расчета для электроприемников и их групп.

Первоначально определяется номинальная нагрузка, которая требуется для работы потребителя от трехфазной (3-ф) сети в долговременном режиме. В связи с наличием в цеху приемников, работающих от сети однофазной (1-ф), а также функционирующих в повторно-кратковременном режиме (ПКР), требуется их приведение к режиму: 3-ф и(или) долговременному (ДР).

– Для 3-ф, ДР приемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \quad (3.1)$$

– Для 3-ф, ПКР приемника:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \quad (3.2)$$

Пример расчета для крана мостового (см. таблицу 2.1 данной ВКР):

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 50 \cdot \sqrt{0,25} = 25 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

– Для сварочных агрегатов:

Первоначально нужно выполнить определение номинальной активной мощности, далее расчет выполняется аналогично предыдущему случаю:

$$P_{\text{пасп}} = S_{\text{пасп}} \cdot \cos\phi = 15 \cdot 0,5 = 7,5 \text{ кВт}$$
$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} = 7,5 \cdot \sqrt{0,4} = 4,8 \text{ кВт}$$

– Для 1-ф, ДР приемника – проведем расчет для группы электроприемников ремонтного отделения (сверлильный, заточный и наждачный станки). Однофазные приемники объединим в единую группу.

Они подключаются так, как показано на рисунке 3.2.



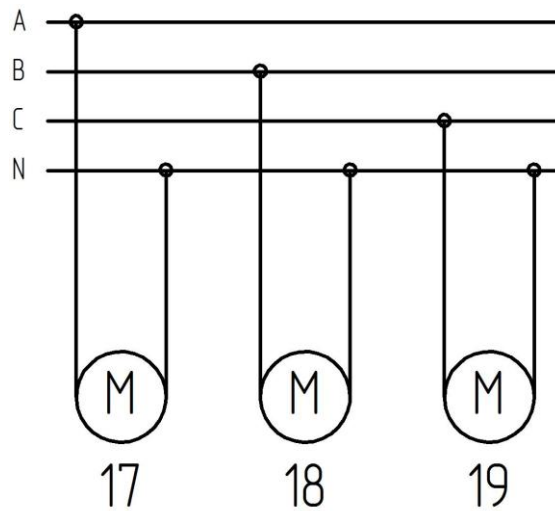


Рисунок 3.2 – Подключение однофазных ЭП к трехфазной сети

Вычисляем неравномерность загрузки по фазам:

$$H = \frac{P_{\text{фНБ}} - P_{\text{фНМ}}}{P_{\text{фНМ}}} \cdot 100\% = \frac{2,5 - 2,5}{2,5} \cdot 100\% = 0\% < 15\%$$

$$P_y = P_A + P_B + P_C = 2,5 + 2,5 + 2,5 = 7,5 \text{ кВт}$$

– Приведем пример расчета групповой нагрузки для насоса подпитки:

Определим общую номинальную мощность группы ЭП:

$$P_{\text{ном}} = 55 \text{ кВт}$$

$$n = 2 \text{ шт}$$

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 55 \cdot 2 = 110 \text{ кВт}$$

Вычисляется активная среднесменная мощность:

$$P_{\text{см}} = P_{\text{ном}\Sigma} \cdot K_{\text{и}} = 110 \cdot 0,7 = 77 \text{ кВт}$$

Здесь  $K_{\text{и}}$  – коэффициент использования этого типа оборудования по [15]

Определяется мощность реактивная среднесменная:

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 77 \cdot 0,62 = 47,74 \text{ квар}$$

Расчет прочих групп ЭП выполнен аналогично. Результаты занесены в таблицу 3.1. Далее выполним группировку второго уровня – для предварительно рассчитанных групп ЭП. Рассчитаем нагрузку по цеху.

– Вычисляем коэффициент использования общегрупповой

$$K_{и.гр.} = \sum \frac{P_{см}}{P_{ном\Sigma}} = \frac{608,72}{891,00} = 0,68$$

– Тангенс потерь средний

$$\operatorname{tg}\varphi = \sum \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{447,81}{608,72} = 0,74$$

– Число ЭП эффективное (в соответствии с [15] для данных рассчитанных значений при  $n \geq 5$ ,  $K_{и} \geq 0,2$  и  $m \geq 3$ ,  $P_{ном} \neq \text{const}$ ):

$$n_э = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{мах}} = \frac{2 \cdot 891,00}{55} = 32$$

– Определяется коэффициент максимума

Выбирается из таблицы 1.5.3 [с. 26, 1] и при  $K_{и гр} = 0,68$ ,  $n_э = 32$  равен:

$$K_M = 0,85$$

– Производится определение расчетной активной мощности:

$$P_p = \sum P_{см} \cdot K_M = 608,72 \cdot 0,85 = 517,41 \text{ кВт}$$

– Вычисляется реактивная мощность расчетная:

$$Q_p = \sum Q_{см} = 447,81 \text{ квар}$$

– Определяется полная мощность расчетная:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{517,41^2 + 447,81^2} = 684,3 \text{ кВА}$$

– Вычисляется расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{684,3}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 987,70 \text{ А}$$

Результаты произведенного расчета сводятся в ведомость цеховой нагрузки, которая в данной ВКР представлена таблицей 3.1. Там приводится подробная информация по расчету параметров каждой из групп ЭП. Эти данные впоследствии используются для выбора проводников и защитных аппаратов цеха.

Из таблицы 3.1 следуют такие положения:

- Активная расчетная мощность после реконструкции: 531,95 кВт
- Реактивная мощность после реконструкции: 454,99 квар
- Полная мощность после реконструкции: 700,00 кВА
- Расчетный номинальный ток: 1010,40 А

Рассчитаем коэффициент мощности по цеху:

$$\cos\varphi = \frac{P_{см}}{S_{см}} = \frac{625,82}{773,74} = 0,81$$

Для обеспечения большей пропускной способности сети рекомендуется поддержание коэффициента мощности на уровне 0,95. Это может быть достигнуто подключением компенсирующего устройства. Его расчет выполним далее.

Таблица 3.1 – Ведомость нагрузок по цеху сводная

Наименование группы ЭП	Кол-во ЭП	Номинальная мощность		Коэффициент использования	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	m	Среднесменная активная мощность	Среднесменная реактивная мощность,	Эффективное число ЭП	Коэффициент максимума	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Расчетная полная мощность	Расчетный номинальный ток									
		Одного ЭП	группы ЭП												Ки	$P_{cm}$	$Q_{cm}$	$n_{\Sigma}$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
		шт	кВт												кВт	-	кВт	квар	шт	-	кВт	квар	кВА
РП 1																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15									
Сварочный агрегат	1	4,8	4,8	0,2	0,5/1,73		0,96	1,66															
Группа однофазных ст.	3	2,5	7,5	0,14	0,5/1,73		1,05	1,81															
Фрезерный станок	1	10	10	0,14	0,5/1,73		1,4	2,42															
Токарно–винторезный ст.	1	10,5	10,5	0,14	0,5/1,73		1,47	2,54															
Токарно–револьверный ст.	1	28	28	0,14	0,5/1,73		3,92	6,78															
Итого по РП 1	7		60,8	0,15	0,5/1,73	>3	8,8	15,21	4	1,73	15,22	16,73	22,62	32,65									
РП 2																							
Калориферы	4	49,25	197	0,8	0,77/0,78		157,6	122,93															
Осевые вентиляторы	4	1,1	4,4	0,8	0,77/0,78		3,52	2,75															
Итого по РП 2	8		201,4	0,8	0,77/0,78	>3	161,12	125,68	8	0,91	146,62	138,25	201,52	290,87									

Продолжение таблицы 3.1

РП 3														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Мостовой кран	1	25	25	0,2	0,5/1,73		5	8,65						
Шкафы управления турбоохладителей	5	12,5	62,5	0,7	0,85/0,62		43,75	27,13						
ЭД вакуум-насоса	1	2,2	2,2	0,7	0,82/0,7		1,54	1,08						
Итого по РП 3	7		89,7	0,56	0,81/0,73	>3	50,29	36,86	7	0,93	46,77	40,55	61,9	89,34
РП 4														
Холодильная установка	1	55	55	0,5	0,89/0,5		27,5	13,75						
Насос подачи	4	7,5	30	0,7	0,85/0,62		21	13,02						
Насос подпитки	1	55	55	0,7	0,85/0,62		38,5	23,87						
Итого по РП 4	6		140	0,62	0,87/0,58	>3	87	50,64	5	0,94	81,78	55,7	98,95	145,5
РП 5														
Насос подпитки	2	55	110	0,7	0,85/0,62		77	47,74						
Насос откачки	2	15	30	0,7	0,85/0,62		21	13,02						
Сварочный агрегат	1	4,8	4,8	0,2	0,5/1,73		0,96	1,66						
Итого по РП 5	5		144,8	0,68	0,85/0,63	>3	98,96	62,42	5	0,93	92,03	68,66	114,82	165,73
РП 6														
Калориферы	4	49,25	197	0,8	0,77/0,78		157,6	122,93						
Осевые вентиляторы	4	1,1	4,4	0,8	0,77/0,78		3,52	2,75						
Итого по РП 6	8		201,4	0,8	0,77/0,78	>3	161,12	125,68	8	0,91	146,62	138,25	201,52	290,87

Продолжение таблицы 3.1

РП 7														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вытяжная система	8	5,5	44	0,8	0,77/0,78		35,2	27,46						
Насос для циркуляции масла	3	1,5	4,5	0,7	0,85/0,62		3,15	1,95						
Насос для подачи масла	2	2,2	4,4	0,7	0,85/0,62		3,08	1,91						
Итого РП 7	13		52,9	0,78	0,80/0,75	>3	41,43	31,32	13	0,9	37,29	31,32	48,7	70,3
ИТОГО														
Итого по цеху	54		891	0,68	0,59/0,74	>3	608,72	447,81	32	0,85	517,41	447,81	684,3	987,7
Освещение	232	0,06	16,32	0,95	0,92/0,42		15,50	6,51					16,81	24,29
Итого по цеху с освещением	54		909	0,69	0,58/0,73	>3	625,82	454,99	32	0,85	531,95	454,99	700,00	1010,4
Компенсация								216						
Итого с компенсацией	54		909	0,69	0,93/0,34		625,82	238,99	32	0,85	531,95	238,99	583,17	841,73

### 3.3 Выбор компенсирующего устройства

Устройство компенсации использует принцип взаимного вычитания индуктивной и емкостной составляющих реактивной мощности для подавления избыточной реактивности в сети. Такая мера позволяет повысить пропускную способность сети, и, следовательно, снизить нагрузку на питающие проводники, а особенно, на трансформаторы цеховой подстанции, что повышает срок их работы и ведет к снижению сметной стоимости. Более подробно данный процесс описан в [16]. Также преимущества компенсации реактивной мощности подтверждаются в [11].

При расчете компенсирующего устройства необходимо учитывать тот факт, что компенсация должна производиться до значения коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ) не более 0,95 и соответствующего данному углу значения тангенса ( $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$ ). Это связано с тем, что т.н. перекомпенсация (превышение значения емкостной нагрузки над индуктивной), приводит к тому, что потери напряжения в линии, питающей цех, могут приобрести отрицательное значение т.е. напряжение в начале линии станет больше, чем в конце, что может привести к негативным последствиям. Необходимо отметить, что за перекомпенсацию на потребителя накладываются штрафные санкции. Данное утверждение справедливо не только для нашей страны – в странах Евросоюза ситуация аналогична [18].

Как правило, для формирования оптимального режима компенсации реактивной мощности используются компенсирующие установки со ступенчатой регулировкой включаемой емкости. Причем, наиболее современные модели обеспечивают переключение в автоматическом режиме в зависимости от реактивной мощности, измеряемой в режиме реального времени. Предпочтение при реконструкции отдается именно таким устройствам, так как они обеспечивают качественную компенсацию при любой нагрузке, впрочем, не выходящей за рамки их установленной мощности.

Произведем расчет мощности компенсирующего устройства (КУ). Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.2

Таблица 3.2– Исходные данные

Параметр	cosφ	tgφ	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар	S <sub>см</sub> , кВА
Без компенсации	0,81	0,73	625,82	454,99	773,68

Выполним расчет мощности КУ:

$$Q_k = P_{см} \cdot \alpha \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2 = 625,82 \cdot 0,9 \cdot 0,73 - 0,33$$

$$Q_k = 225,30 \text{ квар}$$

По результатам расчета выбираем многоступенчатую конденсаторную установку с автоматическим регулированием мощности компенсации 2хУКМ-0,4-108-У3. После выбора КУ необходимо определить максимальное фактическое значение тангенса потерь:

$$\operatorname{tg}\varphi_k = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст.}}{\alpha \cdot P_{см}} = 0,73 - \frac{2 \cdot 110}{0,9 \cdot 625,82} = 0,34$$

Рассчитанные данные сведем в таблицу 3.1

Таким образом, произведена компенсация реактивной мощности цеха. В соответствии с данными таблицы 3.1 мощности, с учетом компенсации, составили:

- Активная – 531,95 кВт
- Реактивная – 238,99 квар
- Полная – 583,17 кВА

Таким образом, получены данные о расчетных параметрах цеховой сети. Теперь необходимо определить тип источника питания цеха и произвести расчет его основных параметров.



#### 4 Выбор источника питания цеха

Важнейшим аспектом разработки системы электроснабжения является определение границ ответственности, на которые распространяется влияние данных технических решений (в случае с эксплуатирующими компаниями – границ эксплуатационной ответственности). Так, в случае с разработкой системы электроснабжения понизительной трансформаторной подстанции, питаемой по воздушной линии, «верхней» границей ответственности является анкерная опора воздушной линии, от которой происходит питание подстанции, «нижней» - шины распределительного устройства низкого напряжения.

Когда речь заходит о цехе предприятия, нижней границей является конечный приемник электрической мощности – станок, система освещения и т.п. Верхней границей зоны ответственности служит либо цеховая трансформаторная подстанция, которая обеспечивает понижение напряжения, на котором электроэнергия передается в пределах предприятия, как это имеет место на предприятии ООО «СИБУР Тольятти», до напряжения питания цеховых приемников, либо шины низкого напряжения ГПП.

При определении параметров источника питания цеха холодильного отделения производства каучука будем исходить из значений ожидаемой мощности цеховой нагрузки, которая была рассчитана в пункте 3 данной ВКР.

На настоящий момент питание холодильного отделения производства каучука на заводе «СИБУР Тольятти» осуществляется от двух подстанций, которые расположены во внутрицеховом пространстве. В частности:

- ПС №5 6/0,4 кВ – РУ 6 кВ и РУ 0,4 кВ (питание по КЛ В-5-1 с ГПП-1 «СИБУР Тольятти» и КЛ СК21 – с Тольяттинской ТЭЦ)
- ПС №54 6/0,4 кВ – РУ 6 кВ (питание по КЛ В-54-1 и В-54-2 с ГПП-3 «СИБУР Тольятти»)

В рамках модернизации производства каучука решено изменить конфигурацию питающего оборудования холодильного отделения. Это обуслов-

лено тем, что, во-первых, применение двух подстанций негативно сказывается на эксплуатационной пригодности системы электроснабжения, усложняя схему питания цеха и цепей релейной защиты.

Во-вторых, общий износ трансформаторов цеха, установленных в период его постройки негативно сказывается на надежности их работы и безопасности их эксплуатации. Регулярно проводимые осмотры и текущие ремонты уже не позволяют в должной мере решить данную проблему.

На основании этого принято решение вместо двух однострансформаторных подстанций использовать для питания приемников цеха, работающих на напряжении 0,4 кВ одну двухтрансформаторную подстанцию 6/0,4 кВ с секционированием и автоматической перемычкой (АВР) на шинах низкого напряжения. Необходимость применения автоматической перемычки обусловлена тем, что цеху присвоена первая категория надежности электроснабжения по [6]. Упрощенная схема такой подстанции представлена на рисунке 4.1.

Схема с АВР на базе БМРЗ позволит обеспечить быстрый ввод резерва в случае отказа одного из силовых трансформаторов (СТ), питающих цех и предотвратит нарушение работы охлаждающих установок - перерыв в их работе может привести к нарушению технологического процесса, выпуску бракованной продукции, перегреву и разрушению частей технологических установок, что крайне нежелательно.

Таким образом, определена общая конфигурация цеховой трансформаторной подстанции холодильного отделения. Теперь необходимо выбрать тип основного устройства, которое определяет функционирование не только подстанции, но и всего цеха, а именно – силового трансформатора.

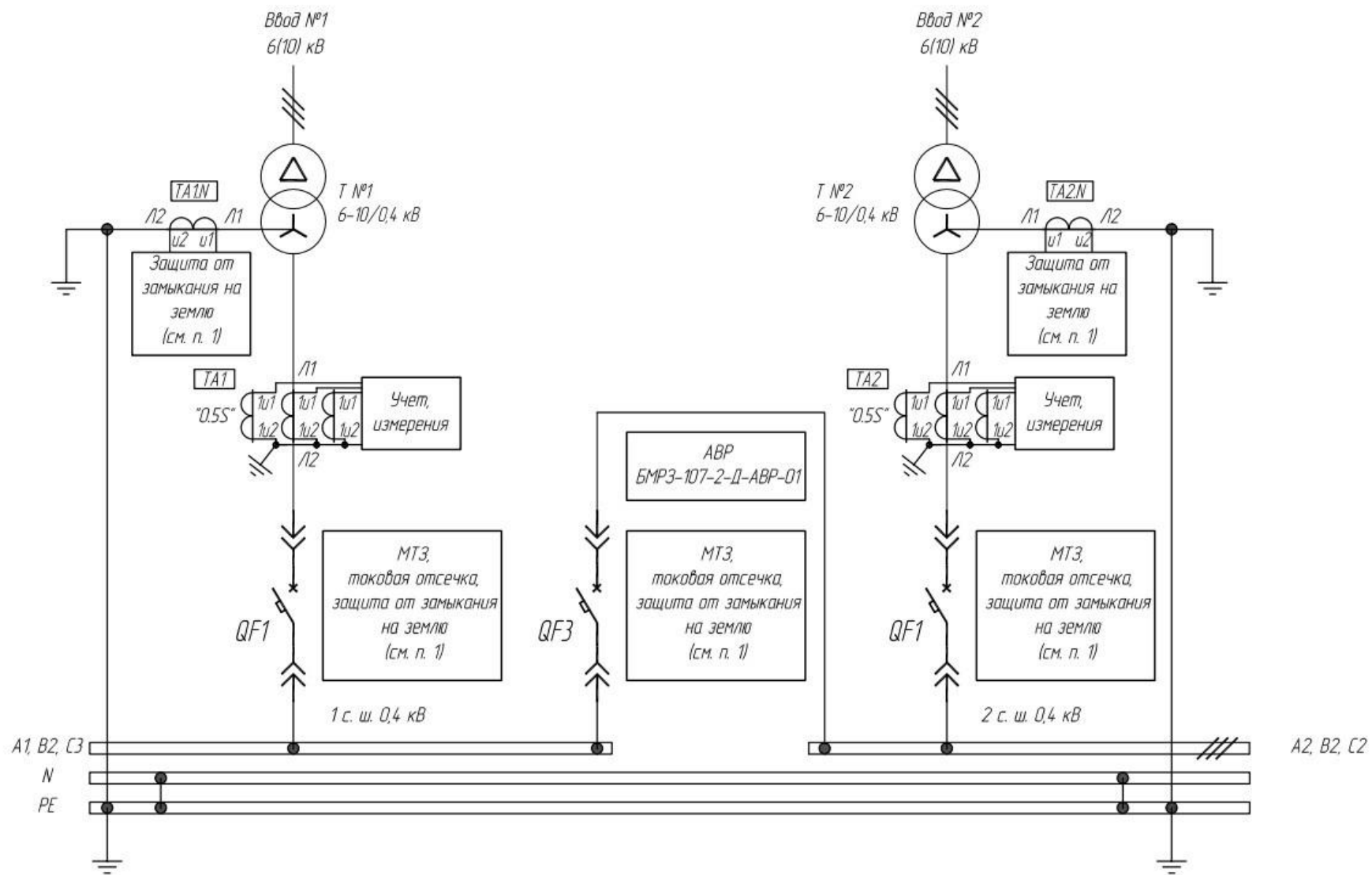


Рисунок 4.1 – Предлагаемая схема цеховой ТП

Выбор необходимо начать с типа данного устройства. На настоящий момент на рынке представлено две основных категории трансформаторов нужного класса напряжения, принципиально отличающихся типом изоляции: первый тип – традиционные масляные трансформаторы, второй тип – сухие, с литой изоляцией.

К основным преимуществам трансформаторов с литой изоляцией можно отнести сравнительно малые габариты, отсутствие необходимости в наличии масляного хозяйства, в проверке и сушке масла и проведении прочих процедур, сопутствующих эксплуатации оборудования с изоляцией из данного вещества.

Однако, преимущества таких трансформаторов играют решающее значение лишь в случае сравнительно небольших установленных мощностей. С ростом мощности СТ все ярче проявляется проблема перегрева, возникающая при малейшей перегрузке.

Еще одним существенным недостатком является общая затрудненность контроля состояния изоляции. На настоящий момент существуют современные методы анализа состояния литой изоляции, описанные, в частности в [17], но в Российской Федерации оборудование для проведения таких исследований не распространено и крайне дорого.

Учитывая, что мощность цеха, рассчитанная в пункте 3 имеет значение выше 450 кВА (максимальная мощность, на которую может быть рассчитан стандартный трансформатор с сухой изоляцией), для установки на ТП будем рассматривать СТ масляного типа.

Выбор производится на основании каталога завода Тольяттинский трансформатор, как ближайшей к объекту ВКР производственной площадки (это позволит сэкономить на доставке оборудования и упростить последующее обслуживание и ремонт). Кроме того, данный завод отличается достаточно высоким качеством производимой продукции и ответственным отношением к гарантийным обязательствам, что делает выбор очевидным. Каталог силовых трансформаторов представлен [10].

Выбор силового трансформатора производится по значению мощности, рассчитанному в пункте 3 данной ВКР. Полная мощность по цеху с учетом осветительной нагрузки и компенсации реактивной составляющей составила 583,17 кВА.

Обеспечение первой категории надежности электроснабжения по [6] требует обеспечить установку на подстанции не менее двух трансформаторов. Их мощность в соответствии с [2] должна обеспечивать потребителей электрической энергией таким образом, чтобы в режиме пиковой нагрузки, при аварийном, либо плановом отключении одного из силовых трансформаторов, коэффициент загрузки электрической машины, оставшейся в работе не превышал 1,4 (иначе говоря, 140 %) от номинальной нагрузки. На основании этого определим необходимую мощность:

$$S_{\text{ном.Т}} > 0,7 \cdot S_{\text{max}} \cdot 0,7 \cdot 583,17 \cdot 408,22 \text{кВА}$$

Рассмотрим варианты трансформаторов, которые предлагаются к продаже каталогом [10]. Учитывая современные требования к качеству электрической энергии, отраженные в [4] (в данном случае, относительно отклонений напряжения), будем рассматривать трансформаторы с ПБВ – трансформаторы с РПН на классы напряжения 6/0,4 кВ не выпускаются. Ближайшими по мощности и подходящими по классу напряжения являются следующие модели (варианты №1 и №2 – соответственно):

- ТМГ-630/6/0,4-У3
- ТМГ-1000/6/0,4-У3

Оба трансформатора сертифицированы в соответствии с [1]. Категория климатического исполнения подразумевает эксплуатацию в условиях умеренного климата (+40..-45 °С) в закрытом помещении без искусственного регулирования температуры. Характеристики трансформаторов приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики силовых трансформаторов

Напряжение обмотки, кВ		Потери, кВт		U <sub>к</sub> , %	I <sub>х</sub> , %	k <sub>ип</sub>
ВН	НН	ΔP <sub>хх</sub>	ΔP <sub>кз</sub>			
ТМГ-630/6/0,4 кВ						
6	0,4	0,95	8,40	5,5	0,80	0,05
ТМГ-1000/6/0,4 кВ						
6	0,4	1,15	10,80	5,5	0,21	0,05

Выполним расчет технико-экономических показателей для обеспечения должной доказательной базы экономической и технической целесообразности выбора того, или иного варианта. Для этого необходимо сформировать годовой график нагрузки цеховой ТП. Формирование прогнозного графика производим на основании графика за 2018-й год, предоставленного службой главного энергетика ООО «СИБУР Тольятти» и предположения, что процентное годовое распределение нагрузки цеха останется таким же, как и ранее – изменится только установленная мощность потребителя. Это верно с той точки зрения, что основные технологические процессы останутся неизменными. Прогнозный график цеховой нагрузки, построенный на основании данного предположения приведен на рисунке 4.2.

– Технико-экономический расчет для варианта №1

Обсчитываются базовые показатели для ТМГ-630/6/0,4-УЗ. Первоначально выполним определение потерь реактивной мощности.

$$Q_x = \frac{i_{xx}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{0,80}{100} \cdot 630 = 5,04 \text{квар} \quad (4.4)$$

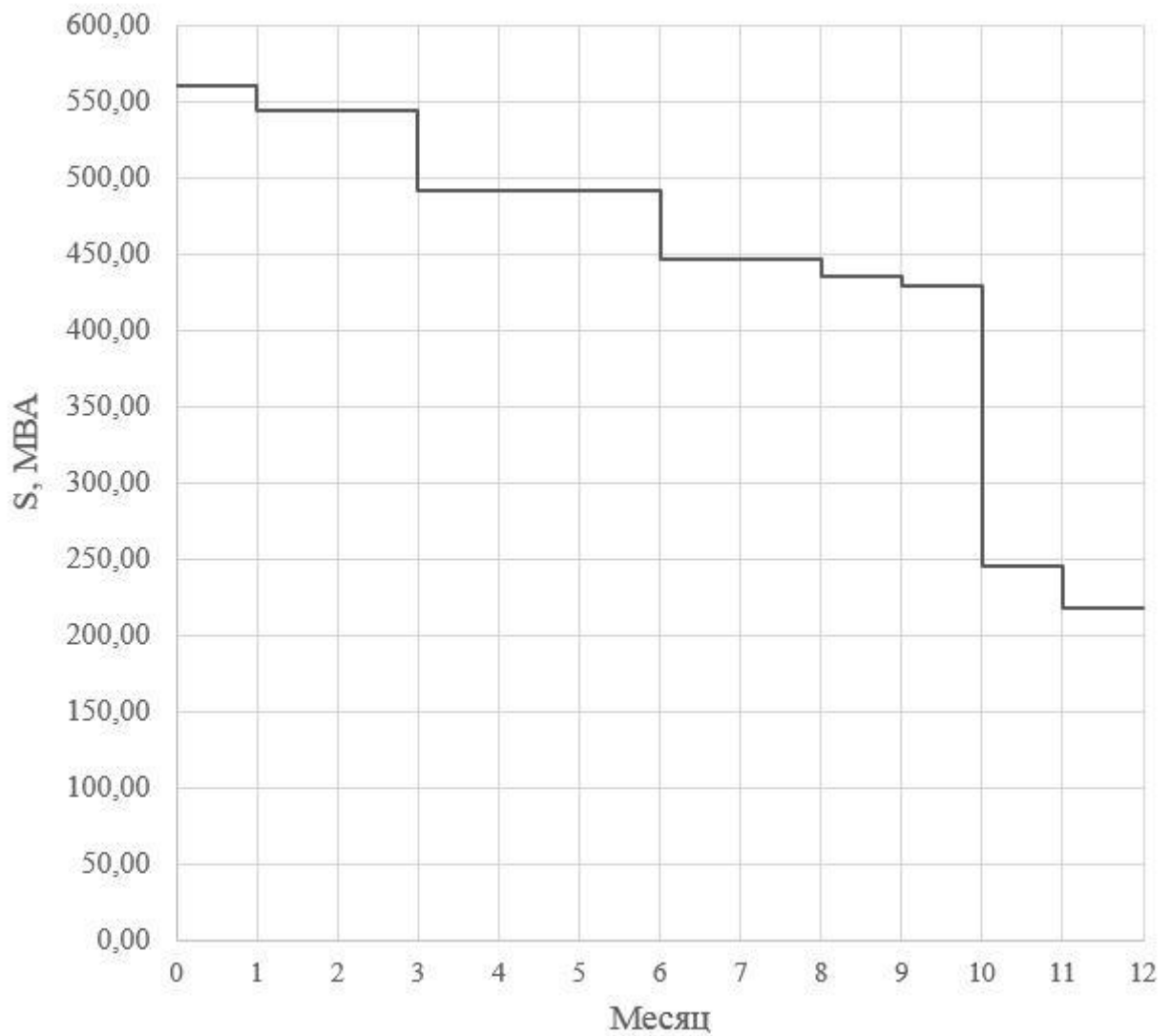


Рисунок 4.2 – Прогнозный годовой график нагрузки холодильного отделения  
Приведенные потери активной мощности для силового трансформатора (СТ). Определяются в режиме XX:

$$P'_x = \Delta P_{XX} + k_{ин} \cdot Q_x = 0,95 + 0,05 \cdot 5,04 = 1,20 \text{ кВт}$$

Коэффициенты загрузки, применительно к обмоткам НН и ВН трансформатора:

$$K_{3,В} = \frac{S_B}{S_{ном.Т}} = \frac{583,17}{630} = 0,93$$

$$K_{3,Н} = K_{3,В}$$

Определяем мощность КЗ по обмоткам:

$$P_{к.В} = P_{к.Н} = 0,5 \cdot \Delta P_{КЗ} = 0,5 \cdot 8,40 = 4,20 \text{ кВт}$$

Вычислим напряжение, возникающее на обмотках СТ (В-ВН, Н-НН) и реактивную мощность КЗ:

$$U_{к.В} = 0,125 \cdot U_{к} = 0,125 \cdot 5,50 = 0,69\%$$

$$Q_{к.В} = \frac{U_{к.В}}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{0,69}{100} \cdot 630 = 4,33 \text{ квар}$$

$$U_{к.Н} = 0,125 \cdot U_{к} = 1,75 \cdot 5,50 = 9,63\%$$

$$Q_{к.Н} = \frac{U_{к.Н}}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{9,63}{100} \cdot 630 = 60,64 \text{ квар}$$

Выполним определение приведенных потерь активной мощности КЗ для обмоток СТ:

$$P'_{к.В} = P_{к.В} + k_{ип} \cdot Q_{к.В} = 4,20 + 0,05 \cdot 4,33 = 4,42 \text{ кВт}$$

$$P'_{к.Н} = P_{к.Н} + k_{ип} \cdot Q_{к.Н} = 4,20 + 0,05 \cdot 60,64 = 7,23 \text{ кВт}$$

Производим вычисление приведенных потерь активной составляющей мощности трансформатора:

$$P'_Т = P'_x + K_{з.В}^2 \cdot P'_{к.В} + K_{з.Н}^2 \cdot P'_{к.Н} \quad (4.5)$$

$$P'_Т = 1,20 + 0,93^2 \cdot 4,42 + 0,93^2 \cdot 7,23 = 11,18 \text{ кВт}$$

Таблица 4.2 является сводной ведомостью определения суммарных потерь СТ.



Таблица 4.2 – Вычисление суммы годовых потерь СТ ТМГ-630/6/0,4-У3

i	S <sub>вi</sub> , МВА	S <sub>нi</sub> , МВА	n <sub>i</sub>	T <sub>i</sub> , ч	ΔW <sub>xi</sub>	Kз.вi	Kз.нi	ΔW <sub>к.вi</sub>	ΔW <sub>к.нi</sub>
1	560,55	560,55	2	0	0	0,89	0,89	0,0	0,0
2	543,39	543,39	2	730	1752	0,86	0,86	1200,2	1963,2
3	543,39	543,39	2	730	1752	0,86	0,86	1200,2	1963,2
4	491,91	491,91	2	730	1752	0,78	0,78	983,6	1608,9
5	491,91	491,91	2	730	1752	0,78	0,78	983,6	1608,9
6	491,91	491,91	2	730	1752	0,78	0,78	983,6	1608,9
7	446,15	446,15	2	730	1752	0,71	0,71	809,1	1323,5
8	446,15	446,15	2	730	1752	0,71	0,71	809,1	1323,5
9	434,71	434,71	2	730	1752	0,69	0,69	768,1	1256,5
10	428,99	428,99	2	730	1752	0,68	0,68	748,1	1223,6
11	245,96	245,96	2	730	1752	0,39	0,39	245,9	402,2
12	217,36	217,36	2	730	1752	0,35	0,35	192,0	314,1
Σ					19272			8923,4	14596,5
					ΔW <sub>пс</sub> = 42791,925 кВт·ч				

Рассчитаем сумму, которую предприятие выплачивает за потери в трансформаторах ПС.

$$И_{\text{э}} = W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} = 42791,93 \cdot 2 = 85,58 \cdot 10^3 \text{руб}$$

Определим единовременные капиталовложения в СТ (рыночная стоимость одного СТ умножается на их количество):

$$K = 2 \cdot 300 \cdot 10^3 = 600,00 \cdot 10^3 \text{руб.}$$

Приведем мощность трансформатора к долгосрочной перспективе. Определим величину отчислений, производимых ежегодно:

$$И_0 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,09 \cdot 600,00 \cdot 10^3 = 56,40 \cdot 10^3 \text{руб}$$

Приведенные затраты на закупку, установку и эксплуатацию СТ ТМГ-630/6/0,4 УЗ рассчитаем следующим образом:

$$\begin{aligned} Z_{\text{пр1}} &= E_{\text{н}} \cdot K + И_0 + И_{\text{э}} = 0,15 \cdot 600,00 \cdot 10^3 + 56,4 \cdot 10^3 + 85,58 \cdot 10^3 \\ Z_{\text{пр1}} &= 231,98 \cdot 10^3 \text{руб} \end{aligned}$$

Таким образом, приведенные затраты по первому варианту составили 231,98 тыс. рублей. Произведем расчет для СТ ТМГ-1000/6/0,4-УЗ. Как и в предыдущем случае, расчет выполняется по методике, описанной в [14].

– Технико-экономический расчет для варианта №2

Обсчитываются базовые показатели для ТМГ-1000/6/0,4-УЗ. Первоначально выполним определение потерь реактивной мощности.

$$Q_{\text{X}} = \frac{i_{\text{XX}}}{100} \cdot S_{\text{ном.Т}} = \frac{0,21}{100} \cdot 1000 = 2,10 \text{квар}$$

Приведенные потери активной мощности, для силового трансформатора (СТ). Определяются в режиме XX:

$$P'_{\text{X}} = \Delta P_{\text{XX}} + k_{\text{ин}} \cdot Q_{\text{X}} = 1,15 + 0,05 \cdot 2,10 = 1,25 \text{кВт}$$

Коэффициенты загрузки, применительно к обмоткам НН, СН и ВН трансформатора (в соответствии с рисунком 3.1 мощности, приходящиеся на обмотки среднего и низкого напряжения равны: 6,40 МВА и 13,00 МВА, соответственно.

$$K_{3,В} = \frac{S_B}{S_{ном.Т}} = \frac{583,17}{1000} = 0,58$$

$$K_{3,Н} = K_{3,В}$$

Определяем мощность КЗ по обмоткам:

$$P_{к.В} = P_{к.Н} = 0,5 \cdot \Delta P_{КЗ} = 0,5 \cdot 10,80 = 5,40 \text{ кВт}$$

Вычислим напряжение, возникающее на обмотках СТ (В-ВН, С-СН, Н-НН) и реактивную мощность КЗ:

$$U_{к.В} = 0,125 \cdot U_k = 0,125 \cdot 5,50 = 0,69\%$$

$$U_{к.Н} = 1,75 \cdot U_k = 1,75 \cdot 5,50 = 9,63\%$$

$$Q_{к.В} = \frac{U_{к.В}}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{0,69}{100} \cdot 1000 = 6,88 \text{ квар}$$

$$Q_{к.Н} = \frac{U_{к.Н}}{100} \cdot S_{ном.Т} = \frac{9,63}{100} \cdot 1000 = 96,25 \text{ квар}$$

Выполним определение приведенных потерь активной мощности КЗ для обмоток СТ:

$$P'_{к.В} = P_{к.В} + k_{ип} \cdot Q_{к.В} = 5,40 + 0,05 \cdot 6,88 = 5,74 \text{ кВт}$$

$$P'_{к.Н} = P_{к.Н} + k_{ип} \cdot Q_{к.Н} = 5,40 + 0,05 \cdot 96,25 = 10,21 \text{ кВт}$$

Производим вычисление приведенных потерь активной составляющей мощности трансформатора:

$$P'_T = 1,25 + 0,58^2 \cdot 5,74 + 0,58^2 \cdot 10,21 = 6,68 \text{ кВт}$$

Таблица 4.3 является сводной ведомостью определения суммарных потерь СТ.

Таблица 4.3 – Вычисление суммы годовых потерь СТ ТМГ-1000/6/0,4-У3

i	$S_{вi}$ , МВА	$S_{нi}$ , МВА	$n_i$	$T_i$ , ч	$\Delta W_{xi}$	$K_{з.вi}$	$K_{з.нi}$	$\Delta W_{к.вi}$	$\Delta W_{к.нi}$
1	560,55	560,55	2	0	0	0,56	0,56	0,0	0,0
2	543,39	543,39	2	730	1825	0,54	0,54	618,6	1100,4
3	543,39	543,39	2	730	1825	0,54	0,54	618,6	1100,4
4	491,91	491,91	2	730	1825	0,49	0,49	507,0	901,8
5	491,91	491,91	2	730	1825	0,49	0,49	507,0	901,8
6	491,91	491,91	2	730	1825	0,49	0,49	507,0	901,8
7	446,15	446,15	2	730	1825	0,45	0,45	417,0	741,8
8	446,15	446,15	2	730	1825	0,45	0,45	417,0	741,8
9	434,71	434,71	2	730	1825	0,43	0,43	395,9	704,2
10	428,99	428,99	2	730	1825	0,43	0,43	385,6	685,8
11	245,96	245,96	2	730	1825	0,25	0,25	126,7	225,4
12	217,36	217,36	2	730	1825	0,22	0,22	99,0	176,1
$\Sigma$					20075			4500,4	8005,1
					$\Delta W_{пс} = 32580,576$ кВт·ч				

Рассчитаем сумму, которую предприятие выплачивает за потери в трансформаторах ПС:

$$I_{\text{э}} = \Delta W_{\text{ПС}} \cdot C_{\text{э}} = 32580,58 \cdot 2,00 = 65,16 \cdot 10^3 \text{руб}$$

Определим единовременные капиталовложения в СТ (рыночная стоимость одного СТ умножается на их количество):

$$K = 2 \cdot 420 \cdot 10^3 = 840 \cdot 10^3 \text{руб.}$$

Приведем мощность трансформатора к долгосрочной перспективе. Определим величину отчислений, производимых ежегодно:

$$I_0 = P_{\text{сум}} \cdot K = 0,09 \cdot 840 \cdot 10^3 = 78,96 \cdot 10^3 \text{руб}$$

Приведенные затраты на закупку, установку и эксплуатацию СТ ТМГ-1000/6/0,4-УЗ рассчитаем следующим образом:

$$Z_{\text{пр2}} = E_{\text{н}} \cdot K + I_0 + I_{\text{э}} = 0,15 \cdot 840 \cdot 10^3 + 78,96 \cdot 10^3 + 65,16 \cdot 10^3$$

$$Z_{\text{пр2}} = 270,12 \cdot 10^3 \text{руб}$$

Таким образом, приведенные затраты по второму варианту составили 270,12 тыс. рублей.

Произведем сравнение вычисленных приведенных затрат для первого и второго вариантов. В первом случае значение определено суммой 231,98 тыс. рублей, а во втором – 270,12 тыс. рублей. Это позволяет прийти к выводу о целесообразности применения для установки на цеховой подстанции холодильного отделения двух СТ ТМГ-630/6/0,4 УЗ.

Далее необходимо произвести выбор проводников и защитного оборудования, на основе которых будет выполнена цеховая система электроснабжения. Расчет в данном случае производится на основе значений нагрузок, определенных в результате расчета, произведенного в рамках пункта 3 данной ВКР.

## 5 Выбор оборудования сети электроснабжения

В рамках данного пункта выпускной квалификационной работы выполняется выбор проводников, с помощью которых соединяются токоведущие части питающего оборудования и приемников, а также выбираются защитные аппараты, предназначенные для решения таких задач, как предотвращение использования проводников при нагрузках, значительно превышающих номинальные (тепловой расцепитель), и защита от коротких замыканий (электромагнитный расцепитель).

Первоначально необходимо определиться с типами используемых проводников и защитного оборудования. В связи со следованием руководства предприятия ООО «СИБУР Тольятти» доктрине импортозамещения, принятой в Российской Федерации, к установке в цехах должны, преимущественно, приниматься проводники и защитное оборудование, производимое отечественными предприятиями.

Таким образом, в рамках данного пункта производится выбор следующих элементов цеховой сети электроснабжения:

Проводники:

- Жесткие шины: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) распределительного устройства (РУ) цеховой ТП
- Кабельные линии (КЛ): СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ цеховой ТП – распределительные пункты (РП).
- Кабельные линии: РП – цеховые приемники.
- Кабели питания: РУ 6 кВ – приемники  $U_n = 6$  кВ
- Вводные аппараты защиты в линии: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ ТП
- Аппараты защиты линий: РУ ТП – РП (в ячейках РУ)
- Аппараты защиты линий: РП – потребитель

Начнем с выбора аппаратов защиты.

## 5.1 Расчет аппаратов защиты

В качестве аппаратов защиты принимаются автоматические выключатели, производимые российской компанией ИЕК.

Рассчитаем номинальный ток вводного аппарата защиты линии Т1 – СШ №1 0,4 кВ РУ ТП. Поскольку к шинам РУ подключено большое количество ЭД, формула для выбора тока теплового расцепителя примет следующий вид:

$$I_{н.р.} \cdot 1,1 \cdot \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,1 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1001,45 \text{ А}$$

По рассчитанному значению тока выберем автоматический выключатель ВА88-43 ЗР 1250А 50кА. Уставка теплового расцепителя, регулируемая по шкале (0,4-0,5-0,6-0,7-0,8-0,9-0,95-1,0) $\times I_n$ . Примем уставку  $0,9 \times I_n = 0,9 \times 1250 = 1125 \text{ А}$ .

Уставка электромагнитного расцепителя для групповой линии с несколькими ЭД принимается в соответствии со значением пикового тока, рассчитываемого по формуле:

$$I_{пик} = K_n \cdot I_{н.нб} + I_p - I_{н.нб} \quad (5.6)$$

Здесь  $K_n$  – кратность пускового тока наиболее мощного ЭД группы,  $I_{н.нб}$  – номинальный ток наиболее мощного ЭД группы (в данном случае ЭД насоса подпитки, подключенного к РП 4).

Рассчитаем номинальный ток для насоса подпитки:

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos \varphi} = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,85} = 100,54 \text{ А}$$

Рассчитаем наибольший длительный ток линий: Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ ТП.

Определим пиковый ток линии.

$$I_{\text{пик}} = 7,40 \cdot 100,54 + 910,40 - 100,54 = 1553,46 \text{ A}$$

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 910,40 \text{ A}$$

В соответствии с [15] номинальный ток электромагнитного расцепителя ( $I_0$ ) для группы с несколькими ЭД определяется из условия:

$$I_0 \geq 1,2 \cdot I_{\text{пик}} \quad (5.7)$$

Следовательно:

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot 1553,46 = 1864,15 \text{ A}$$

Настройка тока расцепителя для автоматического выключателя ВА88-43 3Р происходит по шкале: (2-4-6-8-10-12) $\times I_H$ . Примем для электромагнитного расцепителя ток  $2 \times I_H = 2250 \text{ A}$ .

Приведем пример расчета аппарата защиты для линии с одним однофазным ЭД. Расчет производится для сверлильного станка, подключенного к РП1.

$$I_{\text{н.д}} = \frac{P_H}{U_H \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{2,5}{0,22 \cdot 0,81 \cdot 0,5} = 28,06 \text{ A}$$

По рассчитанному значению тока выберем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 32А 4,5кА характеристика D ИЕК. Уставка теплового реле постоянная – 32 А. Уставка электромагнитного реле при характеристике D –  $10 I_H = 320 \text{ A}$

Определим пусковой ток двигателя:

$$I_H \cdot K_H \cdot I_{\text{н.д}} = 7,40 \cdot 28,06 = 207,64 \text{ A}$$

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_H = 1,2 \cdot 207,64 = 249,17 \text{ A}$$

Поскольку условие 5.42 выполняется, автоматический выключатель подходит для установки в линию.



Определим тип автоматического выключателя для линии без ЭД. В качестве примера рассчитаем аппарат защиты для линии питания сварочного агрегата, подключенного к РП 5:

$$I_p = \frac{S_H \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \cdot K_{зщ} = \frac{15 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} \cdot 1 = 13,71 \text{ А}$$

По рассчитанному значению тока выберем автоматический выключатель ВА47-29 3Р 16А 4,5кА характеристика С ИЕК. Уставка теплового реле постоянная – 16 А. Уставка электромагнитного реле при характеристике С –  $5 I_H = 80 \text{ А}$ . Внешний вид выключателя ВА47-29 представлен на рисунке 5.1



Рисунок 5.1 – Автоматический выключатель ВА47-29

Расчет для прочих приемников производится аналогичным образом. Результаты выбора аппаратов защиты приведены в таблице 5.1 – для групповых линий и в таблице 5.2 – для линий питания отдельных ЭП. Далее произведем выбор проводников цеховой сети ЭСН.

Таблица 5.1 – Выбор аппаратов защиты групповых линий

Линия		U <sub>н</sub> , кВ	1,1·I <sub>р</sub> , А	I <sub>н.нб</sub> , А	1,2·I <sub>пик</sub> , А	Аппарат защиты			
№	Обозначение					Марка	I <sub>н</sub> , А	I <sub>н.р.</sub> , А	I <sub>о</sub> , А
1	СШ №1 РУ ТП - РП2	0,4	221,67	99,06	855,66	ВА88-35	250	250	2500
2	СШ №1 РУ ТП - РП3	0,4	68,09	80,28	581,90	ВА88-32	125	80	800
3	СШ №1 РУ ТП - РП4	0,4	108,85	98,95	742,11	ВА88-32	125	125	1250
4	СШ №2 РУ ТП - РП1	0,4	24,88	44,00	280,08	ВА88-32	125	125	1250
5	СШ №2 РУ ТП - РП5	0,4	126,30	98,95	759,57	ВА88-33	160	160	1600
6	СШ №2 РУ ТП - РП6	0,4	221,67	99,06	855,66	ВА88-35	250	250	2500
7	СШ №2 РУ ТП - РП7	0,4	53,43	12,44	133,02	ВА88-32	125	63	630

Таблица 5.2 – Выбор аппаратов защиты отдельных электроприемников

ЭП								Аппарат защиты			
№	Наименование	P <sub>н</sub> , кВт	U <sub>н</sub> , кВ	η, %	cos φ	I <sub>р</sub> , А	1,2·I <sub>п</sub> , А	Марка	I <sub>н</sub> , А	I <sub>н.р.</sub> , А	I <sub>о</sub> , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Сварочный агрегат	4,8	0,40	-	0,5	13,87	-	ВА47-29 3P C	16	16	80
2	Токарно-винторезный ст.	10,5	0,40	81,5	0,5	37,24	260,65	ВА47-29 3P D	40	40	400
3	Токарно-револьверный ст.	28,0	0,40	90,0	0,5	89,92	629,42	ВА88-32 3P	125	100	1000
4	Заточный ст.	2,5	0,22	80,0	0,5	28,41	198,86	ВА47-29 1P D	32	32	320
5	Сверлильный ст.	2,5	0,22	81,0	0,5	28,06	196,41	ВА47-29 1P D	32	32	320
6	Наждачный ст.	2,5	0,22	83,0	0,5	27,38	191,68	ВА47-29 1P D	32	32	320
7	Фрезерный ст.	10,0	0,40	81,5	0,5	35,46	248,24	ВА47-29 3P D	40	40	400
8	Осевой вентилятор	1,1	0,40	78,5	0,77	2,63	18,41	ВА47-29 3P D	4	4	40

Продолжение таблицы 5.2

9	Калорифер	49,3	0,40	93,4	0,77	99,06	693,43	BA88-32 3P	125	100	1000
10	Вытяжная система	5,5	0,40	83,0	0,77	12,44	87,05	BA47-29 3P D	16	16	160
11	Насос циркуляции масла	1,5	0,40	79,5	0,85	3,208	22,45	BA47-29 3P D	4	4	40
12	Насос подачи масла из емкости	2,2	0,40	80,0	0,85	4,675	32,73	BA47-29 3P D	6	6	60
13	Насос для подпитки системы	55,0	0,40	94,5	0,85	98,95	692,63	BA47-29 3P D	125	100	1000
14	Насос для подачи рассола	7,5	0,40	84,0	0,85	15,18	106,26	BA47-29 3P D	16	16	160
15	Холодильная установка	55,0	0,40	94,0	0,89	95	665,02	BA47-29 3P D	125	100	1000
16	Циркул-ный насос подпитки	55,0	0,40	94,0	0,85	99,47	696,32	BA47-29 3P D	125	100	1000
17	Насос для откачки из приямка	15,0	0,40	82,0	0,85	31,1	217,70	BA47-29 3P D	32	32	320
18	Вакуум-насос	2,2	0,40	79,5	0,82	4,877	34,14	BA47-29 3P D	6	6	60
19	Мостовой кран	25,0	0,40	90,0	0,5	80,28	561,98	BA47-29 3P D	125	100	1000
20	Маслонасос холод. уст,	3,0	0,40	79,0	0,85	6,456	45,19	BA47-29 3P D	10	10	100
21	ШУ холодильной машиной	2,0	0,22	-	0,85	6,182	-	BA47-29 1P C	10	10	50
22	Шкаф ТВУ	0,5	0,22	-	0,85	1,546	-	BA47-29 1P C	2	2	10

## 5.2 Выбор проводников цеховой сети

Для формирования ошиновки трансформаторной подстанции, обеспечивающей связь между трансформатором и РУ, применяется шина алюминиевая марки АД 31. Допустимые токовые нагрузки определяются в соответствии с [9].

В качестве проводников цеховой сети ЭСН применим кабель марки ВВГнг-LS, производимые заводом ООО «ГК «Севкабель». Это кабель с медными жилами, поясной и фазной изоляцией, не поддерживающей горение, с пониженным дымогазовыделением. Несмотря на более высокую стоимость в сравнении с алюминиевым кабелем марки АВВГ, преимуществом медных кабелей является долговечность, удобство монтажа и более высокая допустимая токовая нагрузка.

Допустимые токовые нагрузки определяются в соответствии с [6].

Определение сечений производится в соответствии с [15].

Поскольку помещение холодильного отделения не является взрыво- и пожароопасным, коэффициент защиты ( $K_{зщ}$ ) принимается равным 1. Прокладка осуществляется на воздухе в перфорированных лотках.

– Определим сечение алюминиевых шин.

Длительно допустимый ток линии должен соответствовать условию:

$$I_{\text{доп}} \cdot K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{н.р.}} \quad (5.8)$$

Здесь  $I_{\text{н.р.}}$  – выбранный в пункте 5.1 номинальный ток теплового расцепителя. Пример расчета для линии Т1(Т2) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ ТП:

$$I_{\text{доп}} \cdot 1 \cdot 1125 = 1125$$

По рассчитанному току выбираем пакет алюминиевых шин 4хАД 31 60х10. Длительно допустимый ток в соответствии с [9]: 1155 А.

– Аналогичным образом выполняется расчет и выбор кабелей. Пример приведен для КЛ СШ №1 РУ – РП 2

В соответствии с таблицей 5.1 ток расцепителя автоматического выключателя в линии СШ №1 РУ – РП2 составил 250 А. Выберем кабель: ВВГнг-LS 4х95 ( $I_d = 255$  А).

Результаты выбора прочих кабелей сведем в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Выбор питающих кабелей РУ ТП – цеховые РП

Групповые линии						
Объект питания			Кабель			
№ п/п	Обозначение	$I_{д.р.},$ А	Марка	п, жил	S, мм <sup>2</sup>	$I_d,$ А
1	2	3	4	5	6	7
1	СШ №1 РУ ТП - РП2	250	ВВГнг-LS	4	95	255
2	СШ №1 РУ ТП - РП3	80	ВВГнг-LS	4	16	81
3	СШ №1 РУ ТП - РП4	125	ВВГнг-LS	4	35	131
4	СШ №2 РУ ТП - РП1	32	ВВГнг-LS	4	35	131
5	СШ №2 РУ ТП - РП5	160	ВВГнг-LS	4	50	165
6	СШ №2 РУ ТП - РП6	250	ВВГнг-LS	4	95	255
7	СШ №2 РУ ТП - РП7	63	ВВГнг-LS	4	16	81
Питание отдельных приемников						
ЭП			Кабель			
№ п/п	Наименование	$I_{д.р.},$ А	Марка	п жил	S, мм <sup>2</sup>	$I_d,$ А
1	Сварочный агрегат	16	ВВГнг-LS	4	2,5	26
2	Токарно-винторезный ст.	40	ВВГнг-LS	4	6	46
3	Токарно-револьверный ст.	100	ВВГнг-LS	4	25	107
4	Заточный ст.	32	ВВГнг-LS	2	4	34
5	Сверлильный ст.	32	ВВГнг-LS	2	4	34
6	Наждачный ст.	32	ВВГнг-LS	2	4	34
7	Фрезерный ст.	40	ВВГнг-LS	4	6	46
8	Осевой вентилятор	4	ВВГнг-LS	4	2,5	26
9	Калорифер	100	ВВГнг-LS	4	25	107
10	Вытяжная система	16	ВВГнг-LS	4	2,5	26
11	Насос циркуляции масла	4	ВВГнг-LS	4	2,5	26

Продолжение таблицы 5.3

1	2	3	4	5	6	7
12	Насос подачи масла	6	ВВГнг-LS	4	2,5	26
13	Насос подпитки системы	100	ВВГнг-LS	4	25	107
14	Насос для подачи рассола	16	ВВГнг-LS	4	2,5	26
15	Холодильная установка	100	ВВГнг-LS	4	25	107
16	Циркуляционный насос	100	ВВГнг-LS	4	25	107
17	Насос откачки из приемка	32	ВВГнг-LS	4	4	34
18	Вакуум-насос	6	ВВГнг-LS	4	2,5	26
19	Мостовой кран	100	ВВГнг-LS	4	25	107
20	Маслонасос	10	ВВГнг-LS	4	2,5	26
21	ШУ холодильной машины	10	ВВГнг-LS	2	2,5	26
22	Шкаф ТВУ	2	ВВГнг-LS	2	2,5	26

Далее необходимо произвести выбор проводников для питания оборудования класса напряжения 6 кВ. В частности, это турбинно-холодильные машины и насосы для циркуляции рассола в системе электроснабжения.

В качестве проводника выберем четырехжильный кабель с медными жилами и изоляцией из сшитого полиэтилена, производимый ООО «ГК «Севкабель» марки ПвП.

Рассчитаем ток линии:

– Для турбинно-холодильной машины:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} \cdot K_{зщ} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,95 \cdot 0,90} \cdot 1 = 281,69 \text{ А}$$

По рассчитанному значению тока выберем кабель ПвП 4x120 (длительно допустимый ток: 299 А).

– Для основного циркуляционного насоса:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} \cdot K_{зщ} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,95 \cdot 0,90} \cdot 1 = 45,07 \text{ А}$$

По рассчитанному значению тока выберем кабель ПвП 4х10 (длительно допустимый ток: 299 А).

Таким образом, в соответствии с требованиями [6] и рекомендациями [15] выполнен выбор проводников и защитных аппаратов для питающей сети цеха.

В качестве проводников, соединяющих РУ цеховой ТП с силовыми трансформаторами использованы алюминиевые шины марки АД 31, для внутрицехового электроснабжения решено применить силовой кабель марки ВВГнг-LS с медными жилами и изоляцией из ПВХ пластиката, прокладываемый открыто в перфорированных лотках. Для параллельной прокладки слаботочной сети в лотках предусмотреть перегородки. Для питания оборудования, рассчитанного на напряжение 6 кВ использован кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена марки ПвП. Данный кабель прокладывается отдельно, в лестничном лотке. Параллельная прокладка слаботочных сетей недопустима в связи с возможностью наведения помех. Такой метод рекомендован [12].

В качестве аппаратов защиты использованы блочные автоматические выключатели марок ВА-88-32, ВА-88-33 и ВА-88-35 и модульные - ВА 47-29.

Уставки выключателей обеспечивают селективность на всех участках сети питания цеха. Далее необходимо произвести расчет токов короткого замыкания.

## **6 Расчет токов короткого замыкания**

Одной из наиболее часто встречающейся в мире современной электроэнергетики проблем, с которой может столкнуться каждый, является возникновение электрического контакта в месте, в котором это не предусмотрено. Такое явление называют коротким замыканием (КЗ).

Его причиной может стать целый ряд факторов: начиная с ошибок монтажа и заводского брака электрической части оборудования и заканчивая старением изоляции, различными погодными явлениями, механическим повреждением изоляции и т.д.

Последствия короткого замыкания в значительной мере зависят от обстоятельств, в которых оно случилось. КЗ может привести к возникновению пожара, браку продукции, порче оборудования и увечьям обслуживающего персонала. В связи с этим обеспечение своевременного отключения участка цепи, на котором произошло короткое замыкание является важнейшей задачей при разработке сети электроснабжения, а расчет токов КЗ – неотъемлемой частью работы. Это подтверждается положениями [13].

Определение токов короткого замыкания начинается с вычисления параметров рассчитываемой цепи. Типовой расчет токов КЗ в цеховой сети ЭСН выполняется для наиболее мощного приемника, расположенного ближе всего к источнику питания (в данном случае – РУ 0,4 кВ ТП)

Нижеизложенные расчеты выполнены в соответствии с методикой, которая описана в [3] на расчеты токов КЗ в сетях на ступени напряжения до 1 кВ. КЗ рассчитываются в трех точках согласно схеме, изображенной на рисунке 6.1

Расчет производим для насоса подпитки, подключенного к РП 4 как для наиболее мощного и близкого к РУ 0,4 кВ ТП ЭП.

Точка К1 расположена на СШ №2 0,4 кВ РУ ТП, К2 – в РП4, К3 – на клеммах питания ЭП.



– Определение параметров схемы замещения

Первоначально определим линейные характеристики рассматриваемой цепи:

- Длина жестких шин Т2 – СШ №2 0,4 кВ РУ ТП ( $L_{Ш}$ ): 3,5 м
- Длина КЛ СШ №2 0,4 кВ РУ ТП – РП 4 ( $L_{КЛ1}$ ): 17 м
- Длина КЛ РП4 – ЭП ( $L_{КЛ2}$ ): 15 м

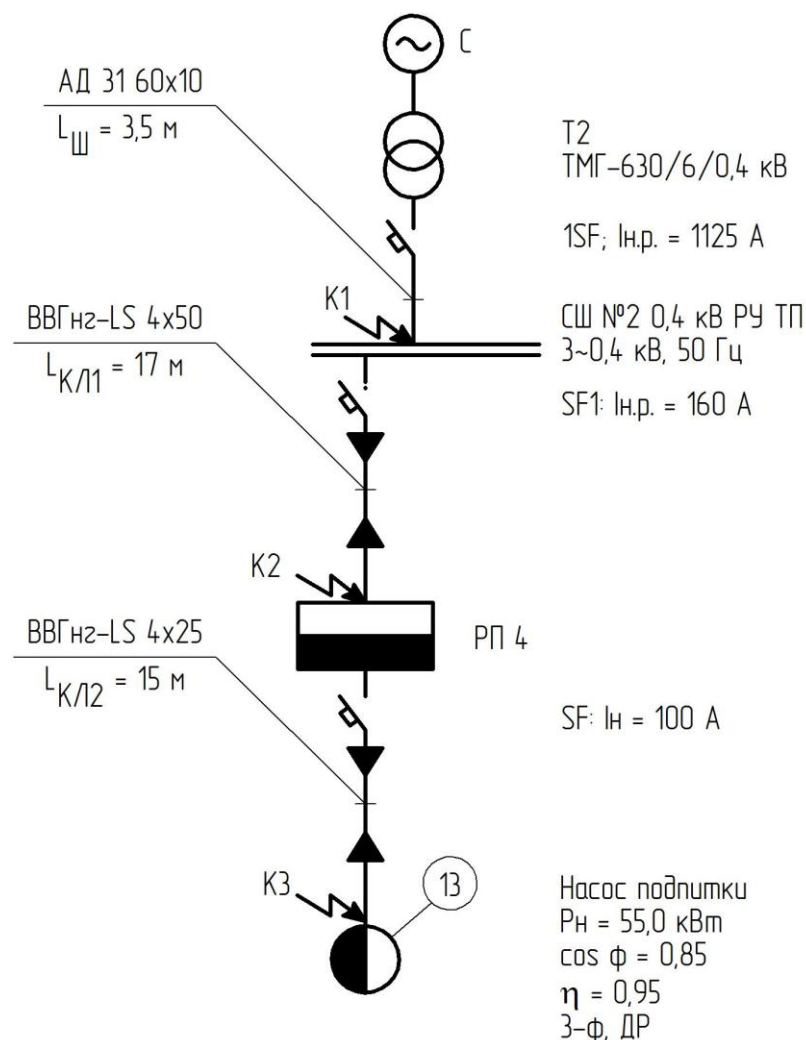


Рисунок 6.1- Расчетная схема ЭСН

Сформируем схему замещения в соответствии с расчетной схемой ЭСН. Схема замещения представлена на рисунке 6.2.

Выполним расчет параметров схемы замещения. В соответствии с данными, предоставленными проектным управлением ООО «СИБУР Тольятти», параметры системы для стороны ВН:

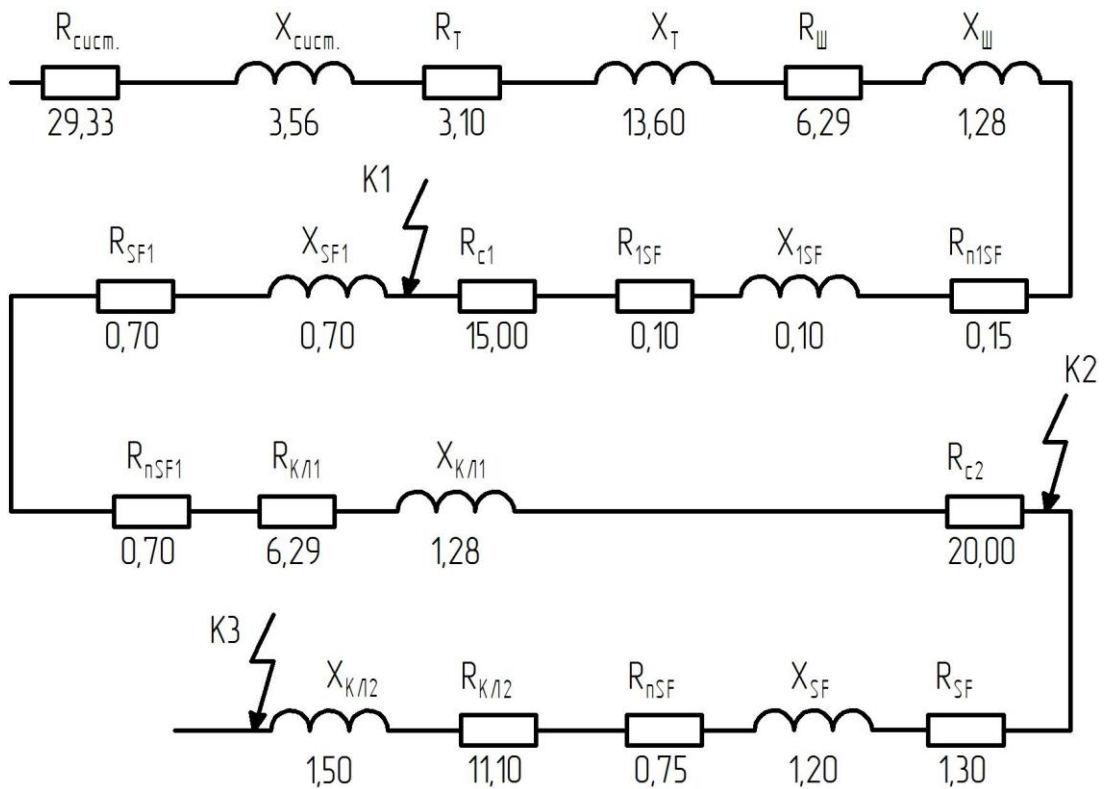


Рисунок 6.2- Схема замещения расчетной схемы ЭСН

$$X'_c = 0,8 \text{ Ом}$$

$$R'_c = 6,6 \text{ Ом}$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \cdot \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 6,6 \cdot \left( \frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 29,33 \text{ мОм}$$

$$X_c = X'_c \cdot \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 0,8 \cdot \left( \frac{0,4}{6} \right)^2 \cdot 10^3 = 3,56 \text{ мОм}$$

Для трансформатора по [15, с 61]:

$$R_T = 3,1 \text{ мОм} \quad X_T = 13,6 \text{ мОм} \quad Z_T = 14,0 \text{ мОм}$$

Для автоматов по [15, с 61]:

1SF  $R_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; X_{1SF} = 0,10 \text{ мОм}; R_{n1SF} = 0,15 \text{ мОм}$

SF1  $R_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; X_{SF1} = 0,70 \text{ мОм}; R_{nSF1} = 0,70 \text{ мОм}$

SF  $R_{SF} = 1,3 \text{ мОм}; X_{SF} = 1,2 \text{ мОм}; R_{nSF} = 0,75 \text{ мОм}$

Для шин алюминиевых (АД 31 60x10):

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,034 \cdot 3,5 = 0,12 \text{ мОм}$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,016 \cdot 3,5 = 0,06 \text{ мОм}$$

$$r_0 = 0,034 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,016 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$r_{0п} = 0,068 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_{0п} = 0,053 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

Для КЛ по [15, с 62]

КЛ1 (ВВГнг-LS 4x50):

$$r_0 = 0,37 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,085 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ1} = r_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,37 \cdot 17 = 6,29 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ1} = x_0 \cdot L_{КЛ1} = 0,085 \cdot 15 = 1,28 \text{ мОм}$$

КЛ2 (ВВГнг-LS4x25):

$$r_0 = 0,74 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,091 \frac{\text{мОм}}{\text{м}}$$

$$R_{КЛ2} = r_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,74 \cdot 15 = 11,10 \text{ мОм}$$

$$X_{КЛ2} = x_0 \cdot L_{КЛ2} = 0,1 \cdot 15 = 1,50 \text{ мОм}$$

Для ступени распределения по [15, с 62]:

$$R_{c1} = 15 \text{ мОм}; R_{c2} = 20 \text{ мОм}$$

Полученные результаты занесем на схему (рисунок 6.2)

Упростим схему замещения, вычислим эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и нанесем их на схему (рисунок 6.3)

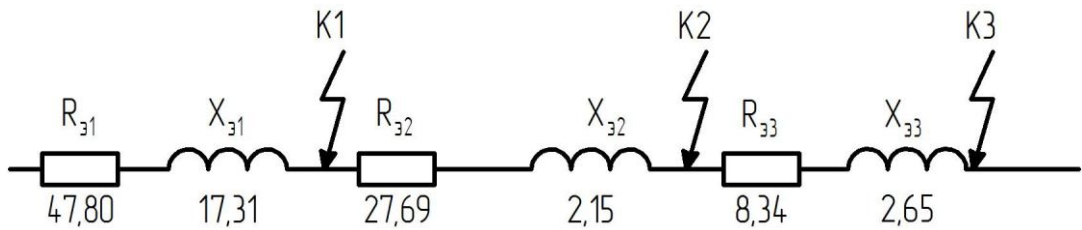


Рисунок 6.3– Эквивалентная схема замещения

Вычисляем активную составляющую сопротивления:

$$R_{\text{э1}} = R_{\text{сист}} + R_{\text{T}} + R_{\text{1SF}} + R_{\text{n1SF}} + R_{\text{III}} + R_{\text{cl}} \quad (6.9)$$

$$R_{\text{э1}} = 29,33 + 3,10 + 0,10 + 0,15 + 0,12 + 15,00 = 47,80 \text{ мОм}$$

Вычисляем реактивную составляющую сопротивления:

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{сист}} + X_{\text{T}} + X_{\text{1SF}} + X_{\text{III}} \quad (6.10)$$

$$X_{\text{э1}} = 3,56 + 13,60 + 0,10 + 0,06 = 17,31 \text{ мОм}$$

Эквивалентное активное сопротивление до точки №2:

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{SF1}} + R_{\text{nSF1}} + R_{\text{КЛ1}} + R_{\text{c2}} \quad (6.11)$$

$$R_{\text{э2}} = 0,70 + 0,70 + 6,29 + 20,00 = 27,69 \text{ мОм}$$

Рассчитываем прочие эквивалентные сопротивления:

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} = 0,70 + 1,45 = 2,15 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{э3}} = R_{\text{SF}} + R_{\text{nSF}} + R_{\text{КЛ2}} = 1,30 + 0,75 + 6,29 = 8,34 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛ2}} = 1,20 + 1,45 = 2,65 \text{ мОм}$$

Вычислим сопротивления до каждой точки К3 и занесем их в сводную ведомость (таблица 6.1):

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э1}} = 47,80 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э1}} = 17,31 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{47,80^2 + 17,31^2} = 50,84 \text{ мОм}$$

$$R_{K2} = R_{\Theta1} + R_{\Theta2} = 47,80 + 27,69 = 75,49 \text{МОм}$$

$$X_{K2} = X_{\Theta1} + X_{\Theta2} = 17,31 + 2,15 = 19,46 \text{МОм}$$

$$Z_{K2} = \sqrt{R_{K2}^2 + X_{K2}^2} = \sqrt{75,49^2 + 19,46^2} = 77,96 \text{МОм}$$

$$R_{K3} = R_{K2} + R_{\Theta3} = 61,4 + 8,4 = 69,8 \text{МОм}$$

$$X_{K3} = X_{K2} + X_{\Theta3} = 27,2 + 1,2 = 28,4 \text{МОм}$$

$$Z_{K3} = \sqrt{R_{K3}^2 + X_{K3}^2} = \sqrt{83,83^2 + 22,10^2} = 86,69 \text{МОм}$$

$$\frac{R_{K1}}{X_{K1}} = \frac{47,80}{17,31} = 2,76$$

$$\frac{R_{K2}}{X_{K2}} = \frac{75,49}{19,46} = 3,88$$

$$\frac{R_{K3}}{X_{K3}} = \frac{83,83}{22,10} = 3,79$$

– Расчет токов короткого замыкания

Определим коэффициенты  $K_y$  и  $q$  по [15, с 59]:

$$K_{y1} = F \cdot \left( \frac{R_{K1}}{X_{K1}} \right) = F \cdot 2,76 = 1$$

$$K_{y2} = F \cdot \left( \frac{R_{K2}}{X_{K2}} \right) = F \cdot 3,88 = 1$$

$$K_{y3} = F \cdot \left( \frac{R_{K3}}{X_{K3}} \right) = F \cdot 3,79 = 1$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2 \cdot K_{y1} - 1^2} = \sqrt{1 + 2 \cdot 1,0 - 1^2} = 1$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1$$

Определим 3-фазные и 2-фазные токи КЗ и занесем их в таблицу 6.1:

$$I_{K1}^3 = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 50,84} = 4,3 \text{кА}$$

$$I_{K2}^3 = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 77,96} = 2,8 \text{ кА}$$

$$I_{K3}^3 = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 86,69} = 2,5 \text{ кА}$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{K1}^3 = 4,3 \text{ кА}$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{K2}^3 = 2,8 \text{ кА}$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{K3}^3 = 2,5 \text{ кА}$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 4,3 = 6,1 \text{ кА}$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 2,8 = 4,0 \text{ кА}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^3 = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 2,5 = 3,6 \text{ кА}$$

$$I_{k1}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,3 = 3,7 \text{ кА}$$

$$I_{k2}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,8 = 2,4 \text{ кА}$$

$$I_{k3}^2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^3 = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,5 = 2,2 \text{ кА}$$

Таблица 6.1– Сводная ведомость токов КЗ

Т. КЗ	$R_k$ , МОм	$X_k$ , МОм	$Z_k$ , МОм	$R_k/X_k$	$K_y$	$q$	$I_k^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_\infty^{(3)}$ , кА	$I_k^{(2)}$ , кА	$Z_{п.}$ , МОм	$I_k^{(1)}$ , кА
К1	47,8	17,31	50,84	2,76	1	1	4,3	6,1	4,3	3,7	15,0	3,8
К2	75,49	19,46	77,96	3,88	1	1	2,8	4,0	2,8	2,4	373,0	0,5
К3	83,83	22,10	86,69	3,79	1	1	2,5	3,6	2,5	2,2	380,8	0,5

Составим схему замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 6.4)

Для шин алюминиевых:

$$R_{\text{ш}} = 2 \cdot r_{0\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} = 2 \cdot 0,03 \cdot 3,5 = 0,24 \text{ МОм}$$

$$X_{\text{ш}} = x_{0\text{ш}} \cdot L_{\text{ш}} = 0,15 \cdot 3,50 = 0,53 \text{ МОм}$$

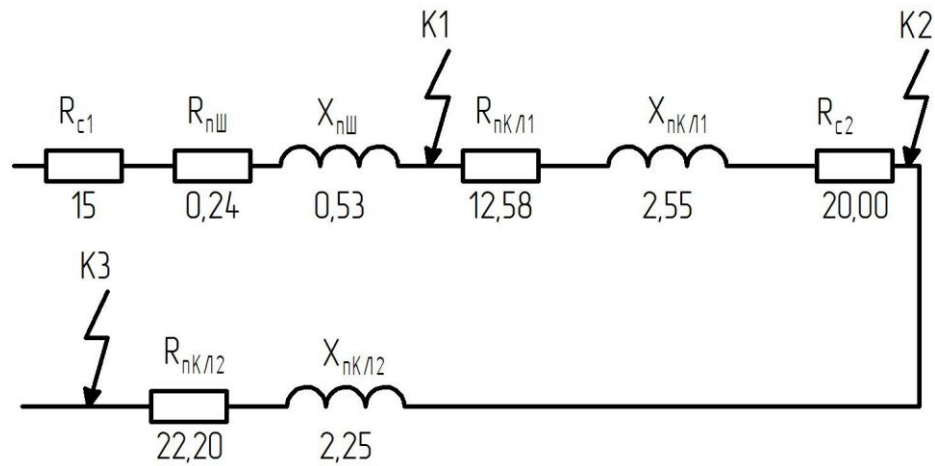


Рисунок 6.4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ  
Для кабельных линий:

$$R_{\text{пкл1}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 2 \cdot 0,37 \cdot 17,00 = 12,58 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пкл1}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,15 \cdot 17,00 = 2,55 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{пкл2}} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 2 \cdot 0,74 \cdot 15,00 = 22,20 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{пкл2}} = x_{0\text{п}} \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,15 \cdot 15,00 = 2,25 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{н1}} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{н2}} = R_{\text{с1}} + R_{\text{пкл1}} + R_{\text{нш}} + R_{\text{ншРА}} + R_{\text{с2}} = 15 + 0,24 + 12,58 + 20,00$$

$$R_{\text{н2}} = 47,82 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{н2}} = X_{\text{нш}} + X_{\text{пкл1}} = 0,53 + 2,55 = 3,07 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{н2}} = \sqrt{R_{\text{н2}}^2 + X_{\text{н2}}^2} = \sqrt{47,82^2 + 3,07^2} = 47,92 \text{ мОм}$$

$$R_{\text{н3}} = R_{\text{н2}} + R_{\text{пкл2}} = 47,82 + 22,20 = 70,02 \text{ мОм}$$

$$X_{\text{н3}} = X_{\text{н2}} + X_{\text{пкл2}} = 3,07 + 2,25 = 5,32 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{н3}} = \sqrt{R_{\text{н3}}^2 + X_{\text{н3}}^2} = \sqrt{70,02^2 + 5,32^2} = 70,22 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{к1}}^1 = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{T}}^1}{3} + Z_{\text{н1}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 15} = 3,8 \text{ кА}$$

$$I_{\text{к2}}^1 = \frac{V_{\text{кф}}}{\frac{Z_{\text{T}}^1}{3} + Z_{\text{н2}}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 47,92} = 2,4 \text{ кА}$$

$$I_{к3}^1 = \frac{V_{кф}}{\frac{Z_{Г}^1}{3} + Z_{п3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{129}{3} + 70,22} = 1,9 \text{ кА}$$

Результаты расчета занесем в сводную ведомость токов КЗ (таблица 7.1).

Таким образом произведен расчет токов короткого замыкания, который позволяет определить пригодность выбранного оборудования к эксплуатации в аварийном режиме.

Полученные значения токов короткого замыкания позволяют прийти к выводу, что выбранное оборудование пригодно к эксплуатации в данной системе электроснабжения и будет исправно исполнять возложенные на него задачи как в условиях нормального функционирования сети, так и в аварийных режимах.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы является принятие решений, касающихся реконструкции системы электроснабжения холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти».

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы подробно рассмотрены различные аспекты, предшествующие выполнению ВКР. Первым из таковых стало определение действительного технического состояния объекта и выявление соответствия его конфигурации современным нормам и требованиям. Определено, что объект нормам не соответствует, а материальная часть системы электроснабжения имеет значительный износ.

Произведен анализ плана модернизации производства, предложенный представителями ООО «СИБУР Тольятти» и определены основные направления реконструкции.

По окончании формирования плана выполнен расчет ожидаемых электрических нагрузок цеховой сети. Выполнен расчет системы освещения – ее решено выполнить светильниками СДП СТС 01-60-107. 272 светильника, каждый из которых оборудован светодиодными лампами, имеющими мощность 60 Вт, образуют систему освещения суммарной мощностью 16,32 кВт.

Определены расчетные нагрузки по цеху, выявлена необходимость компенсации реактивной мощности. В результате расчета к установке в цеху определены 2 КУ УKM-0,4-108-У3. Их суммарная мощность составляет 216 квар. По итогам компенсации значения расчетных мощностей составили: 531,95 кВт; 238,99 квар и 583,17 кВА для активной, реактивной и полной мощностей соответственно.

Затем выполнен выбор источника питания цеха. Принято решение использовать для данной цели два масляных трансформатор марки ТМГ-630/6/0,4 кВ, производимые заводом ООО «Тольяттинский трансформатор». Поскольку в цехе присутствуют ЭП с первой категорией надежности элект-

троснабжения, в РУ 0,4 кВ ТП используется автоматическая перемычка с БМРЗ для АВР.

Произведен выбор оборудования сети электроснабжения цеха, включающий в себя выбор проводников и защитной аппаратуры на стороне 0,4 кВ, а также проводников, питающих потребители от РУ 6 кВ.

Для защиты линий решено использовать автоматические выключатели производства компании ИЕК блочного (ВА-88 - для больших токов) и модульного (ВА47-29 – для меньших значений токов) типов.

В качестве проводников на стороне 0,4 кВ используются кабели марки ВВГнг-LS (ПВХ изоляция), на стороне 6 кВ – марки ПвП (изоляция из сшитого полиэтилена).

В финальном пункте ВКР были рассчитаны токи короткого замыкания, протекающие в рассматриваемой сети ЭСН в аварийном режиме. Наиболее опасными короткими замыканиями для точек К1 – К3 являются трехфазные КЗ. Их токи (в установившихся режимах) составили: 4,3; 2,8; 2,5 А – соответственно.

Таким образом, разработаны решения по реконструкции системы электроснабжения холодильного отделения производства каучука ООО «СИБУР Тольятти». Цель выпускной квалификационной работы достигнута.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 12965-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. М. : Стандартиформ, 1985. 60 с.
- 2 ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М. : Стандартиформ, 1985. 20 с.
- 3 ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках М. : Стандартиформ, 1993. 109 с.
- 4 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартиформ, 2012. 20 с.
- 5 ГОСТ 8.417 - 2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М. : Стандартиформ, 2002. 33 с.
- 6 ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М.: Стандартиформ, 2001. 330 с.
- 7 СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М. Стандартиформ, 2017. 127 с.
- 8 СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М. : Стандартиформ, 2011. 114 с.
- 9 Длительно-допустимый ток для алюминиевой шины // Официальный сайт ООО «Невская алюминиевая компания». URL: <http://spbalum.ru/manual/alyuminievaya-shina-tok> (дата обращения: 20.05.2019).
- 10 Номенклатурный каталог ОАО «Тольяттинский трансформатор» // Официальный сайт ООО «Тольяттинский трансформатор». URL: [http://transformator.com.ru/docs/Номенклатурный%20каталог%20продукции%20ООО%20%20\\_Тольяттинский%20Трансформатор\\_%20%28995514%20v3%29.pdf](http://transformator.com.ru/docs/Номенклатурный%20каталог%20продукции%20ООО%20%20_Тольяттинский%20Трансформатор_%20%28995514%20v3%29.pdf) (дата обращения: 14.04.2019).
- 11 Косоухов Ф. Д. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке : учеб. пособие. М. : Лань, 2016. 561 с.

12 Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие. СПб. : Лань, 2018. 396 с.

13 Привалов Е. Е. Основы электробезопасности : учеб. пособие. Ставрополь : СтГАУ «АГРУС», 2016. 132 с.

14 Земцов А.И., Вокин И.А. Проектирование главной понизительной подстанции предприятия : учеб. пособие. Самара : СГТУ, 2015. 101 с.

15 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2016. 214 с.

16 Israa T.A., Jin H., Abduljabbar I.H., Hussien Z.A., Flaih M.F. A Lightweight Scheme to Authenticate and Secure the Communication in Smart Grids // Applied sciences. 2018. Vol. 8. PP. 1-13.

17 Negoit A., Tokar A., Negoit D., Hamat C. Energy Efficiency of Technological Equipment at the Economic Agent by Identifying the Points with Recoverable Heat Potential // Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita. 2017. Vol. 24. № 1. PP. 257-266.

18 Nesarajah M., Frey G. Optimized Design of Thermoelectric Energy Harvesting Systems for Waste Heat Recovery from Exhaust Pipes // Applied sciences. 2017. Vol. 7. PP. 634-646.

19 Patrascu R., Minciuc E., Darie G., Voronca S.D., Badicu A.I. Energy efficiency solutions for driers used in the glass manufacturing and processing industry // De gruyter open. 2017. Vol. 21. PP. 199-208.

20 Wang X., Huang C., Zou Z. The analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions of a large-scale commercial building in Shanghai, China // Advances in Mechanical Engineering. 2016. Vol. 8. PP. 1-8.