

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения установки выделения
концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук»

Обучающийся

О.Е. Корчагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2022

Аннотация

В основе данной работы лежит описание разработки проекта реконструкции системы электроснабжения установки выделения концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук».

Описаны этапы расчета и выбора оптимальных технических решений по обеспечению бесперебойного электроснабжения оборудования установки электрической энергией при сохранении должного уровня безопасности. Приведено обоснование избранных путей решения объективно существующих проблем.

Рассмотрены теоретические выкладки, обеспечивающие надежность и долговечность системы в целом и практические аспекты монтажа проводников и оборудования с опорой на параметры рассматриваемого объекта. Результатом выполнения работы является базовый проект, технические решения, изложенные в котором, могут быть использованы при формировании проекта стадии «П».

Выпускная квалификационная работа выполнена в объеме 65 страниц, содержит 13 таблиц, 12 рисунков, список используемых источников из 20 наименований, графическую часть на 6 листах формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия	6
2 Расчет системы электроснабжения предприятия	13
2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия	14
2.2 Система освещения цеха	16
2.3 Расчет общецеховых нагрузок	19
2.4 Выбор компенсирующего устройства	27
3 Выбор источника питания цеха.....	29
4 Выбор электрических аппаратов и проводников	32
4.1 Выбор аппаратов защиты	33
4.2 Выбор проводников.....	40
5 Короткие замыкания	44
5.1 Проверка автоматических выключателей на электродинамическую стойкость.....	53
6 Выбор основного электрооборудования и его проверка	56
6.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	58
7 Расчет контура заземления производственного корпуса	61
Заключение	62
Список используемых источников.....	64

Введение

В условиях санкционного давления и нарастающей напряженности международной обстановки все более суровые санкции блокируют развитие экономики Российской Федерации. На сегодняшний день как никогда важно обеспечить ускоренный рост и развитие производства оборудования и материалов отечественного производства. Помимо повышения качества и ассортимента сырья, всесторонней оптимизации производственных процессов, решения кадровых и экономических вопросов, существует проблема, всецело актуальная для крупных российских предприятий.

В частности, речь идет о стремительном моральном и физическом устаревании как отдельных единиц оборудования, так и всего технологического комплекса в целом. Многие предприятия, построенные во времена СССР, на настоящий момент вынуждены в срочном порядке выполнять модернизацией производства – не столько для повышения объемов и собственного экономического роста, сколько для выживания комплекса в целом. В особенности это касается предприятий, нарушение производственного цикла которых приводит к тяжелым экологическим последствиям и создает опасность для жизни и здоровья людей, а именно – предприятий химической промышленности.

Особенно хочется отметить завод ООО «Тольяттикаучук», расположенный в городе Тольятти Самарской области. Первые установки данного предприятия запущены в эксплуатацию в далеком 1964-м году. На момент выхода на проектную мощность в 1968 году завод был лидером СССР по производству изопреновых каучуков не только в аспекте количества, но и ассортимента данного сырья. На настоящий момент можно с уверенностью сказать, что, не смотря на прошедшее с тех пор время, предприятие по сей день остается одним из столпов химической промышленности теперь уже Российской Федерации, производя качественное отечественное сырье для

привычных нам предметов быта и обихода, а также элементов, широко применяемых в промышленности.

На сегодняшний день большая часть установок, запущенных в 60-е – 80-е годы уже прошли частичную реконструкцию, глубина которой зависит от множества факторов. Одним из наиболее «горячих» вопросов для всех цехов завода является реконструкция системы электроснабжения.

Поскольку с точки зрения технологии она является вспомогательной, ее ремонт ограничивался текущими, поддерживающими процедурами, что негативным образом отразилось на состоянии системы в целом. Цех, для которого характерны наиболее серьезные проблемы с электроснабжением - установка выделения концентрированного изобутилена (БК-4), пущенная в эксплуатацию в 1982 году. Ряд технологических реконструкций, а также аварий разной степени тяжести привел к тому, что на сегодняшний день система электроснабжения не имеет четкой структуры, изначально существующие кабельные трассы забиты старыми нефункциональными проводниками попеременно с действующими. Большая часть электрооборудования не соответствует современным нормам безопасности.

Подобное суждение касается и коммутационной аппаратуры, часть из которой изношена, а другая бессистемно модернизирована, порой без соблюдения надлежащих правил проектирования и монтажа. В условиях опасного производства такая обстановка категорически неприемлема.

На основании вышеизложенного заключим, что целью данной выпускной квалификационной работы является формирование проекта реконструкции системы электроснабжения установки выделения концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук»

1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия

ООО «Тольяттикаучук» (ранее, с 2016-го по 2022-й годы – ООО «СИБУР Тольятти») – является предприятием стратегического значения не только для города Тольятти (завод расположен в северном промышленном узле Центрального района), но и для всей Российской промышленности. Давая рабочие места более, чем 3,5 тысячам штатных сотрудников и сотням подрядчиков, данный завод является ключевым производителем широчайшего спектра марок синтетических каучуков в регионе, обеспечивая качественным бюджетным сырьем множество предприятий отечественной промышленности.

Установки первой очереди предприятия приняты в эксплуатацию в СССР, в далеком 1961-м году. Уже к концу 1969 года была запущена в работу третья очередь установок, сделав завод лидером СССР как по объему выпускаемой продукции, так и по ее ассортименту.

Пережив спад производства в 1990-е годы, завод успешно вписался в рыночную экономику и на настоящий момент занимает одну из лидирующих позиций на отечественном рынке синтетических каучуков. Однако, как и было сказано ранее, после выхода предприятия на полную мощность особенно остро встала проблема износа оборудования, часть которого не подвергалась капитальному ремонту с момента ввода в эксплуатацию.

Еще одним вопросом, остро стоящим на повестке дня, является вопрос автоматизации производства. В условиях рыночной конкуренции единственным способом «остаться на плаву» является всесторонняя оптимизация. Одним из способов таковой является автоматизация процесса, внедрение системы АСУТП – автоматизированной системы управления технологическим процессом. Особенно необходима она на химических предприятиях, где точный контроль всех показателей технологического процесса необходим не только для обеспечения высокого качества продукции, но и для поддержания безопасности на производстве, так как чем меньше в

процессе задействован человеческий фактор, тем меньше всевозможных сбоев и травм.

Обеспечение круглосуточного мониторинга показателей давления, температуры, расхода субстанций и проч., а также удаленное управление системами цеха уменьшает количество персонала, необходимое для поддержания нормальной работы производства.

Основываясь на вышеизложенном, можно сказать, что проведение всесторонней реконструкции цехов с применением современных систем контроля и управления технологическим процессом стало основной тенденцией развития производства на ООО «Тольяттикаучук» параллельно технологической оптимизацией производственных цепочек.

Одной из главных проблем, с которыми столкнулось управление капитального строительства завода при подготовке к реконструкции установок стало неудовлетворительное техническое состояние оборудования, несущих элементов строительных конструкций и, в особенности, инженерных систем. Отдельно хотелось бы остановиться на последних. Особенно значительной проблемой оказалось состояние сетей электроснабжения.

Спроектированные и смонтированные в соответствии со стандартами и приемами монтажа 1960-х – 1970-х годов, они не соответствовали нормам и требованиям 21-го века к эксплуатационной пригодности и безопасности уже на момент сдачи установок в эксплуатацию. Одной из наиболее сложных в данном аспекте является установка выделения концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук» (БК-4). Данная установка пущена в работу в 1982 году и ее основным назначением является извлечение изобутилена из изобутиленсодержащих фракций.

В ходе текущего и аварийного ремонта силовые и контрольные кабели системы электроснабжения получали повреждения в результате влияния агрессивных сред, коротких замыканий и иных негативных факторов. Замещающие коммуникации прокладывались поверх существующих,

создавая переплетения и переполняя кабельные лотки, забивая иные несущие конструкции (рисунок 1).



Рисунок 1– Кабельная трасса ООО «Тольяттикаучук»

В некоторых местах можно наблюдать монтаж новых кабельных лотков поверх существующих. Это значительно осложняет тушение огня в случае возгорания (некоторые кабели не подвергались замене с 1982 года и создают высокую вероятность возникновения КЗ).

Не лучше обстоят дела и с защитной аппаратурой. Особенно это заметно по состоянию распределительных устройств. В случае с БК-4 ситуация с распределительным устройством подстанции (РУ 0,4 кВ) складывается следующим образом.

Во-первых, в РУ установлены как старые коммутационные аппараты, сохранившиеся с времен сотворения цеха (рисунок 2), так и новые, смонтированные в рамках частичных реконструкций в прошлом (рисунок 3). Однако, необходимо отметить, что высокотехнологичные блоки управления насосами, которые можно увидеть на рисунке 3 используются исключительно

в качестве устройств плавного пуска в связи с отсутствием должных схем управления оборудованием.

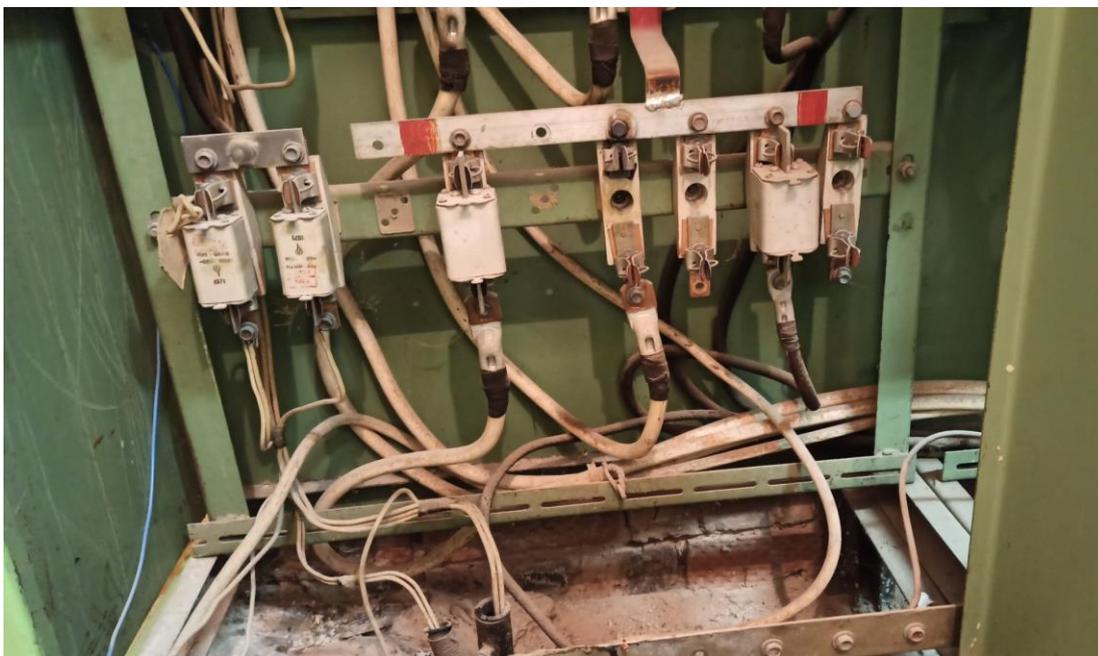


Рисунок 2– Старое РУ установки БК-4



Рисунок 3 – Новые блоки управления насосами

Не менее плачевно складывается ситуация с вводом кабельных трасс в оборудование на местах. Большая часть уплотнений на вводах сильно изношена, что создает опасность проникновения воды, используемой в технологическом процессе внутрь силовых агрегатов с их последующим выходом из строя.

Еще одной проблемой, которую можно выявить по рисунку 2, является использование предохранителей. Данный бюджетный вид защитной аппаратуры имеет два основных недостатка. Во-первых, предохранитель не позволяет оперативно подключить линию в случае быстрого устранения короткого замыкания, во-вторых, он не обеспечивает защиту от перегрузки, которая может привести к крайне негативным последствиям для питающих проводников.

Питание цеховых приемников выполнено от трансформаторной подстанции, расположенной в помещении, пристроенном к основному корпусу установки. Такая конфигурация продиктована спецификой технологического процесса, который связан с возможностью возгорания и даже взрыва в случае нарушения технологического процесса.

На подстанции установки установлено два силовых трансформатора класса напряжения 10/0,4 кВ марки ТНЗП-160/6/0,4 кВ УЗ. Данные преобразователи напряжения обеспечивают установку электроэнергией с момента ее пуска в эксплуатацию, чем обусловлено их техническое состояние (рисунок 4).

Однако, наиболее значительной проблемой является не столько сильный износ трансформаторов, обусловленный значительно превышенным сроком эксплуатации и, как следствие, старением изоляции. Основным жидким диэлектриком, применяемым в СТ, является совтол, или, иначе говоря, полихлорированный бифенил (ПХБ).

Данный диэлектрик широко применялся в мировой электротехнической промышленности с 1930-х годов, приобретя широкую популярность в связи с высокими эксплуатационными качествами.

Однако, как было доказано начале 1980-х годов, данное вещество является стойким загрязнителем первой категории опасности. В 1985-м году производство и использование данного вещества было запрещено в странах Европы, а к концу 1980-х – в СССР.



Рисунок 4 – Трансформатор марки ТНЗП

Несмотря на это, большое количество трансформаторов и иных устройств, заполненных совтолом, продолжают эксплуатироваться и по сей день. Одним из пунктов Стокгольмской конвенции 2001-го года является решение о запрете использования совтолового оборудования после 2025 года, что обуславливает необходимость замены силовых трансформаторов.

В качестве исходных данных получен список оборудования, которое необходимо обеспечить электрической энергией в рамках выполнения данного проекта (таблица 1), их параметры и план расположения оборудования (представлен в графической части ВКР). Необходимо отметить, что разработка производится для части установки, расположенной внутри здания. Питание внешних колонн было реконструировано ранее.

Таблица 1 – Перечень оборудования установки выделения концентрированного изобутилена

Номер на плане и наименование		Р _у , кВт	Кол-во	Режим
1	Насос добавочного давления	2	3	ДР
2	Регулятор подачи первичного сырья	6	3	ДР
3	Устройство подачи катализатора №1	1,1	3	ДР
4	Мешалка №1	8	3	ДР
5	Сепаратор №1 (ЭД насоса)	3	3	ДР
6	Привод заслонки №1	7,5	3	ДР
7	Пробоотборник №1	0,5	3	ДР
8	Устройство подачи катализатора №2	6	3	ДР
9	Машина выдувная №1	9	3	ДР
10	Сепаратор №2 (ЭД насоса)	0,55	3	ДР
11	Электрофильтр	3	3	ДР
12	Пробоотборник №2	1,2	3	ПКР, ПВ = 70%
13	Регулятор ссыпания катализатора	6	3	ДР
14	Мешалка №2	9	3	ДР
15	Регулятор подачи полупродукта	14	3	ДР
16	Устройство подачи катализатора №3	1,1	9	ДР
17	Мешалка №3	10	3	ДР
18	Блок доочистки	2,3	3	ДР
19	Регулятор подачи изобутилена	1,2	3	ДР
20	Насос пробоотборника №3	4	3	ДР
21	Реактор пробоотборника №3	1,5	6	ДР
22	Машина выдувная №2	2,5	6	ДР
23	Блок подогрева катализатора	1,1	3	ДР
24	Кран-балка с электроталью	6	3	ПКР, ПВ = 40%
25	Зарядный агрегат статический	2,7	1	ДР, 1-ф
26	Компрессор	4,2	2	ДР
27	Насос водяной	2,8	2	ДР
28	Резервный калорифер	7,1	1	ДР
29	Вентилятор	25	2	ДР
30	ЭД насоса холодильника	5,5	2	ДР
31	Привод осушителя	4	2	ДР
32	Хранилище катализатора №1	12	2	ДР
33	Хранилище катализатора №2	8	2	ДР
34	Хранилище катализатора №3	7,4	2	ДР

Вывод. Изучена исходная информация по объекту проектирования. Получены данные о дооснащении и модернизации производственных линий, планы расположения технологического оборудования. Оценено техническое состояние существующих систем освещения и электроснабжения, которое признано неудовлетворительным.

2 Расчет системы электроснабжения предприятия

Нагрузка цеховых потребителей во многом определяет, как конфигурацию системы электроснабжения, так и характеристик отдельных ее элементов. В данном случае важно не только учесть мощность всех потребителей цеха, но и понять, насколько интенсивно используется те или иные устройства, каково время их эксплуатации в течение рабочей смены.

Необходимо сразу оговориться, что большая часть высокоэнергетических процессов, в ходе которых производится выделение концентрированного изобутилена, происходит под воздействием высоких температур. Энергия для данных процессов получается путем сжигания подготовленного природного газа, который параллельно является сырьем для производства продукции. Подключаемое в рамках данной ВКР оборудование представляет из себя в первую очередь вспомогательные устройства автоматизации технологического процесса, которые устанавливаются в рамках внедрения АСУТП на линиях БК-4.

Максимально точно рассчитать параметры нагрузки позволяет метод коэффициента максимума [15]. Единицы измерения для выполнения расчета принимаются в соответствии с [6]. Кратко излагая порядок расчета, можно выделить следующие основные этапы:

- Производится определение активных и реактивных мощностей оборудования в каждой из групп.
- Для каждого из групповых источников питания (шинопровод, пункт распределительный) вычисляются параметры групповой нагрузки.
- Определяется эквивалентное число ЭП (иначе называется «эффективным») и на его основании вычисляется коэффициент максимума, который обеспечивает понимание прогнозируемой мощности ЭП.

На данный момент необходимо произвести расчет, главным результатом которого станет ответ на вопрос о величине расчетной мощности оборудования установки.

2.1 Выбор схемы электроснабжения предприятия

В связи с тем, что в цеху установки присутствуют как компактно расположенные группы приемников, так и распределенные приемники производственных линий, принято решение о применении смешанной схемы электроснабжения. Большая часть оборудования, установленного в цехе относится к первой категории надежности электроснабжения по [10]. Существует необходимость использовать секционированную систему шин с блоком автоматического ввода резерва (АВР). Ранее на ТП уже был установлен блок АВР, автоматика которого полностью совместима с современным оборудованием и находится в удовлетворительном техническом состоянии. Решено использовать существующий АВР.

Принятая схема электроснабжения установки приведена на рисунке 5. Более детально данная схема отражена в графической части ВКР.

Далее рассчитаем параметры цеховой системы освещения, которая играет важную роль в последующем определении результирующей мощности электроустановки. Верно проведенный расчет системы освещения объекта, в ключе обеспечения соответствия [13] крайне важен, так как уровень освещения влияет не только на комфорт работы в помещениях, но и обеспечивает безопасность в условиях травмоопасных технологических процессов.

Монтаж распределительного устройства на стороне 0,4 кВ целесообразно произвести на основе оборудования производства тольяттинской компании ООО «ЭТС».

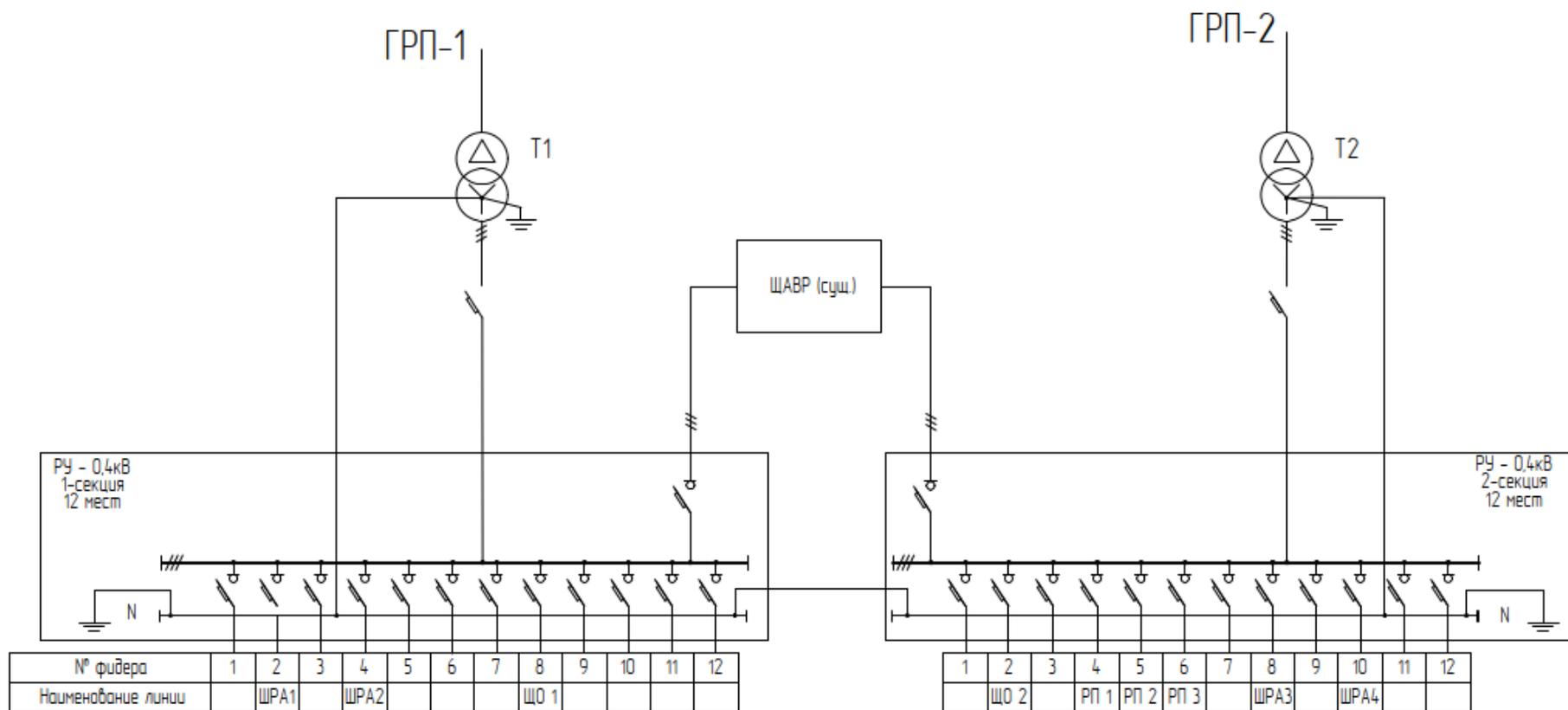


Рисунок 5 – Схема электроснабжения объекта

2.2 Система освещения цеха

В цеху установки используются люминесцентные светильники защищенного, герметичного исполнения. По прошествии длительного времени с момента ввода данных светильников в эксплуатацию, они исчерпали свой эксплуатационный ресурс. Применяемая электронная пускорегулирующая аппаратура (ЭПРА) выработала ресурс, что приводит к частым отключениям, либо «морганиям» светильников. Кроме того, уровень освещения не соответствует современным нормам и правилам, отраженным в [13].

В связи с тем, что в соответствии с [11] помещениям установки присваивается класс пожарной опасности А – повышенная пожарная опасность, существует необходимость в применении особого вида светильников, отвечающих высоким стандартам защищенности, а именно:

- Степень защиты не менее IP 55
- Корпус изготовлен из негорючего материала

Это позволит исключить вероятность возгорания, вызванного электрическими процессами, протекающими внутри светильника.

Одной из наиболее подходящих моделей светильников для установки в цеху является: ВЭСС-ГЗС-СД.Л 1Ex mb IIС Т6 Gb X/Ex tb IIIС Т85° С Db X. Более подробно его параметры отражены в [1]. Занимая среднюю ценовую нишу среди светильников взрывозащищенного исполнения, данная модель обеспечивает удобство монтажа, достаточную степень защиты и безопасность технологического процесса. В свою очередь, отсутствие стробоскопического эффекта и наиболее приближенный к естественному спектр освещения создают благоприятные условия для работы в основных помещениях установки.

В целях оптимизации расчетного процесса и увеличения точности вычислений, применим для расчета программные средства DIALux. Данные метод расчета позволит учесть нюансы, такие, как отражающая способность

конструкций помещения и благотворно скажется на точности результата. Такой инновационный метод расчета описан в [19], [20].

Последовательность вводных, введенных в программу и результаты вычислений сведены в таблицу 2. Пример моделирования одного из помещений – технологического участка основных производственных линий приведен на рисунке 6. В условиях реализации данной конфигурации системы освещения средняя освещенность технологического участка составила 417 Лк. По требованию заказчика и с учетом [13] в качестве норматива принято значение освещенности 400 Лк, следовательно, освещенность соответствует норме.

Таблица 2– Результаты расчета

Помещение	P_n , кВт	Кол-во	$P_{n\Sigma}$, кВт	S , м ²	$E_{\text{ср. расч.}}$, Лк	$E_{\text{ср. норм.}}$, Лк	h , м
Тех. участок	0,06	182	10,92	1728	417	400	5
ЭЛЩ	0,06	2	0,12	36	176	150	3
Помещение деж.	0,06	4	0,24	18	525	400	3
Компрессорная	0,06	1	0,06	18	143	75	3
Насосная	0,06	1	0,06	18	143	75	3
Вентиляционная	0,06	1	0,06	36	94	75	3
Гардероб	0,06	1	0,06	36	94	75	3
Склад № 1	0,06	1	0,06	36	94	75	3
Склад № 2	0,06	1	0,06	36	94	75	3
Склад № 3	0,06	1	0,06	36	94	75	3
ИТОГО	-	195	11,70	1998,00	-	-	-

Итак, к установке принято 195 светильников марки ВЭСС-ГЗС-СД.Л 1Ех тв ПС Т6 Гб Х/Ех тв ПС Т85° С Дб Х. Суммарная мощность осветительной установки составила 11,7 кВт. Применяемая система освещения обеспечивает нормальную освещенность пространства технологического участка и иных помещений установки БК-4. Более подробно план расположения цеховых светильников представлен в графической части ВКР.

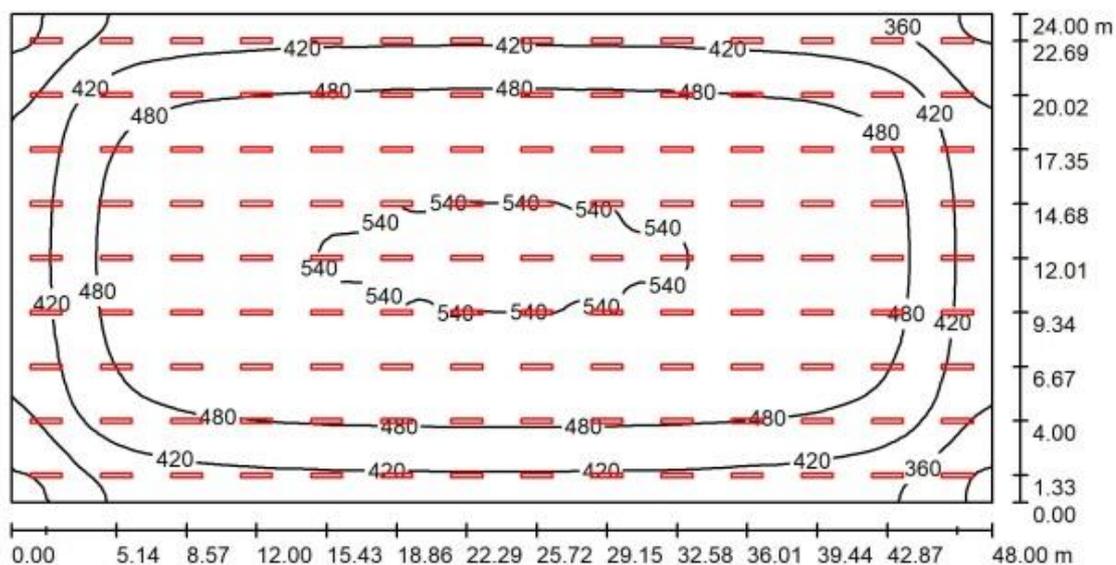


Рисунок 6 – Результат моделирования системы освещения участка производственных линий

Далее необходимо определить нагрузку прочих потребителей цеха и с учетом осветительной нагрузки выполнить расчет их суммарной нагрузки для последующего определения параметров силового трансформатора цеха.

2.3 Расчет общецеховых нагрузок

Метод коэффициента максимума (или в другой литературе – расчетного коэффициента) предполагает сведение последовательно рассчитываемой информации в таблицу 3, созданную по форме из [15]. Это тем удобнее, что позволяет проверить каждый из результатов вычислений и визуально их организовать. Большая часть расчета проведена в программной среде Excel, что рекомендовано [18]. Пример расчета приведен ниже, прочие значения определены аналогично и внесены в таблицу 3.

В связи с наличием в установке как оборудования с повторно-кратковременным режимом работы, так и однофазного, необходимо привести все оборудование к трехфазной нагрузке в долговременном режиме работы.

В случае с трехфазными приемниками долговременного режима работы мощность номинальная $P_{ном}$ приравнивается к паспортной $P_{пасп}$:

$$P_{ном} = P_{пасп} \quad (1)$$

В случае с повторно-кратковременным режимом работы необходимо учитывать перерывы в работе, что характеризуется следующей формулой:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (2)$$

где ПВ – продолжительность включения.

В качестве примера расчета определим нагрузку кран-балки:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (3)$$

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ} = 6 \cdot \sqrt{0,40} = 3,8 \text{ кВт}$$

Для приведения однофазного приемника к трехфазной нагрузке сначала вычисляем равномерность (подключение статического зарядного агрегата). Он будет подключен к фазе А в соответствии с рисунком 7.

$$H = \frac{P_{\text{фНБ}} - P_{\text{фНМ}}}{P_{\text{фНМ}}} \cdot 100\% = \frac{2,7 - 0}{2,7} \cdot 100\% = 100\% \cdot 15\% \quad (4)$$

$$P_y = P_A + P_B + P_C = 2,7 + 2,7 + 2,7 = 8,1 \text{ кВт} \quad (5)$$

где $P_{\text{ф.нб}}$ – наибольшая нагрузка приемников на одну фазу;

$P_{\text{ф.нм}}$ – наибольшая и наименьшая нагрузка приемников на одну фазу;

P_A, P_B, P_C – нагрузка на фазы А, В, С – соответственно.

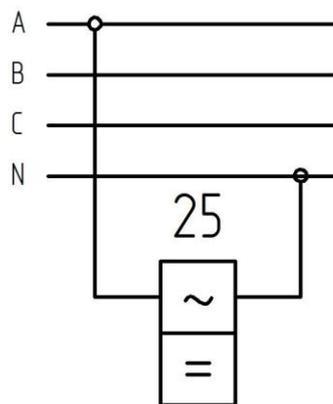


Рисунок 7– Подключение 1-ф. приемников

Иные устройства приводятся аналогичным образом и заносятся в таблицу 3. Следующим шагом является определение групповой нагрузки.

Приведем пример такого расчета для вентиляторов системы приточной вентиляции цеха (поз. 29 в соответствии с таблицей 1):

$$P_{\text{ном}} = 25 \text{ кВт}$$

$$n = 2 \text{ шт}$$

$$P_{\text{ном}\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n = 25 \cdot 2 = 50 \text{ кВт} \quad (6)$$

где n – количество данных приемников.

Затем вычисляется эквивалентная мощность – ее значение зависит от того, как долго данное оборудование используется в течение рабочей смены.

Вычислим активную среднесменную мощность:

$$P_{см} = P_{номΣ} \cdot K_u = 50 \cdot 0,6 = 30,0 \text{ кВт} \quad (7)$$

где K_u – коэффициент использования.

В данном случае коэффициент, определяющий, как долго в течение рабочей смены используется данный агрегат обозначается K_u . Он определяется приближенно на основании [15]

Аналогично определяем реактивную мощность за смену.

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg} \varphi = 30,0 \cdot 0,75 = 22,5 \text{ кВАр} \quad (8)$$

где $\text{tg} \varphi$ - тангенс угла потерь.

Прочие группы ЭП рассчитываются по такому же принципу с занесением результатов в сводную расчетную таблицу 3. По факту окончания расчета необходимо вычислить параметры общецеховой нагрузки

– Производится определение группового коэффициента использования

$$K_{u.гр.} = \sum \frac{P_{см}}{P_{номΣ}} = \frac{370,50}{500,30} = 0,74 \text{ кВт} \quad (9)$$

– Средний тангенс потерь:

$$\text{tg} \varphi = \sum \frac{Q_{см}}{P_{см}} = \frac{313,80}{370,50} = 0,85 \quad (10)$$

– Определяется эффективное число ЭП – условное значение, необходимое для вычисления коэффициента максимума. Определяется по [12]

в соответствии с ранее рассчитанными данными ($n \geq 5$, $K_{и} \geq 0,2$ и $m \geq 3$, $P_{ном} \neq const$).

$$n_{э} = \frac{2 \sum P_{ном}}{P_{max}} = \frac{2 \cdot 500,30}{25} = 40,00 \quad (11)$$

где P_{max} – номинальная нагрузка наиболее мощного приемника.

– По [12, с. 26, табл. 1.5.3] выбирается коэффициент максимума K_M для $K_{и гр} = 0,7$, $n_{э} = 40,1$. Он составил: 1,09

– Расчетная активная мощность:

$$P_p = \sum P_{см} \cdot K_M = 370,50 \cdot 1,09 = 403,90 \text{ кВт} \quad (12)$$

– Расчетная реактивная мощность:

$$Q_p = \sum Q_{см} = 313,80 \text{ кВАр} \quad (13)$$

Полная мощность по расчету:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{403,90^2 + 313,80^2} = 511,50 \text{ кВАр} \quad (14)$$

Ток расчетный:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{511,50}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 738,20 \text{ А} \quad (15)$$

Итоги выполнения расчетных процедур сводятся в сводную ведомость цеховой нагрузки.

По итогам произведенного в рамках данного пункта расчета сделаем следующие основные выводы:

– Активная мощность цехового оборудования с учетом осветительной нагрузки: 403,90 кВт

– Мощность реактивная оборудования установки: 313,80 кВАр

– Мощность полная: 511,50 кВА

– Ток номинальный расчетный: 738,2 А

Важной величиной является цеховой коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{см}}{S_{см}} = \frac{370,50}{511,50} = 0,76 \quad (16)$$

В соответствии с [15] оптимальный коэффициент мощности для сети электроснабжения – 0,95. Он позволяет безопасно уменьшить перетоки реактивной мощности по линиям и обеспечить наиболее благоприятную пропускную способность, что напрямую влияет на сечение проводников и, следовательно, позволяет снизить стоимость проекта в целом. Для этого в рамках следующего раздела существует необходимость выбора устройства компенсации реактивной мощности.

Необходимо учесть, что в каждой из трех линий производства концентрированного изобутилена используется идентичное оборудование, что снимает необходимость отдельного расчета для каждого из шинопроводов. Далее, как и было указано ранее, необходимо произвести расчет устройства компенсации реактивной мощности.

Таблица 3 – Ведомость нагрузок по цеху сводная

Наименование группы ЭП	Кол-во ЭП	Номинальная мощность		Коэффициент использования	cosφ/tgφ	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											
		n	P _{ном}											
шт	кВт	кВт	-	кВт	кВАр	шт	-	кВт	кВАр	кВА	А			
РП-1														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Зарядный агрегат, 1-ф	1	8,1	8,1	0,25	0,35/2,67	-	2,0	5,4	-	-	-	-	-	-
Компрессор	2	4,2	8,4	0,7	0,8/0,75	-	5,9	4,4	-	-	-	-	-	-
Насос водяные	2	2,8	5,6	0,7	0,80/0,75	-	3,9	2,9	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-1	5		22,1	0,5	0,85/0,62	<3	11,8	7,4	5,0	1,76	20,8	7,4	22,1	31,9
РП-2														
Резервный калорифер	1	7,1	7,1	0,75	0,95/0,33	-	5,3	1,8	-	-	-	-	-	-
Вентиляторы	2	25	50	0,6	0,80/0,75	-	30,0	22,5	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-2	3	-	57,1	0,6	0,82/0,69	<3	35,3	24,3	3,0	1,51	53,3	24,3	58,6	84,6
РП3														
Кран-балка с электроталью, ПВ = 40%	3	3,8	11,4	0,6	0,80/0,75	-	6,8	5,1	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-3	3	-	11,4	0,6	0,80/0,73	<3	6,8	5,1	3,0	1,51	10,3	5,1	11,5	16,6
ШРА-1														
Насос добавочного давления	1	2	2	0,83	0,65/1,17	-	1,7	1,9	-	-	-	-	-	-
Регулятор подачи первичного сырья	1	6	6	0,78	0,65/1,17	-	4,7	5,5	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Транспортер исходного сырья	1	1,1	1,1	0,81	0,85/0,62	-	0,9	0,6	-	-	-	-	-	-
Мешалка №1	1	8	8	0,73	0,75/0,88	-	5,8	5,2	-	-	-	-	-	-
Сепаратор №1 (ЭД насоса)	1	3	3	0,71	0,65/1,17	-	2,1	2,5	-	-	-	-	-	-
Привод заслонки №1	1	7,5	7,5	0,72	0,65/1,17	-	5,4	6,3	-	-	-	-	-	-
Пробоотборник №1	1	0,5	0,5	0,79	0,85/0,62	-	0,4	0,2	-	-	-	-	-	-
Устройство подачи катализатора №2	1	6	6	0,82	0,75/0,88	-	4,9	4,3	-	-	-	-	-	-
Машина выдувная №1	1	9	9	0,80	0,65/1,17	-	7,2	8,4	-	-	-	-	-	-
Сепаратор №2 (ЭД насоса)	1	0,55	0,55	0,80	0,85/0,62	-	0,4	0,3	-	-	-	-	-	-
Электрофильтр	1	3	3	0,78	0,75/0,88	-	2,3	2,1	-	-	-	-	-	-
Пробоотборник №2, ПВ = 70%	1	1	1	0,69	0,75/0,88	-	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-
Транспортер готового сырья	1	6	6	0,72	0,85/0,62	-	4,3	2,7	-	-	-	-	-	-
Мешалка №2	1	9	9	0,83	0,65/1,17	-	7,5	8,7	-	-	-	-	-	-
Регулятор подачи полупродукта	1	14	14	0,84	0,75/0,88	-	11,8	10,4	-	-	-	-	-	-
Устройство подачи катализатора №3	3	1,1	3,3	0,75	0,65/1,17	-	2,5	2,9	-	-	-	-	-	-
Станок экструзионно-выдувной	1	10	10	0,84	0,65/1,17	-	8,4	9,8	-	-	-	-	-	-
Блок доочистки	1	2,3	2,3	0,69	0,75/0,88	-	1,6	1,4	-	-	-	-	-	-
Регулятор подачи изобутилена	1	1,2	1,2	0,70	0,65/1,17	-	0,8	1,0	-	-	-	-	-	-
Насос пробоотборника №3	2	4	8	0,85	0,85/0,65	-	6,8	4,2	-	-	-	-	-	-
Реактор пробоотборника №3	2	1,5	3	0,82	0,85/0,62	-	2,5	1,5	-	-	-	-	-	-
Термопластавтомат	1	2,5	2,5	0,79	0,75/0,88	-	2,0	1,7	-	-	-	-	-	-
Блок подогрева катализатора	1	1,1	1,1	0,70	0,75/0,88	-	0,8	0,7	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-1	1	9	9	0,83	0,65/1,17	>3	85,44	82,9	15,4	1,07	91,42	82,9	123,4	178

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Итого по ШРА-2	1	14	14	0,84	0,75/0,88	>3	85,44	82,9	15,4	1,07	91,42	82,9	123,4	178
Итого по ШРА-3	3	1,1	3,3	0,75	0,65/1,17	>3	85,44	82,9	15,4	1,07	91,42	82,9	123,4	178
ШРА-4														
Барабан гальванический	2	5,5	11	0,6	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
Установка фильтрации электролита	2	4	8	0,6	0,8	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-
Ванна гальваническая большая	2	12	24	0,75	0,95	0,33	-	18,0	-	-	-	-	-	-
Ванна гальваническая малая	2	8	16	0,75	0,95	0,33	-	12,0	-	-	-	-	-	-
Ванна колокольная	2	7,4	14,8	0,6	0,8	0,75	-	8,9	-	-	-	-	-	-
Барабан гальванический	2	5,5	11	0,6	0,8	0,75	-	6,6	-	-	-	-	-	-
ВСЕГО по ШРА4	10		73,8	0,7	0,89/0,50	>3	50,3	25,1	10,0	1,16	58,3	25,1	63,5	91,6
ИТОГО														
Итого по цеху	102	-	488,6	0,70	0,76/0,86	>3	360,6	310,5	39,1	1,09	393,1	310,5	500,9	723,0
Освещение	-	-	11,7	0,85	0,95/0,33	-	9,9	3,3	-	-	9,9	3,3	10,5	15,1
Итого по цеху с освещением	102	-	500,3	0,70	0,76/0,86	>3	370,5	313,8	40,0	1,09	403,9	313,8	511,5	738,2
Компенсация	-	-	-	-	-	-	-	150	-	-	-	-	-	-
Итого с компенсацией	102	-	500,3	0,7	0,93/0,41	-	370,5	163,8	40,0	1,09	403,9	163,8	435,8	629,1

2.4 Выбор компенсирующего устройства

В сети переменного тока в связи с влиянием емкостной и индуктивной нагрузки возникает так называемая реактивная мощность – составляющая, которая бесполезна для большинства потребителей, но востребует пропускную способность линий и ведет к росту результирующего тока. Пользуясь свойством индуктивной и емкостной составляющих нагрузки компенсировать друг друга и тем фактом, что большая часть производственных потребителей имеет индуктивную природу, на практике широко применяются т.н. компенсирующие устройства – конденсаторные батареи, которые подключаются к шинам распределительных устройств и обеспечивают нужный коэффициент мощности. Как правило, компенсация проводится до величины $\cos \varphi = 0,95$ (соответственно, $\tan \varphi = 0,33$) [15]. Экономический эффект компенсации реактивной мощности подробно рассмотрен в [17]. Определим мощность компенсирующего устройства (КУ). Первичная информация для данного расчета приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Первичные данные расчета компенсации

Параметр	$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	$P_{см}, \text{кВ}$	$Q_{см}, \text{кВАр}$	$S_{см}, \text{кВА}$
Без компенсации	0,76	0,85	370,5	313,8	486,6

Определим мощность КУ

$$Q_k = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) = 370,50 \cdot 0,90 \cdot (0,85 - 0,33) \quad (17)$$

$$Q_k = 173,4 \text{кВАр}$$

где $\tan \varphi_1$ – тангенс угла потерь до компенсации;

$\tan \varphi_2$ – тангенс угла потерь после компенсации.

По результатам расчета выберем установку 2×УКМ-0,4-75-УЗ. В таком случае итоговый тангенс угла между активной и реактивной мощностью составит:

$$\operatorname{tg}\varphi_{\kappa} = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{\kappa.p.}}{\alpha \cdot P_p} = 0,85 - \frac{2 \cdot 75}{0,9 \cdot 403,89} = 0,41 \quad (18)$$

где $Q_{\kappa.p.}$ – реактивная мощность компенсирующего устройства.

Результаты вычисления заносятся в таблицу 3.

Вывод. Выбрана смешанная схема электроснабжения предприятия. Питание технологических линий выполнено распределительными шинопроводами, а приемников в отдельных помещениях – от распределительных пунктов. В блок секционирования на РУ 0,4 кВ интегрировано существующее устройство АВР.

Рассчитана осветительная установка цеха. Для освещения помещений установки решено использовать светильники марки ВЭСС-ГЗС-СД.Л 1Ех тб ПС Т6 Гb X/Ех тb ПС Т85° С Db X общим количеством 195 штук и суммарной мощностью 11,70 кВт. Методом расчетного коэффициента определена нагрузка цеховой сети электроснабжения. Активная мощность составила 403,9 Вт, реактивная - 313,8 кВар, 511,5 кВА. Принято решение о компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной установки 2×УКМ-0,4-75-УЗ. В результате, полная мощность составила 435,8 кВА, а ток - 629,1 А.

3 Выбор источника питания цеха

Одним из важнейших аспектов при проектировании системы электроснабжения является определение параметров источника, который будет данную систему питать. В случае с установкой выделения концентрированного изобутилена источником питания цеха является трансформаторная подстанция, расположенная в отдельном здании, пристроенном к установке. Класс напряжения данной подстанции – 10/0,4 кВ. Расчет производится в соответствии с методикой, описанной в [14].

В связи с наличием в цеху потребителей, имеющих категорию надежности I по [10], закономерным является использование двухтрансформаторной подстанции с автоматической переключкой между секциями шин. АВР устанавливается на стороне 0,4 кВ и обеспечивает коммутацию секционного выключателя при срабатывании реле напряжения, сигнализирующего об отсутствии питания на той или иной секции.

Как было озвучено ранее, на настоящий момент в здании ТП установлены силовые трансформаторы марки ТНЗП-160/6/0,4 кВ УЗ. Данные трансформаторы заполнены совтолом, выработали свой срок эксплуатации и должны быть замены на новые, более современные и экологичные образцы.

На основании [2] можно заключить, что трансформатор может при необходимости работать без повреждения под нагрузкой, превышающей на 40% номинальную (коэффициент загрузки, $K_z = 1,4$). В связи с тем, что при отказе, либо плановом ремонте одного СТ второй должен взять на себя его нагрузку, целесообразно рассматривать трансформаторы, коэффициент загрузки которых при максимальной нагрузке на секцию шин не превышает 70%. Кроме того, необходимо учитывать, что поскольку на трансформаторной подстанции использовались совтоловые трансформаторы, площадки для их установки не оборудованы в соответствии с требованиями к монтажу масляных трансформаторов.

Оптимальным вариантом в сложившейся обстановке является использование силовых трансформаторов с сухой изоляцией литого типа, в частности, марки ТСЛ-СЭЩ. Завод Электроцит Самара зарекомендовал себя как надежный поставщик электротехнической продукции высокого качества, а его ближайшее географическое положение обеспечивает невысокую стоимость транспортировки готовых изделий до места установки.

Произведем расчет минимальной мощности каждого из цеховых трансформаторов:

$$S_{ном.Т} > 0,7 \cdot S_{max} = 0,7 \cdot 435,84 \cdot 305,09 \text{ кВА} \quad (19)$$

Наиболее подходящей моделью в данном случае является ТСЛ-СЭЩ-400/10/0,4У3 (каталог [8]). Для удовлетворения требований [5] данный силовой трансформатор оснащен системой переключения без возбуждения (ПБВ). Она позволяет реагировать на сезонные изменения нагрузки.

Климатическая категория данного трансформатора (У3) обеспечивает его нормальное функционирование при температуре от +40 до -45 °С. При этом установка трансформатора предполагается в закрытом помещении без искусственного регулирования температуры [3]. Технические характеристики для данного СТ приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики силовых трансформаторов

Напряжение обмотки, кВ		Потери, кВт		U _к , %	I _х , %	K _{ип}
ВН	НН	ΔP _{хх}	ΔP _{кз}			
ТСЛ-СЭЩ-400/10/0,4У3						
6	0,4	0,98	4,26	6,0	1,8	0,05

Вывод. Определены параметры источника питания цеха. Решено заменить устаревшие совтоловые трансформаторы на модель ТСЛ-СЭЩ-400/10/0,4У3. Их

мощность позволит обеспечить возросшие нагрузки технологического оборудования и создаст запас мощности.

Поскольку выбор силовых трансформаторов произведен, пришел черед следующей ступени проектирования, а именно – выбора проводников и защитной аппаратуры на стороне 110 кВ. Проводники сети электроснабжения являются основными артериями, по которым электрическая энергия поставляется к потребителю, тогда как защитная и коммутационная аппаратура служит гарантом безопасности работы системы, предотвращая внештатные ситуации, чаще всего связанные с перегрузкой линии либо с коротким замыканием.

Поскольку проводники на стороне 0,4 кВ являются одной из важных статей сметной стоимости, важно, чтобы они с одной стороны обеспечивали надежное электроснабжение потребителей, а с другой стороны, их сечение не было завышено, так как это резко повышает стоимость. В свою очередь, правильный выбор коммутационного оборудования, верный учет параметров селективности и корректное определение уставок позволяет минимизировать число ложных отключений при обеспечении должной надежной защиты сети электроснабжения.

4 Выбор электрических аппаратов и проводников

В рамках данного пункта необходимо осуществить выбор оборудования, применение которого обеспечит надежное функционирование системы электроснабжения объекта в течение всего срока его эксплуатации до следующего капитального ремонта. Правильный выбор электрических аппаратов и проводников тем важнее, что помещение, в котором осуществляется их прокладка является пожароопасным.

Итак, для обеспечения нормального функционирования объекта необходимо выбрать следующие основные проводники и защитные аппараты:

- Шины жесткие для использования на ТП: Т1 КТП (Т2 КТП) – СШ №1 0,4 кВ (СШ №2 0,4 кВ) РУ НН
- Кабели, которыми осуществляется подключение шинопроводов и пунктов распределительных
- Шинопроводы распределительные (ШРА)
- Проводники питания цеховых приемников от ШРА и РУ
- Вводные аппараты защиты на линиях между трансформатором и секциями шин 0,4 кВ.
- Аппараты защиты линий между РУ 0,4 кВ трансформаторной подстанции и ШРА/РУ.
- Аппараты защиты линий питания цеховых электроприемников от распределительных пунктов и ШРА.

Первоначально необходимо выполнить выбор защитных аппаратов.

4.1 Выбор аппаратов защиты

Из широчайшего спектра защитных аппаратов на стороне 0,4 кВ целесообразно выбирать те марки, которые производятся в дружественных странах. Лучше всего подходит по данному параметру защитно-коммутационная аппаратура марки ИЕК, которая не только имеет привлекательный ценовой диапазон, но и частично производится на территории Российской Федерации, что исключает проблемы с поставкой и закупкой аппаратов защиты.

Первым на очереди расчета стоит вводной автомат, устанавливаемый на линии между силовым трансформатором и секцией шин распределительного устройства, а также – секционный выключатель. На рисунке 5 данные аппараты обозначены как SF.

Номинальный ток расцепителя рассчитывается так:

$$I_{н.р.} \cdot 1,1 \cdot \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,1 \cdot \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 635,84 \text{ А} \quad (20)$$

где S_T – номинальная мощность силового трансформатора;

U_n – номинальное напряжение.

Выберем аппарат защиты ВА88-40 ЗР 800А 35кА ИЕК. Уставка защиты от перегрузки (тепловой расцепитель) регулируется от 40-90% с шагом 10%. Уставка принимается равной $0,8 \times I_n = 640 \text{ А}$.

Уставка электромагнитного расцепителя в случае с групповыми линиями принимается по значению пикового тока линии. Учитываются параметры пуска наиболее мощного ЭД в данной группе.

$$I_{пик} = K_n \cdot I_{н.нб} + I_p - I_{н.нб} \quad (21)$$

где K_n – кратность пускового тока;

$I_{н.нб}$ – номинальный ток, потребляемый самым мощным ЭД группы.

В качестве примера произведем расчет для второй секции шин. Наиболее мощным ЭД является ЭД вентилятора, подключенный к РП-2. Его номинальный ток составил:

$$I_{н.нб} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 48,56 A \quad (22)$$

где η_d – коэффициент полезного действия двигателя.

Вычисляется длительной ток в пиковом режиме нагрузки:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 578,03 A \quad (23)$$

Вычисляется пиковый ток линии:

$$I_{пик} = 6,90 \cdot 48,56 + 578,03 - 48,56 = 864,53 A$$

Следуя [15] на следующем этапе существует необходимость определить групповой ток для вычисления уставки электромагнитного расцепителя.

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_{пик} \quad (24)$$

Тогда:

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot 864,53 = 1037,44 A$$

Поскольку ток, при котором срабатывает электромагнитный разъединитель автомата, выстраивается по шкале (2-4-6-8-10-12)× I_n примем уставку электромагнитного расцепителя равной: $2 \times I_n = 2250 A$.

Вычисление параметров выключателя для второй секции шин, а также, для отходящих линий РУ 0,4 кВ – РП/ШРА производится аналогично. Результаты вычислений и выбора защитных аппаратов заносятся в таблицу 6.

Теперь рассмотрим примеры выбора защитных аппаратов для отдельных потребителей электрической энергии. Как уже было сказано ранее, в условиях пожароопасного химического производства крайне важно избежать ситуаций, в которых может произойти возгорание проводки, обусловленное коротким замыканием, либо перегрузкой линии. Именно поэтому руководством ООО «Тольяттикаучук» принято решение использовать для защиты линий, питающих ответственные потребители, непосредственно задействованные в технологическом процессе автоматические выключатели взамен применявшихся ранее предохранителей.

Приведем пример расчета для однофазного ЭП, который не имеет электродвигателя. Таковым является зарядно-подзарядный агрегат, предназначенный для обеспечения питанием аварийных систем предприятия (освещение, система контроля и управления доступом (СКУД), устройства, отвечающие за аварийное прерывание технологического процесса.

$$I_{н.д.} = \frac{P_n}{U_n \cdot \cos\varphi} = \frac{2,70}{0,22 \cdot 0,35} = 35,06 A \quad (25)$$

Применим модульный автомат защиты ВА47-29 1Р 40А 4,5кА характеристика С IEK. Тепловая уставка – 40 А. Электромагнитная уставка С – 5 $I_n = 200$ А.

Выберем аппарат защиты для линии, в которой установлен трехфазный ЭД с долговременным режимом работы (вентилятор, РП-2).

$$I_{н.д.} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 48,56 A \quad (26)$$

Применим модульный автомат защиты ВА47-29 1Р 50А 4,5кА характеристика D IEK. Тепловая уставка– 50 А. Электромагнитная уставка D – $10 I_n = 500 \text{ A}$

Ток пуска:

$$I_n \cdot K_n \cdot I_{н.д.} = 6,90 \cdot 48,56 = 335,06 \text{ A} \quad (27)$$

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 335,06 = 402,07 \text{ A} \quad (28)$$

где K_n – пусковой коэффициент.

Поскольку расчетный пусковой ток ниже значения уставки, автоматический выключатель подходит для установки в линию.

Определим параметры автомата для линии, питающей приёмник с режимом работы ПКР (также трехфазный). В частности, речь идет о кран-балке с электроталью, питаемой от РП-3. Специфичным здесь является тот факт, что при расчете тока учитывается повторно-кратковременный режим работы.

$$I_{н.д.} = \frac{P_n \cdot \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_d \cdot \cos \varphi} = \frac{3,8 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,93 \cdot 0,80} = 4,67 \text{ A} \quad (29)$$

Выбираем автоматический выключатель ВА47-29 1Р 6А 4,5кА характеристика D IEK. Тепловая уставка– 6 А. Электромагнитная уставка D – $10 I_n = 60 \text{ A}$

Пусковой ток:

$$I_n \cdot K_n \cdot I_{н.д.} = 7,2 \cdot 4,67 = 33,62 \text{ A}$$

$$I_0 \cdot 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 33,62 = 40,34 \text{ A}$$

Поскольку условие выбора уставки электромагнитного расцепителя выполняется, автоматический выключатель подходит для установки в данную линию.

Расчет для прочих приемников производится по аналогичным формулам. Его результаты сведены в таблицу 6 для аппаратов защиты групповой сети и в таблицу 7 – для защиты отдельных ЭП.

Таким образом, произведен выбор защитной аппаратуры цеховой сети электроснабжения. Применение современных аппаратов защиты не только обеспечит безопасность эксплуатации установки, но и позволит повысить удобство монтажа и последующего ремонта при выходе из строя того или иного блока.

Далее необходимо выполнить выбор проводников цеховой сети электроснабжения, по которым будет осуществляться транспорт электрической энергии от силовых трансформаторов до приемников.

Необходимо оговориться, что прокладка кабельных линий производится в неперфорированных кабельных лотках. Заземление кабельных конструкций выполняется в соответствии с [10]. В соответствии с пунктом 2.1.61 [10] сумма сечений проводов и кабелей, рассчитанная по их наружным диаметрам не должна превышать 40 % от сечения в свету для коробов с открываемыми крышками.

Таблица 6 – Защита групповых линий

Линия Обозначение	U _н , кВ	1,1·I _р , А	I _{н.нб} , А	1,2·I _{шк} , А	Аппарат защиты			
					Марка	I _н , А	I _{н.р.} , А	I _о , А
СШ 1 РУ 0,4 кВ - ШРА2	0,4	195,95	49,65	592,58	ВА88-35	250	200	2000
СШ 1 РУ 0,4 кВ - ШРА3	0,4	195,95	49,65	592,58	ВА88-35	250	200	2000
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП1	0,4	35,04	16,01	157,30	ВА88-32	125	40	500
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП2	0,4	93,04	83,65	713,89	ВА88-32	125	100	1000
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП3	0,4	18,31	22,87	186,61	ВА88-32	125	25	500
СШ 2 РУ 0,4 кВ - ШРА1	0,4	195,95	28,32	439,01	ВА88-35	250	200	2000
СШ 2 РУ 0,4 кВ - ШРА4	0,4	100,80	24,76	299,22	ВА88-32	125	125	1250

Таблица 7 – Защита линий питания отдельных приемников

Наименование	P _н , кВт	U _н , кВ	η, %	cos φ	I _р , А	1,2·I _н , А	Марка	I _н , А	I _{н.р.} , А	I _о , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Насос добавочного давления	2	0,40	81,0	0,65	9,50	66,48	ВА47-29 3P D	10	10	100
Регулятор подачи первичного сырья	6	0,40	81,5	0,65	28,32	198,21	ВА47-29 3P D	32	32	320
Устройство подачи катализатора №1	1,1	0,40	90,0	0,85	3,59	25,16	ВА47-29 3P D	4	4	40
Мешалка №1	8	0,40	80,0	0,75	33,33	233,33	ВА47-29 3P D	40	40	400
Сепаратор №1 (ЭД насоса)	3	0,40	81,0	0,65	14,25	99,72	ВА47-29 3P D	16	16	160
Привод заслонки №1	7,5	0,40	83,0	0,65	34,75	243,28	ВА47-29 3P D	40	40	400
Прообоотборник №1	0,5	0,40	-	0,85	1,47	-	ВА47-29 3P C	2	2	10
Устройство подачи катализатора №2	6	0,40	78,5	0,75	25,48	178,34	ВА47-29 3P D	32	32	320
Машина выдувная №1	9	0,40	93,4	0,65	37,06	259,43	ВА47-29 3P D	40	40	400
Сепаратор №2 (ЭД насоса)	0,55	0,40	83,0	0,85	1,95	13,64	ВА47-29 3P D	2	2	20
Электрофильтр	3	0,40	79,5	0,75	12,58	88,05	ВА47-29 3P D	16	16	160
Прообоотборник №2	1,2	0,40	80,0	0,75	5,00	35,00	ВА47-29 3P D	6	6	60
Регулятор ссыпания катализатора	6	0,40	94,5	0,85	18,67	130,72	ВА47-29 3P D	20	20	200
Мешалка №2	9	0,40	84,0	0,65	41,21	288,46	ВА47-29 3P D	50	50	500

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Регулятор подачи полупродукта	14	0,40	94,0	0,75	49,65	347,52	BA47-29 3P D	50	50	500
Устройство подачи катализатора №3	1,1	0,40	94,0	0,65	4,50	31,51	BA47-29 3P D	5	5	50
Мешалка №3	2,2	0,40	82,0	0,65	10,32	72,23	BA47-29 3P D	16	16	160
Блок доочистки	2,3	0,40	79,5	0,75	9,64	67,51	BA47-29 3P D	10	10	100
Регулятор подачи изобутилена	1,2	0,40	90,0	0,65	5,13	35,90	BA47-29 3P D	6	6	60
Насос пробоотборника №3	4	0,40	79,0	0,85	14,89	104,24	BA47-29 3P D	16	16	160
Реактор пробоотборника №3	1,5	0,40	-	0,85	4,41	-	BA47-29 3P C	5	5	25
Машина выдувная №2	2,5	0,40	90,0	0,75	9,26	64,81	BA47-29 3P D	10	10	100
Блок подогрева катализатора	1,1	0,40	79,0	0,75	4,64	32,49	BA47-29 3P D	5	5	50
Кран-балка с электроталью	6	0,40	82,0	0,8	22,87	160,06	BA47-29 3P D	25	25	250
Зарядный агрегат статический, 1-ф	2,7	0,22	-	0,35	35,06	-	BA47-29 1P C	40	40	200
Компрессор	4,2	0,40	82,0	0,8	16,01	112,04	BA47-29 3P D	20	20	200
Насос водяной	2,8	0,40	79,0	0,8	11,08	77,53	BA47-29 3P D	16	16	160
Резервный калорифер	7,1	0,40	82,0	0,95	22,79	159,50	BA47-29 3P D	25	25	250
Вентилятор	25	0,40	93,4	0,8	83,65	585,52	BA88-32 3P	125	100	1000
ЭД насоса холодильника	5,5	0,40	82,0	0,8	20,96	146,72	BA47-29 3P D	25	25	250
Привод осушителя	4	0,40	94,5	0,8	13,23	92,59	BA47-29 3P D	16	16	160
Хранилище катализатора №1	12	0,40	-	0,95	31,58	-	BA47-29 3P D	40	40	400
Хранилище катализатора №2	8	0,40	-	0,95	21,05	-	BA47-29 3P D	25	25	250
Хранилище катализатора №3	7,4	0,40	93,4	0,8	24,76	173,31	BA47-29 3P D	32	32	320

4.2 Выбор проводников

В рамках цеховой сети электроснабжения используется три основных типа проводников:

- Во-первых, жесткая ошиновка, связывающая ввода НН силового трансформатора и РУ 0,4 кВ.
- Во-вторых, комплектные шинопроводы для обеспечения питания производственных линий
- В-третьих, кабельные линии, которые используются для подключения отдельных электроприемников и групповых распределительных устройств.

Для подключения силовых трансформаторов к РУ 0,4 кВ применяется шина алюминиевая марки АД-31. Токовые нагрузки, которые данная шина может выдержать на протяжении длительного времени, определяются в соответствии с [7].

В качестве основного проводника кабельных линий используем кабель ВВГнг(А)-LS, который производится ООО «ГК «Севкабель». Он имеет медные жилы, изоляцию из ПВХ пластиката повышенной нагревостойкости. При возгорании такая изоляция отличается малым выделением дыма и быстро затухает. Длительно допустимый ток указан в [10]. Сечения выберем по [15]. Коэффициент защиты для пожароопасного помещения, коим является цех рассматриваемой установки, примем равным 1,25.

Выполним определение сечения шин АД-31. Условие следующее:

$$I_{доп} = K_{зщ} \cdot I_{н.р.} \quad (30)$$

где $I_{н.р.}$ – это ток теплового расцепителя принятый в подпункте ВКР.4.1;

$K_{зщ}$ – коэффициент защиты.

Следовательно,

$$I_{дон} = 1,25 \cdot 640 = 800 \text{ A} \quad (31)$$

По расчету выберем пакет шин 4×АД 31 60×6. Их ток длительно допустимый составляет 870 А (следуя информации из [7]). Далее проведем выбор кабелей и шинопроводов. Кабеленесущие конструкции защищаются от коррозии в соответствии с [12]. Пример расчета для кабеля, связующего РУ (СШ1) и ШРА2.

По таблице 6 ток расцепителя составляет 200 А. Т.к. $200 \times 1,25 = 250 \text{ A}$ выбираем кабель ВВГнг-LS 4×95 ($I_d = 255 \text{ A}$)

Результаты расчета для групповых линий сведем в таблицу 8.

Шинопроводы выбираются аналогичным образом. Результаты расчета сводятся в таблицу 9. Результат выбора кабелей для отдельных электроприемников сведен в таблицу 10.

Таблица 8 – Проводники питания групповых линий

Групповые линии					
Объект питания		Кабель			
Обозначение	$I_{д.р.}, \text{ A}$	Марка	п, жил	S, мм ²	$I_d, \text{ A}$
СШ1 РУ ТП - ШРА2	250,00	ВВГнг-LS	4	95	255
СШ1 РУ ТП - ШРА3	250,00	ВВГнг-LS	4	95	255
СШ2 РУ ТП - РП1	50,00	ВВГнг-LS	4	10	61
СШ2 РУ ТП - РП2	125,00	ВВГнг-LS	4	35	131
СШ2 РУ ТП - РП3	31,25	ВВГнг-LS	4	6	46
СШ2 РУ ТП - ШРА1	250,00	ВВГнг-LS	4	95	255
СШ2 РУ ТП - ШРА4	156,25	ВВГнг-LS	4	50	165

Таблица 9 – Распределительные шинопроводы

Обозначение	$I_{д.р.}, \text{ A}$	Марка	$I_d, \text{ A}$
ШРА1	312,50	ШРА-4-44-400-У3	400
ШРА2	312,50	ШРА-4-44-400-У3	400
ШРА3	312,50	ШРА-4-44-400-У3	400
ШРА4	195,31	ШРА-4-44-250-У3	250

Таблица 10 – Питание отдельных приемников.

ЭП		Кабель			
Наименование	I _{д.р.} , А	Марка	п жил	S, мм ²	I _{д.} , А
Насос добавочного давления	13	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Регулятор подачи первичного сырья	40	ВВГнг-LS	4	6	46
Устройство подачи катализатора №1	5	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Мешалка №1	50	ВВГнг-LS	4	10	61
Сепаратор №1 (ЭД насоса)	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Привод заслонки №1	50	ВВГнг-LS	4	10	61
Пробоотборник №1	3	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Устройство подачи катализатора №2	40	ВВГнг-LS	4	6	46
Машина выдувная №1	50	ВВГнг-LS	4	10	61
Сепаратор №2 (ЭД насоса)	3	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Электрофильтр	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Пробоотборник №2	8	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Регулятор ссыпания катализатора	25	ВВГнг-LS	4	2,5	26
Мешалка №2	63	ВВГнг-LS	4	16	81
Регулятор подачи полупродукта	63	ВВГнг-LS	4	16	81
Устройство подачи катализатора №3	6	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Мешалка №3	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Блок доочистки	13	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Регулятор подачи изобутилена	8	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Насос пробоотборника №3	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Реактор пробоотборника №3	6	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Машина выдувная №2	13	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Блок подогрева катализатора	6	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Кран-балка с электроталью	31	ВВГнг-LS	4	4	34
Зарядный агрегат статический, 1-ф	50	ВВГнг-LS	2	10	61
Компрессор	25	ВВГнг-LS	4	2,5	26
Насос водяной	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20
Резервный калорифер	31	ВВГнг-LS	4	4	34
Вентилятор	125	ВВГнг-LS	4	35	131
ЭД насоса холодильника	31	ВВГнг-LS	4	4	34
Привод осушителя	20	ВВГнг-LS	4	1,5	20

Продолжение таблицы 10

ЭП		Кабель			
Наименование	$I_{д.р.},$ А	Марка	п жил	S, мм ²	$I_{д.},$ А
Хранилище катализатора №1	50	ВВГнг-LS	4	10	61
Хранилище катализатора №2	31	ВВГнг-LS	4	4	34
Хранилище катализатора №3	40	ВВГнг-LS	4	6	46

В результате произведенного расчета выполнен выбор проводников сети электроснабжения установки. Использование данных проводников позволит обеспечить длительной срок эксплуатации системы электроснабжения, удобство монтажа и эксплуатации электроустановки предприятия.

В рамках следующего пункта необходимо рассчитать величину токов короткого замыкания. Это нужно для того, чтобы удостовериться в соответствии выбранных электрических аппаратов параметрам электрической сети, в которой их планируется использовать. Проверка способности автоматических выключателей отсекать КЗ является одним из основополагающих аспектов проектирования.

Вывод. В качестве аппаратов защиты решено использовать модульные автоматические выключатели марки IEK. В качестве проводников – кабель ВВГнг(А)-LS в неперфорированном лотке, шинопроводы взрывозащищенного исполнения и жесткую ошиновку (для связи силовых трансформаторов с РУ 0,4 кВ).

5 Короткие замыкания

Самой распространенной причиной аварий в сетях электроснабжения можно назвать короткие замыкания. Представляя из себя в наиболее общей формулировке возникновение контакта между противоположными полюсами источника питания в обход основной нагрузки, на практике КЗ приводит к резкому росту тока в питающих проводниках до точки замыкания и обесточиванию оборудования за данной точкой. Это сопровождается электродинамическим ударом, обусловленным воздействием на проводник силы Ампера и резким нагревом, который нередко приводит к возгоранию. Процесс вычисления КЗ регламентируется [4]. Адаптированная методика расчета изложена в [15]. Для определения токов короткого замыкания необходимо первоначально определиться с параметрами расчетной цепи. Она изображена на рисунке 8.

Длина линий, по которым подключаются элементы цепи следующая:

- Шины АД-31 – 4 метра
- Кабельная линия питания РП 2 – 33,5 метра
- Линия питания вентилятора от РП2 – 6 метров

Параметры системы принимаются в соответствии с данными, предоставленными службой главного энергетика ООО «Тольяттикаучук»: $X_c' = 1,2 \text{ Ом}$; $R_c' = 7,4 \text{ Ом}$

Приведем эти значения к стороне 0,4 кВ:

$$R_c = R_c' \cdot \left(\frac{V_{нн}}{V_{вн}} \right)^2 = 7,40 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 32,89 \text{ мОм} \quad (32)$$

$$X_c = X_c' \cdot \left(\frac{V_{нн}}{V_{вн}} \right)^2 = 1,20 \cdot \left(\frac{0,4}{10} \right)^2 \cdot 10^3 = 5,33 \text{ мОм} \quad (33)$$

где $U_{нн}$ – напряжение на низкой стороне;

$U_{вн}$ – напряжение на высокой стороне;

R_c, X_c – сопротивление системы активное и реактивное.

Результаты этих и последующих вычислений заносим на рисунок 9, который представляет из себя схему замещения расчетной цепи. Благодаря использованию данной схемы можно более наглядно отобразить элементы сопротивления силовой сети.

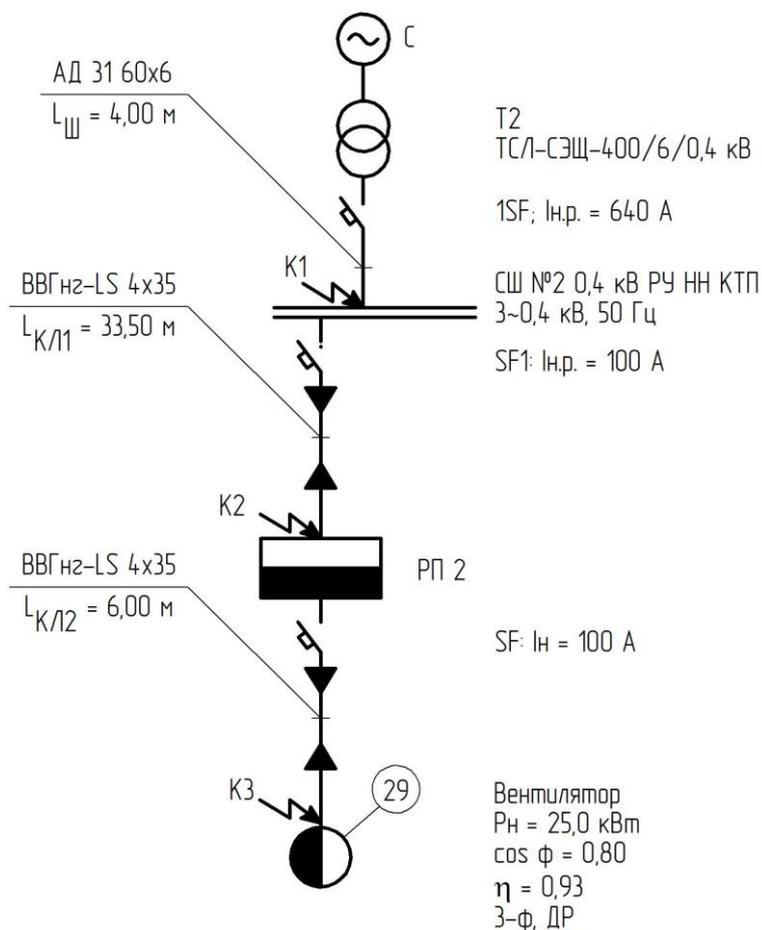


Рисунок 8 – Схема расчетная

Параметры сопротивления для силового трансформатора следующие [[15, с 61]:

$$R_T = 5,50 \text{ мОм}$$

$$X_T = 17,10 \text{ мОм}$$

$$Z_T = 18,00 \text{ мОм}$$

Параметры сопротивления автоматических выключателей [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	$R_{SF} = 1,3 \text{ МОМ}; X_{SF} = 1,2 \text{ МОМ}; R_{nSF} = 0,75 \text{ МОМ}$

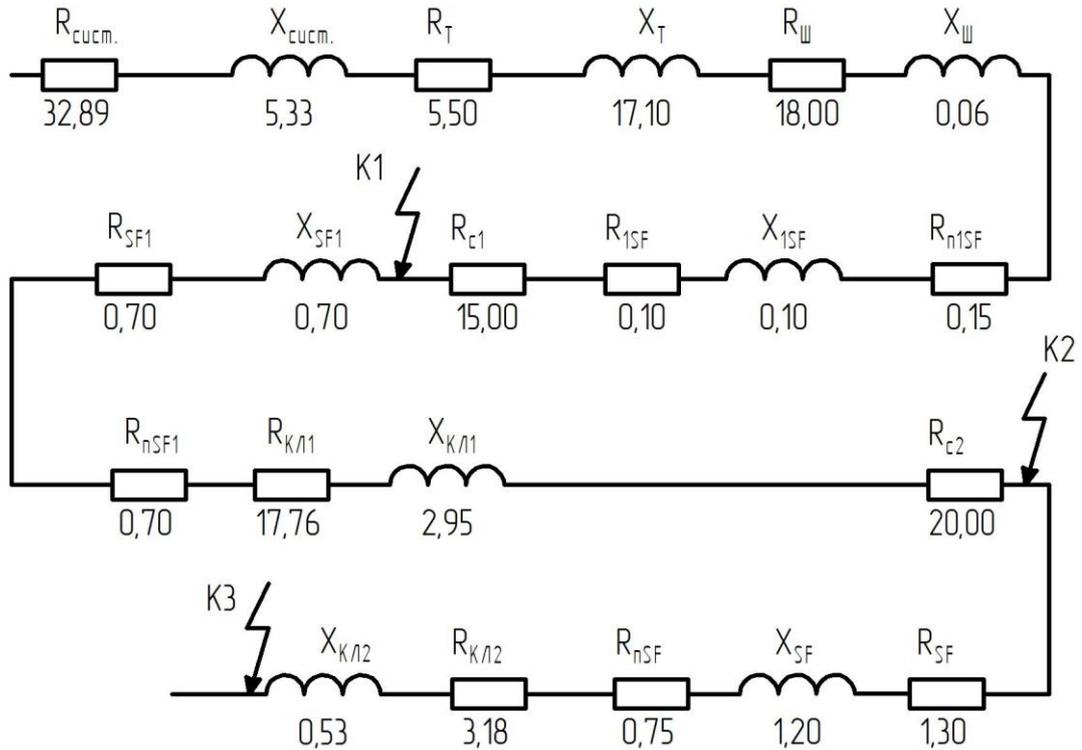


Рисунок 9 – Схема замещения расчетной нагрузки

Параметры сопротивления шин алюминиевых активного и реактивного (для сечения 60×6):

$$R_{ш} = r_0 \cdot L_{ш} = 0,034 \cdot 4,00 = 0,14 \text{ МОМ} \quad (34)$$

$$X_{ш} = x_0 \cdot L_{ш} = 0,016 \cdot 4,00 = 0,06 \text{ МОМ} \quad (35)$$

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

$$r_{0n} = 0,068 \frac{\text{МОМ}}{\text{м}}; x_{0n} = 0,053 \frac{\text{МОМ}}{\text{м}}$$

где $L_{ш}$ – Длина шины;

r_{0n} – сопротивление нулевой последовательности;

r_0 – сопротивление активное удельное;

x_0 – сопротивление реактивное удельное.

Для кабельных линий [15, с 62]:

КЛ1 (ВВГнг-LS 4x35):

$$r_0 = 0,53 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,088 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,53 \cdot 33,50 = 17,76 \text{МОм}$$

$$X_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ1}} = 0,088 \cdot 33,50 = 2,95 \text{МОм}$$

где $L_{\text{КЛ}}$ – Длина кабельной линии.

КЛ2 (ВВГнг-LS 4x35):

$$r_0 = 0,53 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}; x_0 = 0,088 \frac{\text{МОм}}{\text{м}}$$

$$R_{\text{КЛ2}} = r_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,53 \cdot 6,00 = 3,18 \text{МОм}$$

$$X_{\text{КЛ2}} = x_0 \cdot L_{\text{КЛ2}} = 0,088 \cdot 6,00 = 0,53 \text{МОм}$$

Ступени распределения также имеют свое сопротивление [15, с 62]:

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

На основании вышеизложенных данных формируется схема замещения эквивалентная (рисунок 10). Здесь суммируются все активные и реактивные сопротивления каждой из ступеней. Значения, представленные на схеме, рассчитываются ниже.

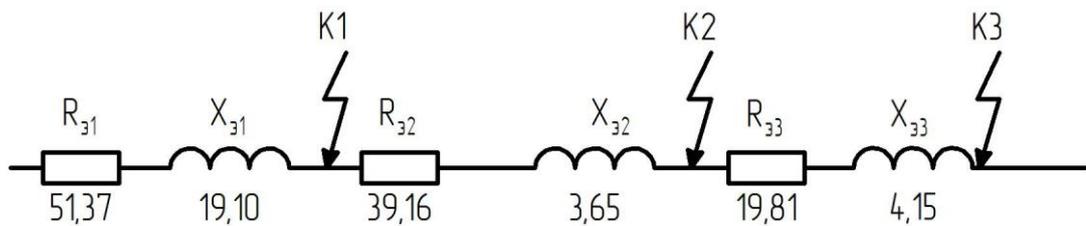


Рисунок 10 – Эквивалентная схема

$$R_{\vartheta 1} = R_{cucm} + R_T + R_{1SF} + R_{n1SF} + R_{III} + R_{c1} \quad (36)$$

$$R_{\vartheta 1} = 32,89 + 3,10 + 0,10 + 0,15 + 0,14 + 15,00 = 51,37 \text{ мОм}$$

где R_{cucm} – активное сопротивление системы;

R_T – активное сопротивление трансформатора;

R_{1SF} – активное сопротивление выключателя 1SF;

R_{n1SF} – активное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF;

R_{III} – активное сопротивление шины;

R_{c1} – активное сопротивление ступени распределения.

$$X_{\vartheta 1} = X_{cucm} + X_T + X_{1SF} + X_{III} \quad (37)$$

$$X_{\vartheta 1} = 5,33 + 13,60 + 0,10 + 0,06 = 19,10 \text{ мОм}$$

где X_{cucm} – реактивное сопротивление системы;

X_T – реактивное сопротивление трансформатора;

X_{1SF} – реактивное сопротивление выключателя 1SF;

X_{III} – реактивное сопротивление шины;

X_{c1} – реактивное сопротивление ступени распределения.

$$R_{\vartheta 2} = R_{SF1} + R_{nSF1} + R_{K/I1} + R_{c2} \quad (38)$$

$$R_{\vartheta 2} = 0,70 + 0,70 + 17,76 + 20,00 = 39,16 \text{ мОм}$$

где R_{SF1} – активное сопротивление выключателя 1SF;

R_{nSF1} – активное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF.

$$X_{\text{э}2} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{КЛ1}} = 0,70 + 2,95 = 3,65 \text{ мОм} \quad (39)$$

где X_{SF1} – реактивное сопротивление выключателя 1SF;

X_{nSF1} – реактивное сопротивление нулевой последовательности выключателя 1SF.

$$R_{\text{э}3} = R_{\text{SF}} + R_{\text{nSF}} + R_{\text{КЛ2}} = 1,30 + 0,75 + 17,76 = 19,81 \text{ мОм} \quad (40)$$

$$X_{\text{э}3} = X_{\text{SF}} + X_{\text{КЛ2}} = 1,20 + 2,95 = 4,15 \text{ мОм} \quad (41)$$

Далее необходимо вычислить сопротивления до каждой из точек КЗ ($R_{\text{К1}}$, $R_{\text{К2}}$, $R_{\text{К3}}$ до точек 1, 2, 3 – соответственно. Они заносятся в сводную ведомость (таблица 11):

$$R_{\text{К1}} = R_{\text{э1}} = 51,37 \text{ мОм} \quad (42)$$

$$X_{\text{К1}} = X_{\text{э1}} = 19,10 \text{ мОм} \quad (43)$$

$$Z_{\text{К1}} = \sqrt{R_{\text{К1}}^2 + X_{\text{К1}}^2} = \sqrt{51,37^2 + 19,10^2} = 54,81 \text{ мОм} \quad (44)$$

$$R_{\text{К2}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э}2} = 51,37 + 39,16 = 90,53 \text{ мОм} \quad (45)$$

$$X_{\text{К2}} = X_{\text{э1}} + X_{\text{э}2} = 19,10 + 3,65 = 22,75 \text{ мОм} \quad (46)$$

$$Z_{\text{К2}} = \sqrt{R_{\text{К2}}^2 + X_{\text{К2}}^2} = \sqrt{90,53^2 + 22,75^2} = 93,34 \text{ мОм} \quad (47)$$

$$R_{\text{К3}} = R_{\text{К2}} + R_{\text{э}3} = 90,53 + 19,81 = 110,33 \text{ мОм} \quad (48)$$

$$X_{\text{К3}} = X_{\text{К2}} + X_{\text{э}3} = 22,75 + 4,15 = 26,89 \text{ мОм} \quad (49)$$

$$Z_{\text{К3}} = \sqrt{R_{\text{К3}}^2 + X_{\text{К3}}^2} = \sqrt{110,33^2 + 26,89^2} = 113,57 \text{ мОм} \quad (50)$$

$$\frac{R_{\text{К1}}}{X_{\text{К1}}} = \frac{51,37}{19,10} = 2,69 \quad (51)$$

$$\frac{R_{\text{К2}}}{X_{\text{К2}}} = \frac{90,53}{22,75} = 3,98 \quad (52)$$

$$\frac{R_{\text{К3}}}{X_{\text{К3}}} = \frac{110,33}{26,89} = 4,10 \quad (53)$$

Определяются ударные коэффициенты K_y и фазные коэффициенты по типам КЗ (q) в соответствии с [15, с 59]:

$$K_{y1} = F \cdot \left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}} \right) = F(2,69) = 1 \quad (54)$$

$$K_{y2} = F \cdot \left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}} \right) = F(3,98) = 1 \quad (55)$$

$$K_{y3} = F \cdot \left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}} \right) = F(4,10) = 1 \quad (56)$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1 \quad (57)$$

$$q_2 = q_3 = q_1 = 1 \quad (58)$$

Вычисляются токи двухфазных ($I_k^{(2)}$) и трехфазных КЗ ($I_k^{(3)}$):

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 54,81} = 4,00 \text{ кА} \quad (59)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{V_{k2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 93,34} = 2,35 \text{ кА} \quad (60)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{V_{k3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 113,56} = 1,93 \text{ кА} \quad (61)$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{K1}^{(3)} = 4,00 \text{ кА} \quad (62)$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{K2}^{(3)} = 2,35 \text{ кА} \quad (63)$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,93 \text{ кА} \quad (64)$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 4,00 = 5,66 \text{ кА} \quad (65)$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 2,35 = 3,32 \text{ кА} \quad (66)$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{k3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 1,93 = 2,73 \text{ кА} \quad (67)$$

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k1}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,00 = 3,47 \text{ кА} \quad (68)$$

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k2}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,35 = 2,04 \text{ кА} \quad (69)$$

$$I_{k3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,93 = 1,67 \text{ кА} \quad (70)$$

Таблица 11 – Ведомость сводная для токов коротких замыканий (3-ф.)

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_{Σ} , МОм	$I_k^{(1)}$, кА
K1	51,37	19,1	54,81	2,69	1	1	4,00	5,66	4,00	3,47	15,0	2,75
K2	90,53	22,75	93,34	3,98	1	1	2,35	3,32	2,35	2,04	71,0	1,62
K3	110,3	26,89	113,5	4,10	1	1	1,93	2,73	1,93	1,67	77,4	1,54

Для вычисления токов однофазных коротких замыканий формируется особая схема замещения, которая учитывает все заземленные элементы цепи. Она изображена на рисунке 11.

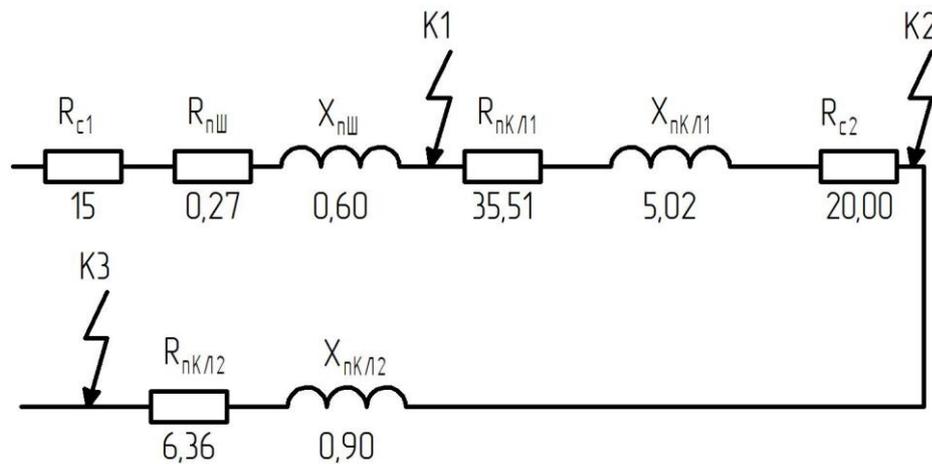


Рисунок 11– Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Сопротивления нулевой последовательности для шин алюминиевых

$$R_{nIII} = 2 \cdot r_{0nIII} \cdot L_{III} = 2 \cdot 0,03 \cdot 4,00 = 0,27 \text{ МОм} \quad (71)$$

$$X_{nIII} = x_{0nIII} \cdot L_{III} = 0,15 \cdot 4,00 = 0,60 \text{ МОм} \quad (72)$$

Сопротивление КЛ нулевой последовательности

$$R_{нкл1} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{КЛ1} = 2 \cdot 0,53 \cdot 33,50 = 35,51 \text{ мОм} \quad (73)$$

$$X_{нкл1} = x_{0н} \cdot L_{КЛ1} = 0,15 \cdot 33,50 = 5,02 \text{ мОм} \quad (74)$$

$$R_{нкл2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл2} = 2 \cdot 0,53 \cdot 6,00 = 6,36 \text{ мОм} \quad (75)$$

$$X_{нкл2} = x_{0н} \cdot L_{кл2} = 0,15 \cdot 6,00 = 0,90 \text{ мОм} \quad (76)$$

где $x_{0н}$ – сопротивление нулевой последовательности соответствующего элемента.

$$Z_{н1} = 15 \text{ мОм} \quad (77)$$

где $Z_{н1}$ – полное сопротивление до точки КЗ;

$R_{н}$ – сопротивление токам нулевой последовательности.

$$R_{n2} = R_{c1} + R_{нкл1} + R_{нШ} + R_{нКЛ1} + R_{c2} = 15,00 + 0,27 + 35,51 + 20,00 \quad (78)$$

$$R_{n2} = 70,78 \text{ мОм} \quad (79)$$

$$X_{n2} = X_{нШ} + X_{нкл1} = 0,60 + 5,02 = 5,62 \text{ мОм} \quad (80)$$

$$Z_{n2} = \sqrt{R_{n2}^2 + X_{n2}^2} = \sqrt{70,78^2 + 5,62^2} = 71,00 \text{ мОм} \quad (81)$$

$$R_{n3} = R_{n2} + R_{нкл2} = 70,78 + 6,36 = 77,14 \text{ мОм} \quad (82)$$

$$X_{n3} = X_{n2} + X_{нкл2} = 5,62 + 0,90 = 6,52 \text{ мОм} \quad (83)$$

$$Z_{n3} = \sqrt{R_{n3}^2 + X_{n3}^2} = \sqrt{77,14^2 + 6,52^2} = 77,42 \text{ мОм} \quad (84)$$

Определим токи однофазных КЗ в точках 1, 2 и 3 ($I_k^{(1)}$)

$$I_{k1}^{(1)} = \frac{V_{kф}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{н1}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 15} = 2,75 \text{ кА} \quad (85)$$

$$I_{k2}^{(1)} = \frac{V_{k\phi}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{n2}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 71,00} = 1,62 \text{ кА} \quad (86)$$

$$I_{k3}^{(1)} = \frac{V_{k\phi}}{\frac{Z_T^{(1)}}{3} + Z_{n3}} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{\frac{195}{3} + 77,42} = 1,54 \text{ кА} \quad (87)$$

Результаты вышеизложенного расчета заносятся в таблицу 11. Из данных, отраженных в данной таблице можно сделать следующие основные выводы.

Наиболее опасные ударные токи при коротких замыканиях в точках К1, К2 и К3 составили: 5,66; 3,32; 2,73 кА – соответственно. На основании этих данных произведем проверку выбранных аппаратов защиты на электродинамическую стойкости, дабы удостовериться, что они не разрушаться при протекании тока К3, а корректно его отключат.

5.1 Проверка автоматических выключателей на электродинамическую стойкость

Выполнение проверки автоматических выключателей на электродинамическую стойкость необходимо главным образом для того, чтобы ответить на вопрос: пригодны ли они для защиты данных линий или требуется заменить аппараты защиты на более устойчивые устройства.

Проверяется соответствие аппарата защиты следующему основному условию:

$$I_{max} > i_y$$

где I_{max} – ток электродинамической стойкости ВА (берется из [9]);

i_y – ударный ток соответствующего участка. Приведен в таблице 11.

Например, выключатель ВА88-32 3Р в линии, питающей вентилятор, подключенный к РП 2 установлен до точки К3. Ударный ток для этого участка составляет 2,7 кА. Электродинамическая стойкость данного выключателя в соответствии с каталогом [15] – 25 кА. Следовательно, данный аппарат подходит для защиты линии. Результаты сравнения для прочих аппаратов защиты сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Проверка по электродинамической стойкости

Защищаемая линия	Марка ВА	Точка КЗ	Ударный ток, кА	Предельная отключающая способность, кА
1	2	3	4	5
Т1 - СШ1 РУ 0,4 кВ	ВА88-40 3Р	К1	5,60	35
Т2 - СШ2 РУ 0,4 кВ	ВА88-40 3Р	К1	5,60	35
СШ 1 РУ 0,4 кВ - ШРА2	ВА88-35 3Р	К2	3,98	35
СШ 1 РУ 0,4 кВ - ШРА3	ВА88-35 3Р	К2	3,98	35
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП1	ВА88-32 3Р	К2	3,98	25
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП2	ВА88-32 3Р	К2	3,98	25
СШ 2 РУ 0,4 кВ - РП3	ВА88-32 3Р	К2	3,98	25
СШ 2 РУ 0,4 кВ - ШРА1	ВА88-35 3Р	К2	3,98	35
СШ 2 РУ 0,4 кВ - ШРА4	ВА88-32 3Р	К2	3,98	25
Насос добавочного давления	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Регулятор подачи первичного сырья	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Устройство подачи катализатора №1	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Мешалка №1	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Сепаратор №1 (ЭД насоса)	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Привод заслонки №1	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Пробоотборник №1	ВА47-29 3Р С	К3	2,70	4,5
Устройство подачи катализатора №2	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Машина выдувная №1	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Сепаратор №2 (ЭД насоса)	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Электрофильтр	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Пробоотборник №2	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Регулятор ссыпания катализатора	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Мешалка №2	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Регулятор подачи полупродукта	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Устройство подачи катализатора №3	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Мешалка №3	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5
Блок доочистки	ВА47-29 3Р D	К3	2,70	4,5

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5
Регулятор подачи изобутилена	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Насос пробоотборника №3	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Реактор пробоотборника №3	BA47-29 3P C	K3	2,70	4,5
Машина выдувная №2	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Блок подогрева катализатора	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Кран-балка с электроталью	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Зарядный агрегат статический, 1-ф	BA47-29 1P C	K3	2,70	4,5
Компрессор	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Насос водяной	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Резервный калорифер	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Вентилятор	BA88-32 3P	K3	2,70	25
ЭД насоса холодильника	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Привод осушителя	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Хранилище катализатора №1	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Хранилище катализатора №2	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5
Хранилище катализатора №3	BA47-29 3P D	K3	2,70	4,5

Из таблицы 12 можно увидеть, что все выключатели, выбранные в рамках пункта 4.1 выдержат ударный ток.

Вывод. В результате выполнения данного пункта произведен расчет токов короткого замыкания. Наиболее опасные ударные токи при коротких замыканиях в точках K1, K2 и K3 составили: 5,66; 3,32; 2,73 кА – соответственно. На основании этих данных произведена проверка выбранных аппаратов защиты на электродинамическую стойкость. Все автоматы, выбранные ранее, пригодны к установке в сеть электроснабжения.

Далее необходимо произвести выбор основного электрооборудования и произвести его проверку на соответствие параметрам сети электроснабжения. Под основным электрооборудованием в данном случае понимаются силовые выключатели на стороне 10 кВ силового трансформатора. Они необходимы для защиты ТП от КЗ на линии 10 кВ, а также защиты линии 10 кВ от КЗ в трансформаторе.

6 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Силовой выключатель на стороне 10 кВ необходим в первую очередь для того, чтобы обеспечить защиту силового трансформатора и ошиновки подстанции. Для его выбора определим номинальный ток, питающий силовые трансформаторы ТП:

$$I_{max} = \frac{S_{ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{ср.ном}} \cdot K_{пер} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,40 = 30,83 \text{ А} \quad (88)$$

Выключатель выбирается исходя из следующих основных параметров: номинальное напряжение и номинальный ток выключателя должны быть больше либо превышать номинальное напряжение и номинальный ток установки. Напряжение установки: 10 кВ. Максимальный ток, протекающий через выключатель: 30,83 А. По таблице 1.11.1 [15] выберем выключатель: ВВЭ-10-400-10 УЗ. Он имеет следующие основные характеристики (таблица 13).

Таблица 13 – Проверка силового выключателя 10 кВ

Наименование параметра	Параметр выключателя	Параметр установки
Номинальное напряжение $U_{н.в.}$, кВ	10	10
Номинальный ток, $I_{н.в.}$, А	400	30,83
Отключающая способность $I_{н.откл.}$, кА	10	0,65
Ток термической стойкости $I_{тс}$, кА	10	0,33
Динамическая стойкость, $i_{ск}$, кА	52	0,92
Время термической стойкости $t_{тс}$, с	4	-
Полное время отключения выключателя, $t_{ов}$, с	1	-

Проверка в таблице 13 считается пройденной успешно, если значение в столбце «Параметр выключателя» больше, либо равно значению в столбце «Параметр установки». Проверим отключающую способность:

$$X'_C = 1,20\text{Мом}$$

$$R'_c = 7,40\text{Мом}$$

Определим полное сопротивление системы:

$$Z_{c3} = \sqrt{R_{c3}^2 + X_{c3}^2} = \sqrt{1,20^2 + 7,40^2} = 8,88\text{Мом} \quad (89)$$

Определим ток короткого замыкания

$$I_K^{(3)} = \frac{V_{k1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 8,88} = 0,65\text{кА} \quad (90)$$

Определим ударный ток короткого замыкания:

$$i_{yk1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_k^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,00 \cdot 0,65 = 0,92\text{кА} \quad (91)$$

Полученные данные занесем в таблицу 13. Определим ток термической стойкости:

$$I_{mc} = I_K^{(3)} \cdot \sqrt{\frac{t_d}{t_{mc}}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 0,33\text{кА} \quad (92)$$

Итак, для защиты силовых трансформаторов выбраны силовые выключатели на стороне 10 кВ подстанции. Решено использовать марку ВВЭ-10-400-10 УЗ (рисунок 12) с электромагнитным приводом.

Как видно из таблицы 13, все характеристики расчетной цепи полностью соответствуют номинальным значениям характеристик выключателя. Результаты вычислений ясно свидетельствует о том, что выбранный выключатель пригоден к применению для защиты силовых трансформаторов на стороне ВН.

6.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Для управления выбранными силовым выключателем существует необходимость применения схемы релейной защиты. В случае с выключателем марки ВВЭ (с электромагнитным приводом) в [12] рекомендуется использовать следующий способ защиты: сочетание мгновенной токовой отсечки (ТО) и максимальной токовой защиты (МТЗ) на базе реле типа РТ-40 и РТВ. В соответствии с [16] подобная схема является наиболее устойчивой и универсальной. Вычислим номинальный ток в линии питания силового трансформатора:

$$I_n = \frac{S_{\tau}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} \cdot 1,4 = 30,83 \text{ A} \quad (93)$$

В соответствии с таблицей 1.12.1 [12] для использования схемы релейной защиты подойдет трансформатор ТПЛ-10. Его коэффициент трансформации: $K_{\tau} = 100/5$. Коэффициент схемы (звезда) равен 1. Схема релейной защиты приведена на рисунке 13. Схема подключения на разность токов двух фаз используется в целях защиты от междуфазных замыканий.

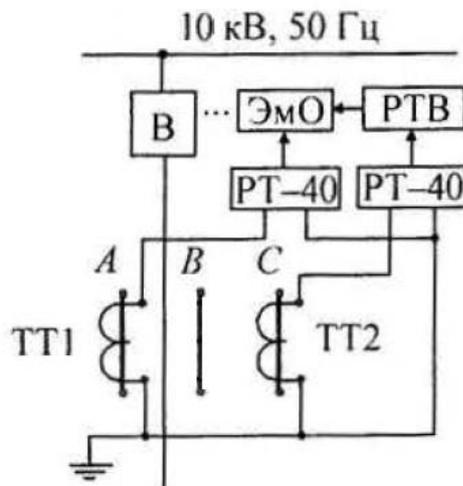


Рисунок 12 – Схема релейной защиты трансформаторной подстанции

Отстройку будем производить от тока КЗ на стороне НН трансформатора (в точке К1, см. пункт 5 данной ВКР).

Приведем ток $I_{K1}^{(3)}$ к стороне ВН:

$$I_{K(НН)}^{(3)} = I_{K(НН)}^{(3)} \cdot \frac{U_{НН}}{U_{ВН}} = 4000 \cdot \frac{0,4}{10,5} = 152,38 \text{ А} \quad (94)$$

Определим уставки срабатывания релейной защиты в соответствии со схемой. Поскольку мощность электродвигателей на стороне НН ничтожна по сравнению с общецеховой мощностью, отстройкой от пусковых токов можно пренебречь. Определим ток срабатывания токовой отсечки.

По таблице 1.12.3 [12] определим коэффициент возврата реле (K_B) и коэффициент надежности отстройки (K_H). Для РТ-40 они составят 0,8 и 1,6 соответственно. Определим ток срабатывания ТО:

$$I_{cp(ТО)} = \frac{K_H \cdot K_{сх} \cdot I_K^{(3)}}{K_T} = \frac{1,6 \cdot 1}{5} 0,15 \cdot 10^3 = 24 \text{ А} \quad (95)$$

Выберем реле РТ-40/100. (ток срабатывания 25 – 50 А.) Уставка – 30 А. Определим коэффициент чувствительности защиты.

$$K_{ч(ТО)} = \frac{0,87 \cdot I_K^{(3)}}{K_T \cdot I_{cp}} = \frac{0,87 \cdot 650}{\frac{50}{5} \cdot 24} = 2,36 \quad (96)$$

Поскольку значение коэффициента чувствительности больше 1,2, защита надежна. Определим данные для МТЗ. Данная защита отстраивается от максимального номинального тока линии.

Ток срабатывания: (данные коэффициентов приняты по [12])

$$I_{\text{ср(МТЗ)}} = \frac{K_{\text{зап}} \cdot K_{\text{н}} \cdot K_{\text{сх}}}{K_{\text{в}} \cdot K_{\text{т}}} \cdot I_{\text{нб}} = \frac{11,25 \cdot 1}{0,8 \cdot 50 / 5} \cdot 30,83 = 4,82 \text{ А} \quad (97)$$

Применим РТ-40/10 (Ток срабатывания 2,5..5). Уставка: 5 А. Определим чувствительность защиты:

$$K_{\text{ч(ТО)}} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{к}}^{(3)}}{K_{\text{т}} \cdot I_{\text{ср}}} = \frac{0,87 \cdot 650}{\frac{50}{5} \cdot 5} = 11,2 \quad (98)$$

Так как коэффициент защиты принял значение больше 1,2, защита надежна. Таким образом, на подстанции используется:

- Два измерительных токовых трансформатора ТПЛ-10 (50/5)
- РТ-40/100 (24 А для ТО)
- РТ-40/10 (4 А для МТЗ)
- РТВ (уставка по времени – 5 с.)

Таким образом, произведен выбор релейной защиты, которая обеспечит безопасность силового трансформатора и позволит селективно отключать короткие замыкания, находящиеся вне зоны ответственности защиты на стороне 0,4 кВ. Использование максимальной токовой защиты позволит исключить перегрузку силового трансформатора, а токовая отсечка отключит короткое замыкание, произошедшее как внутри самого трансформатора, так и в районе ошиновки РУ 0,4 кВ до выключателя SF.

Вывод. Решено использовать марку выключателя ВВЭ-10-400-10 УЗ с электромагнитным приводом. Произведенный комплекс проверок подтвердил пригодность данного выключателя к применению в рассматриваемой сети. Для управления силовыми выключателями рассчитаны параметры релейной защиты. Решено совместно использовать МТЗ и ТО на базе реле РТ-40 и РТВ. Уставка по току для МТЗ составила 4 А, а для ТО – 24 А. Уставка времени для МТЗ принята равной 5-ти секундам.

7 Расчет контура заземления производственного корпуса

Система заземления является неотъемлемой частью любой электроустановки, обеспечивая не только безопасность работы на ней, но и саму работу в принципе. Существует рабочее заземление, к которому подключаются нейтрали электрооборудования и защитное – оно обеспечивает соединение нормально нетоковедущих элементов электроустановки и электрооборудования с землей для обеспечения защиты человека от удара электрическим током в случае, если потенциал в результате износа изоляции или ошибок монтажа окажется подан на данную проводящую конструкцию. В соответствии с разделом 1.7 [10] заземлению подлежат все металлические нормально нетоковедущие части электрооборудования. Однако, необходимо учитывать, что для обеспечения должного уровня безопасности заземляющая установка должна иметь определенное сопротивление, регламентируемое таблице 1.8.38 [6].

В соответствии с данными, предоставленными службой эксплуатации цеха, сопротивление существующего заземляющего устройства (ЗУ) составляет 3 Ом. ЗУ выполнено путем продольно-поперечного соединения стальных полос (горизонтальные заземлители) с приваренными к ним вертикальными стальными стержнями. Точки заземления оборудования выполнены в виде болтов, закрепленных на контуре методом сварки.

В соответствии с таблицей 1.8.38 [10] для электроустановок с глухозаземленной нейтралью с «учетом естественных заземлителей и повторных заземлителей отходящих линий» сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом. Следовательно, существующее ЗУ цеха соответствует данному параметру и не нуждается в реконструкции.

Вывод. Проверка заземляющего устройства цеха показала соответствие его параметров существующим нормативным актам.

Заключение

По итогу выполнения выпускной квалификационной работы произведен комплекс работ по формированию проекта реконструкции системы электроснабжения установки выделения концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук».

Изучена исходная информация по объекту проектирования. Получены данные о дооснащении и модернизации производственных линий, планы расположения технологического оборудования. Оценено техническое состояние существующих систем освещения и электроснабжения, которое признано неудовлетворительным.

Выбрана смешанная схема электроснабжения предприятия. Питание технологических линий выполнено распределительными шинопроводами, а приемников в отдельных помещениях – от распределительных пунктов. В блок секционирования на РУ 0,4 кВ интегрировано существующее устройство АВР.

Рассчитана осветительная установка цеха. Для освещения помещений установки решено использовать светильники марки ВЭСС-ГЗС-СД.Л 1Ех тb ПС Т6 Gb X/Ех тb ПС Т85° С Db X общим количеством 195 штук и суммарной мощностью 11,70 кВт. Методом расчетного коэффициента определена нагрузка цеховой сети электроснабжения. Активная мощность составила 403,9 Вт, реактивная - 313,8 кВар, 511,5 кВА. Принято решение о компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной установки 2×УКМ-0,4-75-УЗ. В результате, полная мощность составила 435,8 кВА, а ток - 629,1 А.

Определены параметры источника питания цеха. Решено заменить устаревшие совтоловые трансформаторы на модель ТСЛ-СЭЩ-400/10/0,4УЗ. Их мощность позволит обеспечить возросшие нагрузки технологического оборудования и создаст запас мощности.

В качестве аппаратов защиты решено использовать модульные автоматические выключатели марки IEK. В качестве проводников – кабель

ВВГнг(А)-LS в неперфорированном лотке, шинопроводы взрывозащищенного исполнения и жесткую ошиновку (для связи силовых трансформаторов с РУ 0,4 кВ).

Определены токи коротких замыканий. Так, наиболее опасный ударный ток наблюдается в точке К1 (на шинах РУ 0,4 кВ) при трехфазном КЗ. Его величина составляет 5600 кА. Установившийся ток такого КЗ будет равен 4000 кА. Проверена электродинамическая стойкость выбранных ранее силовых выключателей. Все они соответствуют параметрам системы.

Для защиты силовых трансформаторов выбраны силовые выключатели на стороне 10 кВ подстанции. Решено использовать марку ВВЭ-10-400-10 УЗ с электромагнитным приводом. Произведенный комплекс проверок подтвердил пригодность данного выключателя к применению в рассматриваемой сети. Для управления силовыми выключателями рассчитаны параметры релейной защиты. Решено совместно использовать МТЗ и ТО на базе реле РТ-40 и РТВ. Уставка по току для МТЗ составила 4 А, а для ТО – 24 А. Уставка времени для МТЗ принята равной 5-ти секундам.

Проверка заземляющего устройства цеха показала соответствие его параметров существующим нормативным актам.

Таким образом, произведено формирование проекта реконструкции системы электроснабжения установки выделения концентрированного изобутилена ООО «Тольяттикаучук». Цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Список используемых источников

- 1 Взрывозащищённые светильники (ООО "ГАЗСНАБ") // Информационно-справочная система Нефтегазоэнергоэксперт 2.0. URL: <https://ngee.ru/vzryvozaschischennye-svetilniki.html> (дата обращения: 09.05.2022).
- 2 ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. М. : Стандартинформ, 1985. 20 с.
- 3 ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. М. : Стандартинформ, 1969. 91 с.
- 4 ГОСТ 28249-93. Короткие замыкания в электроустановках М. : Стандартинформ, 1993. 109 с.
- 5 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М. : Стандартинформ, 2012. 20 с.
- 6 ГОСТ 8.417 - 2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. М. : Стандартинформ, 2002. 33 с.
- 7 Длительно-допустимый ток для алюминиевой шины // Официальный сайт ООО «Невская алюминиевая компания». URL: <http://spbalum.ru/manual/alyuminievaya-shina-tok> (дата обращения: 14.08.2022).
- 8 Каталог трансформаторов силовых с масляной и сухой изоляцией // Официальный сайт ЗАО «ГК «Электрощит-Самара». URL: <https://electroshield.ru/upload/iblock/ef6/Katalog-Transformatory-silovye-s-maslyanoy-i-sukhoj-izolyatsiey.pdf> (дата обращения: 25.07.2022).
- 9 Модульные выключатели // Официальный сайт фирменного магазина ИЕК в России. URL: <https://iek-rus.ru/category/modulnoe-oborudovanie/> (дата обращения 26.09.2022).

10 ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М.: Стандартинформ, 2001. 330 с.

11 СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М. : Стандартинформ, 2009. 36 с.

12 СП 28.13330.2017. Защита строительных конструкций от коррозии. М. Стандартинформ, 2017. 127 с.

13 СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М. : Стандартинформ, 2011. 114 с.

14 Черненко Ю.В. Проектирование электрической части понизительной подстанции : Учебное пособие для курсового проектирования. Тольятти : ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2020. 88 с.

15 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2018. 214 с.

16 Beinarts I., Grunde U., Jacovics A. Distributed multi-sensor real-time building environmental parameters monitoring system with remote data access // De gruyter open. 2015. Vol. 7. PP 41-46.

17 Bonoli A., Fusco E.D., Zanni S., Lauriola I., Ciriello V., Federico V.D. Green Smart Technology for Water (GST4Water): Life Cycle Analysis of Urban Water Consumption // Water, 2022, Vol. 11. Issue 2. PP. 389-401.

18 Gonzalez-Galvez O., Morales M., Seefoo C., Morillon D., Ali Khan Z., Valdes H. Energy Diagnosis of University Buildings: Renewable Energy Institute from UNAM // Buildings. 2018. № 8. PP. 136-153.

19 Lo C., Tsai S., Olarinoye G., Lin B.S. Ice Storage Air-Conditioning System Simulation with Dynamic Electricity Pricing: A Demand Response Study // Energies. 2018. № 9. PP. 113-129.

20 Yang D., Zhao K., Tian H., Liu Y. Decision Optimization for Power Grid Operating Conditions with High- and Low-Voltage Parallel Loops // Applied sciences. 2017. Vol. 7. PP 487-505.