

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 Проектирование системы электроснабжения лакокрасочного завода

Обучающийся

С. С. Трункина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. Горохов И.В.

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Разработка системы электроснабжения для лакокрасочного завода является важным шагом в обеспечении надежной и эффективной работы завода.

Актуальность этой задачи связана с рядом факторов:

- рост производства: с увеличением объемов производства возрастают и требования к электроснабжению. Лакокрасочный завод, как и любое производство, нуждается в надежной и эффективной системе электроснабжения для обеспечения непрерывной работы оборудования и производства продукции.
- рост энергозатрат: производство лакокрасочных материалов требует значительных энергетических ресурсов, которые должны быть обеспечены надежной системой электроснабжения.
- соответствие требованиям экологической безопасности: завод должен соответствовать требованиям экологической безопасности, что включает в себя использование эффективных и экологически чистых технологий и оборудования. В этом контексте, разработка надежной системы электроснабжения становится еще более важной.

«Для качественной реализации основной цели работы, решены следующие поставленные задачи» [11]:

- «анализ исходных данных» [11];
- «проектирование системы электроснабжения лакокрасочного завода, с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта» [11];
- «расчёт релейной защиты и автоматики ГПП системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика исходных данных лакокрасочного завода	6
1.1 Техническая характеристика лакокрасочного завода	6
1.2 Анализ основной нормативной литературы для проектирования системы электроснабжения лакокрасочного завода	12
2 Проектирование системы электроснабжения лакокрасочного завода	20
2.1 Выбор рациональных напряжений схемы электроснабжения лакокрасочного завода.....	20
2.2 Выбор схемы электроснабжения лакокрасочного завода.....	21
2.3 Расчёт электрических нагрузок	26
2.4 Выбор мощности силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП	30
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	33
2.6 Расчёт картограммы электрических нагрузок и места расположения ГПП.....	41
2.7 Выбор и расчёт электрических проводников.....	43
2.8 Выбор основного оборудования и его проверка.....	49
3 Выбор схемы релейной защиты силовых трансформаторов ГПП лакокрасочного завода.....	60
Заключение	68
Список используемых источников.....	71

Введение

Развитие и совершенствование отечественных предприятий промышленности тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении.

Структура и организационные формы промышленного хозяйства весьма разнообразны и зависят от типа производства, вида выпускаемой продукции, ее конструкторской и технологической сложности и объема производства [1].

Основное направление для реализации в производстве лакокрасочных материалов – обеспечения изготовления качественной продукции при уменьшении затрат на энергоносители всех типов.

Одним из путей решения является усовершенствование данной составляющей путём модернизации основного оборудования и сетей в системе электроснабжения как данного предприятия, так и вне его.

Разработка системы электроснабжения для лакокрасочного завода является важным шагом в обеспечении надежной и эффективной работы завода.

Актуальность этой задачи связана с рядом факторов:

- рост производства: с увеличением объемов производства возрастают и требования к электроснабжению. Лакокрасочный завод, как и любое производство, нуждается в надежной и эффективной системе электроснабжения для обеспечения непрерывной работы оборудования и производства продукции.
- рост энергозатрат: производство лакокрасочных материалов требует значительных энергетических ресурсов, которые должны быть обеспечены надежной системой электроснабжения.
- соответствие требованиям экологической безопасности: завод должен соответствовать требованиям экологической безопасности, что включает в себя использование эффективных и экологически чистых технологий и оборудования. В этом контексте, разработка надежной

системы электроснабжения становится еще более важной.

«Для качественной реализации основной цели работы, решены следующие поставленные задачи» [11]:

- «анализ исходных данных» [11];
- «проектирование системы электроснабжения лакокрасочного завода, с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта» [11];
- «расчёт релейной защиты и автоматики ГПП системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта.

Целями разработки системы электроснабжения лакокрасочного завода в работе являются:

- обеспечение надежной и эффективной работы оборудования и системы производства лакокрасочного завода;
- снижение энергопотребления и затрат на электроснабжение лакокрасочного завода;
- обеспечение соответствия требованиям экологической безопасности и нормам качества продукции;
- минимизация рисков аварий и сбоев в работе системы электроснабжения лакокрасочного завода.

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода» [8].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема внешнего электроснабжения объекта исследования, а также её составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств, релейная защита и автоматика трансформаторов ГПП)» [8].

Перечисленные практические мероприятия по обеспечению проектирования решаются в работе далее.

1 Характеристика исходных данных лакокрасочного завода

1.1 Техническая характеристика лакокрасочного завода

Увеличение спроса на лакокрасочные изделия, а также близость логистических цепей и наличие необходимых мощностей обуславливает целесообразность ввода в эксплуатацию системы электроснабжения данного объекта.

Рассматриваемый в работе объект проектирования (лакокрасочный завод), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию потребителям различных лакокрасочных изделий для различного применения (промышленного, бытового, специального).

Исходя из технологических требований, рассматриваемое в работе лакокрасочное производство включает совокупность цехов и участков для выполнения технологических операций по производственному циклу готовой продукции.

На проектируемом лакокрасочном заводе выпускается широкий ассортимент продукции.

Технология производства той или иной продукции на лакокрасочном заводе напрямую зависит от вида и типа этого продукта.

Основная классификация производимой продукции лакокрасочного завода представлена на рисунке 1.

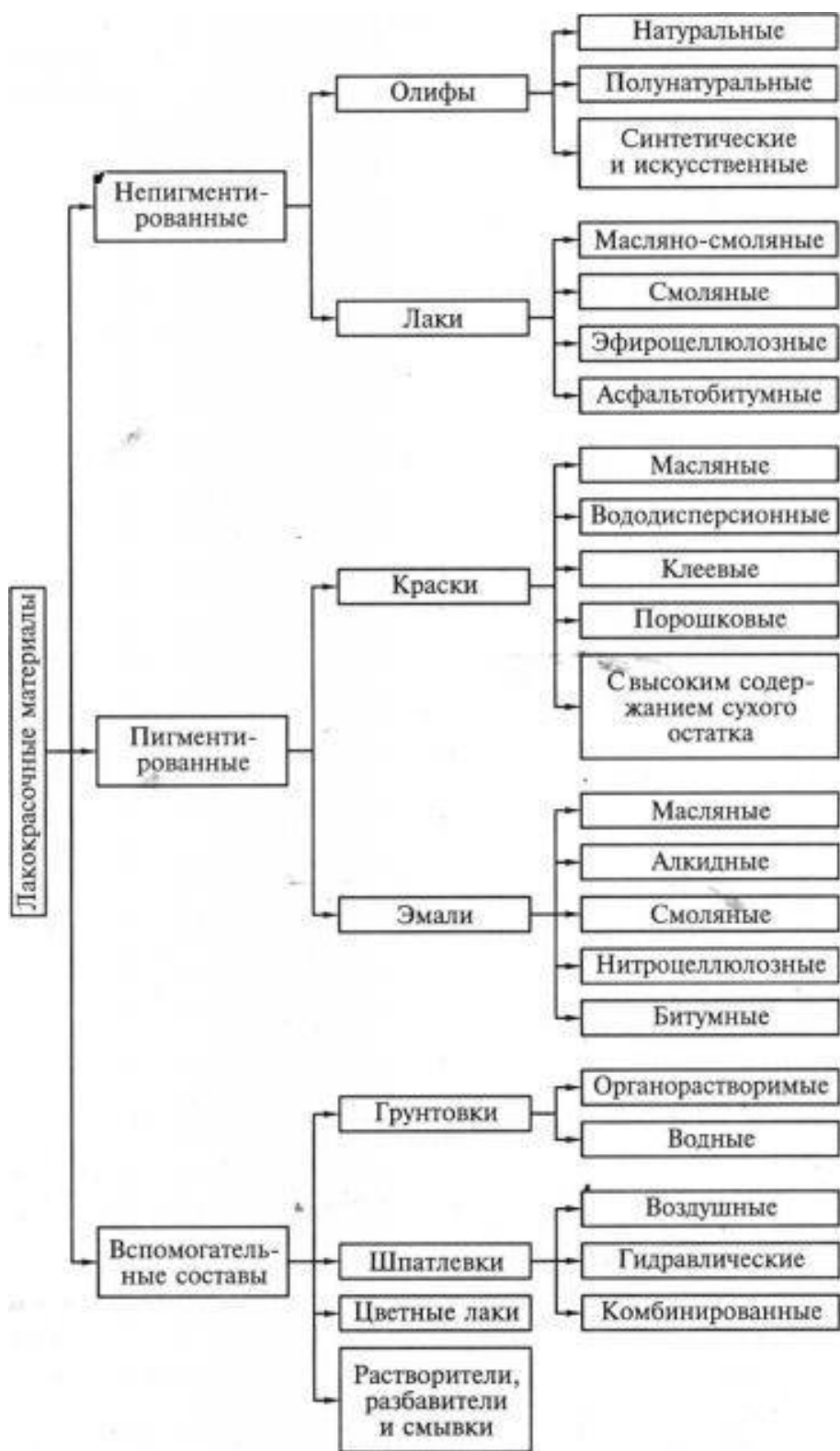


Рисунок 1 – Основная классификация производимой продукции лакокрасочного завода

Технологическая схема производства приведённых на рисунке 1 основных видов продукции лакокрасочного завода очень разнообразна, поэтому ниже рассматривается основная из них.

Технологическая схема производственного процесса водоземulsionных красок на заводе лакокрасочных изделий представлена на рисунке 2.

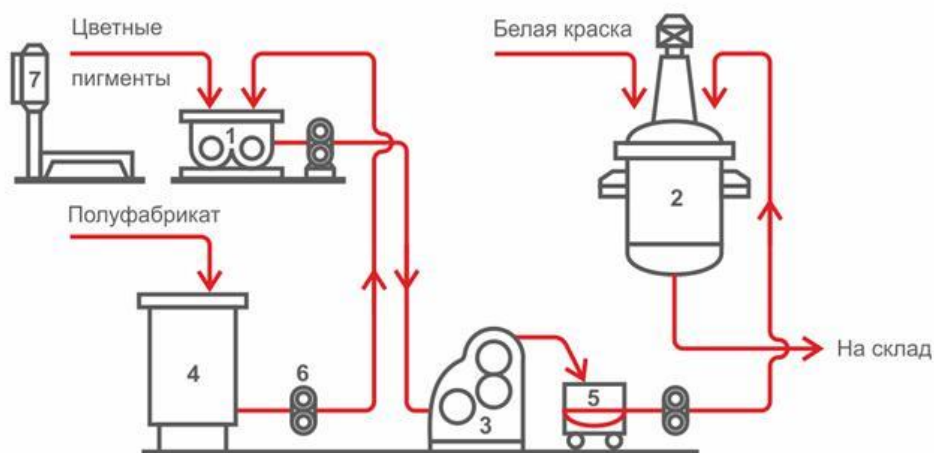


Рисунок 2 – Технологическая схема производственного процесса водоземulsionных красок на заводе лакокрасочных изделий:
 1 – смешивательная машина; 2 – смешиватель универсальный (используется только при производстве цветных красок); 3 – краскотёрочная машина; 4 – ёмкость для краски; 5 – дежа; 6 – приводной насос; 7 – весы

Технологическая схема производственного процесса лакокрасочных покрытий порошкового типа на заводе лакокрасочных изделий представлена на рисунке 3.

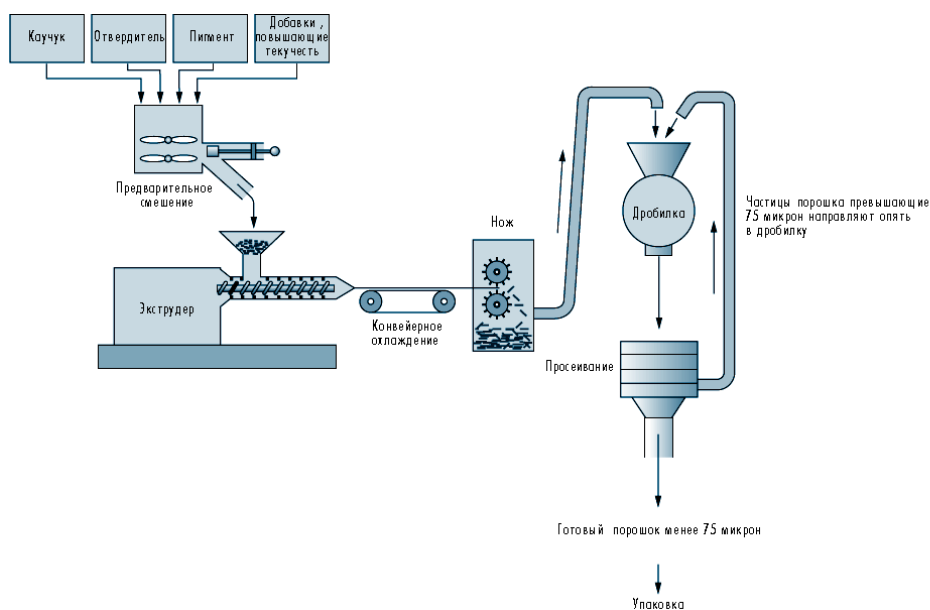


Рисунок 3 – Технологическая схема производственного процесса лакокрасочных покрытий порошкового типа

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса на заводе лакокрасочных изделий, на объекте проектирования можно выделить следующие основные этапы производства:

- подготовительный этап – включает доставку, хранение и транспортирование исходных материалов, применяемых в технологическом процессе изготовления лакокрасочных изделий, а также подготовку первичного материала для производства (растворов, суспензий, порошков, растворителей и прочих аналогичных материалов);
- основной производственный этап – предусматривает непосредственное изготовление лакокрасочных изделий в зависимости от их вида и типа, с последующей упаковкой и маркировкой готовой продукции;
- заключительный этап – включает контроль качества готовой продукции, хранение и доставку потребителю.

В рассматриваемой системе электроснабжения лакокрасочного завода, имеется четыре основных производственных корпуса, которые вносят основной вклад в технологический процесс производства готовой продукции.

Исходя из технологического процесса производства, к основным производственным корпусам лакокрасочного завода относятся:

- цех подготовки производства;
- цех производства красок;
- цех производства лаков и покрытий;
- цех контроля и упаковки готовой продукции.

Перечисленные производственные корпуса являются основными в системе электроснабжения лакокрасочного завода.

Помимо них, «на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию (основную и неосновную)» [18].

«К таким подразделениям относятся» [8]:

- «технологический комплекс технического обеспечения основного производства» [8];
- «ремонтно-эксплуатационные службы» [8];
- «складской комплекс и автопарк» [8];
- «административный корпус» [8].

Таким образом, установлено, что в структуре проектируемого лакокрасочного завода присутствует восемь структурных комплексов (подразделений), из них четыре являются производственными, и четыре – непроизводственными (таблица 1).

Таблица 1 – Основные данные и систематизация подразделений лакокрасочного завода по категориям надёжности

№ цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Назначение цеха (участка)	Категория надёжности
1	Цех подготовки производства:	2005	Основной производственный	I
	- потребители 0,4 кВ	1375		
	- потребители 10 кВ	630		
2	Цех контроля и упаковки готовой продукции	2000	Основной производственный	I
3	Цех производства лаков и покрытий	1520	Основной производственный	I
4	Складской комплекс и автомобильная служба	200	Неосновной вспомогательный	III
5	Ремонтно-эксплуатационные службы	1250	Основной вспомогательный	II
6	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	1925	Основной вспомогательный	II
7	Цех производства красок	3125	Основной производственный	I
8	Административный корпус	600	Неосновной вспомогательный	III
Всего по лакокрасочному заводу		12625	-	I, II, III

По номинальному напряжению потребителей основных подразделений проектируемой системы электроснабжения цехов и участков лакокрасочного завода можно сделать вывод, что все потребители, за исключением мощного электродвигателя мощностью 630 кВт и напряжением 10 кВ цеха подготовки

производства, относятся к электроприёмникам низкого номинального напряжения (0,38/0,22 кВ).

План расположения основных подразделений на территории лакокрасочного завода представлен на рисунке 4.

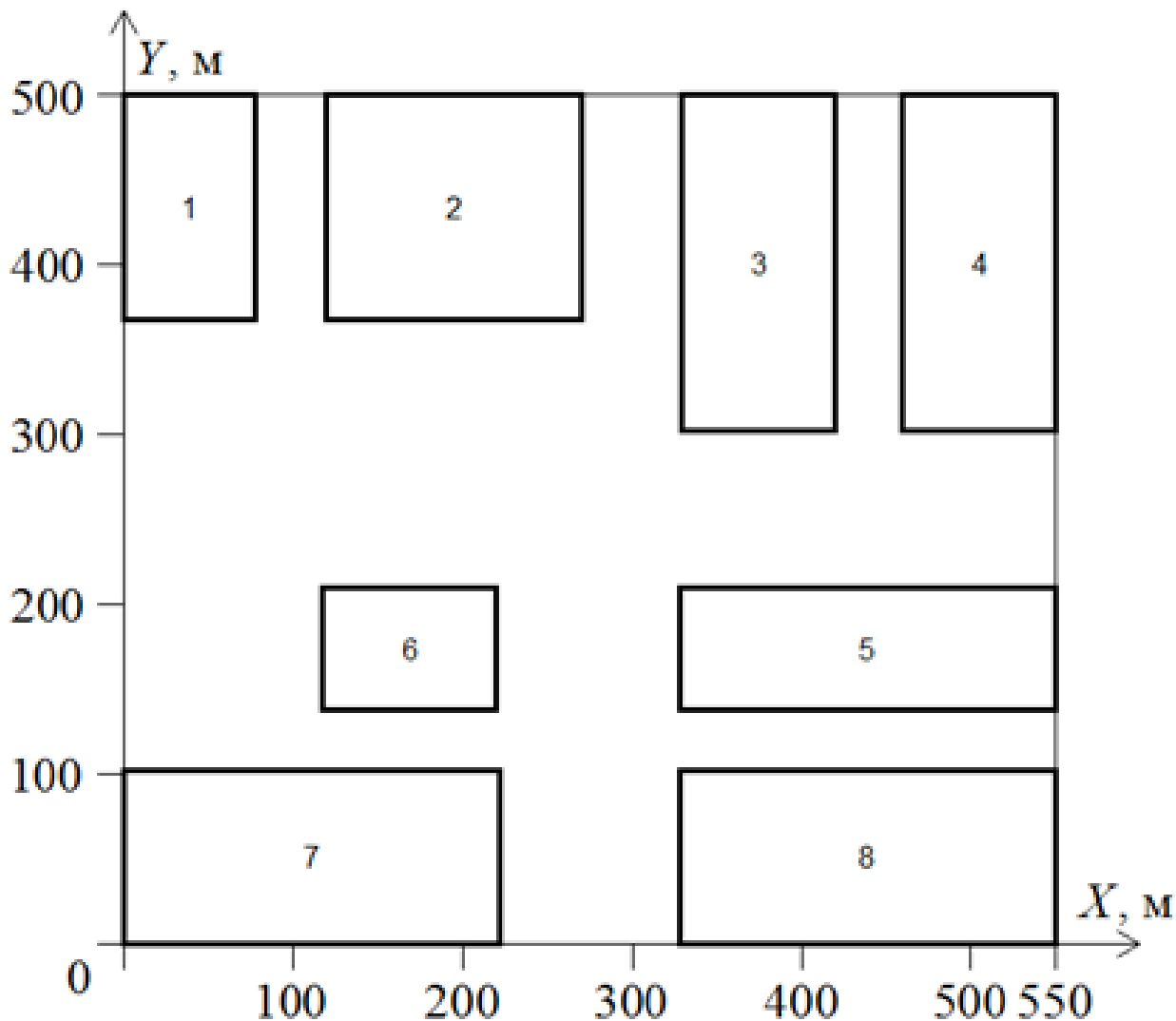


Рисунок 4 – План расположения основных подразделений на территории лакокрасочного завода

Учитывая приведённую «информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по проектированию внешней системы электроснабжения» [8] лакокрасочного завода.

1.2 Анализ основной нормативной литературы для проектирования системы электроснабжения лакокрасочного завода

Проводится краткий обзор и анализ основной нормативной литературы, необходимый для проектирования системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Приводятся основные нормативные документы, применяемые в работе для проектирования системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Правила устройства электроустановок, издание 7 [11], являются основным нормативно-техническим документом по проектированию любых электроустановок, в том числе и систем электроснабжения. В данном документе приведены основные нормативы и данные, которые необходимы для выбора и проверки схемных решений, сетей и электрооборудования. Приведены основные расчетные формулы для вычисления нормативных параметров, а также типовые схемы электрических соединений для применения в системах электроснабжения всех типов [11]. Очевидно, что источник [11] является основным источником информации по нормативным параметрам при выполнении работы.

В другом нормативном документе (ПТЭ) [9], основной акцент делается на вопросы обеспечения безопасной и надежной эксплуатации электроустановок систем электроснабжения различного назначения. В документе [9] подробно рассмотрены вопросы организации ремонта и обслуживания электроустановок, безопасности ремонтного и эксплуатационного персонала. Также приводятся различные справочные и нормативные данные. Отмечено, что руководствоваться данными Правилами [9] следует только в качестве дополнения к основным нормативно-техническим документам по проектированию любых электроустановок [3]. Также рассматриваются вопросы выполнения контура заземления и молниезащиты, приведены характеристики различного электрооборудования. Данная информация будет полезна при написании работы.

Также вопросы проектирования систем электроснабжения рассмотрены в ПТЭ [10]. В данном нормативном документе детально рассматриваются вопросы проектирования электроэнергетических систем и обеспечения их максимальное энергоэффективности. Большое внимание уделено вопросам расчета технико-экономических показателей ТП и энергосистем в целом. Приведены основные расчетные формулы для определения технико-экономических показателей, справочные данные по электрооборудованию и нормативным показателям работы энергосистем [10]. Рассматриваются вопросы определения динамических и статических приведенных затрат на проектирование, а также обеспечение качественного ремонта, обслуживания и монтажа электроустановок всех типов.

В источнике [12], рассматривается расчет токов КЗ, особенности расчетов и допущения при расчетах токов КЗ для ТП в составе крупных энергосистем. Приводится статистика и классификация видов КЗ, типовые схемы замещения, расчетные формулы и справочные данные для расчетов токов КЗ. Особый акцент делается на вопросы термического действия токов КЗ [12]. Приведены рекомендации по расчетам токов КЗ с применением современного компьютерного ПО [12]. Очевидно, что расчет токов КЗ крайне важен для выбора и проверки оборудования в системе электроснабжения лакокрасочного завода, поэтому данная информация будет полезна и необходима при написании работы [12].

В источнике [3] подробно рассматриваются типовые варианты схем РУВН и РУНН подстанций и распределительных устройств всех типов для применения в системах электроснабжения и даны рекомендации по их применению. Правильный выбор схемы РУ важен для обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей системы электроснабжения лакокрасочного завода и обеспечения ее оптимальных технико-экономических показателей [3]. Данное пособие согласовано с ОАО «ФСК ЕЭС» и приведенные схемы соответствуют ее требованиям [3].

В источнике [2] приведены требования к нормам качества электроэнергии систем электроснабжения всех типов. Рассмотрены предельно-допустимые отклонения параметров режимов и характеристик от нормативных величин. Обоснованы нормы электромагнитной совместимости электрооборудования в системах электроснабжения потребителей [2]. Частично рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в СЭС всех типов [2].

Также в работе разрабатываются вопросы по проектированию релейной защиты и автоматики основного электрооборудования системы электроснабжения лакокрасочного завода. В источнике [5], рассматриваются вопросы исполнения современной микропроцессорной релейной защиты ЛЭП и ТП. Подробно рассмотрена методика расчета уставок РЗА, приведены расчетные формулы и справочные данные. Рассмотрены алгоритмы действия различных видов РЗА, приведены их типовые структурные схемы [5]. Рассматриваются современные микропроцессорные терминалы РЗА, их особенности их характеристики, даны рекомендации по выбору терминалов для различных мест установки. Данное пособие предназначено для студентов ВУЗов и будет полезно при выборе терминалов и уставок защит РЗА.

Таким образом, в результате проведенного краткого анализа основных источников литературы, которые используются при выполнении работы, установлено, что «по специфике и составу, системы электроснабжения заводов лакокрасочных изделий, относятся к системам электроснабжения промышленных предприятий классического типа» [11].

Известно также, что системы электроснабжения делятся на внешнюю и внутреннюю части. При этом питание внешней части схемы системы электроснабжения может осуществляться от следующих источников:

- главная понизительная подстанция (ГПП) – как правило, это подстанции глубокого ввода классами напряжения 330(220,110,35)/35,10(6) кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;

- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ГПП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия.

Во внутренней части систем электроснабжения, осуществляется распределение электроэнергии по цехам (внутризаводская часть системы электроснабжения) и далее по конечным потребителям (внутрицеховая часть системы электроснабжения). При этом питание внутренней части схемы системы электроснабжения может осуществляться от следующих источников:

- цеховая понизительная подстанция (ЦТП) – как правило, это подстанции с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;
- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ЦРП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт (РП) – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия;
- вводное распределительное устройство – служит для приёма и распределения электроэнергии на конкретном объекте или участке;
- распределительные устройства (РУ) – распределяют полученную электроэнергию от ВРУ к конечным потребителям, для силовой нагрузки применяются силовые распределительные шкафы (СРШ), для осветительной – щитки рабочего (ЩРО) и аварийного (ЩАО) освещения.

Таким образом, установлено, что основными элементами как внешней, так и внутренней систем электроснабжения классического типа, являются трансформаторные подстанции.

Известно, что к современным трансформаторным понизительным подстанциям систем электроснабжения классического типа предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
- обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других

- объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
- соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
 - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
 - использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
 - автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
 - применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением подстанций;
 - ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
 - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
 - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;
 - применение блочных конструкций;
 - использование современного оборудования распределительных устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
 - минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном

технико-экономическом эффекте.

Кроме того, основным критерием, влияющим на проектирование схем электроснабжения и выбор основного оборудования, является критерий, учитывающий категорию надёжности потребителей, регламентирующий принцип резервирования.

Принципы резервирования потребителей систем электроснабжения в зависимости от категории надёжности основаны на обеспечении каждого потребителя минимально необходимым числом источников питания.

Известно, что для 1 и 2 категории надёжности их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника. При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника.

Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания.

При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время не автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [11].

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по проектированию схемы электрических соединений нормального режима системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Выводы по разделу.

«В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового лакокрасочного завода, с

детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [13] условиям технологического процесса.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён перечень основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения лакокрасочного завода.

«Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения» [10] лакокрасочного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Приведённая информация является основой для проектирования системы электроснабжения объекта, которое осуществляется в работе далее.

2 Проектирование системы электроснабжения лакокрасочного завода

2.1 Выбор рациональных напряжений схемы электроснабжения лакокрасочного завода

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы электроснабжения лакокрасочного завода.

Рассматриваются номинальные классы напряжения для применения во внешней и внутренней схемах электроснабжения объекта проектирования.

Согласно формуле Стила:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P}, \quad (1)$$

где L – «длина питающей линии, км» [10];

P - «передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«По условию (1) для ГПП внешней СЭС проектируемого лакокрасочного завода» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{6 + 16 \cdot 12,625} = 62,6 \text{ кВ}.$$

Для внешней системы электроснабжения проектируемого объекта принимается значение паспортного напряжения, равного значению 110 кВ (с учётом перспективы развития электрической сети промышленного района, в котором предусматривается сооружение проектируемого лакокрасочного завода) [3].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого лакокрасочного завода, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

Таким образом, окончательно установлено, что питание проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с классами напряжения 110/10 кВ. На основе полученных расчётных данных, далее в работе проводится решение поставленных основных задач.

2.2 Выбор схемы электроснабжения лакокрасочного завода

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого лакокрасочного завода объекта, является двухтрансформаторная питающая ГПП-110/10 кВ. На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения проектируемого лакокрасочного завода объекта (рисунок 5) [1].

Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 5, в работе необходимо провести обоснование и выбрать рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта:

- схему нормальных электрических соединений РУ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему нормальных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему распределительной сети 10 кВ (схема питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ);
- схему трансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ (схема

электрических соединений 10 кВ и 0,4 кВ ЦТП);

- схему присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на основе анализа литературных источников [4,20], а также важнейших результатах проведённого анализа литературы (ранее в работе).

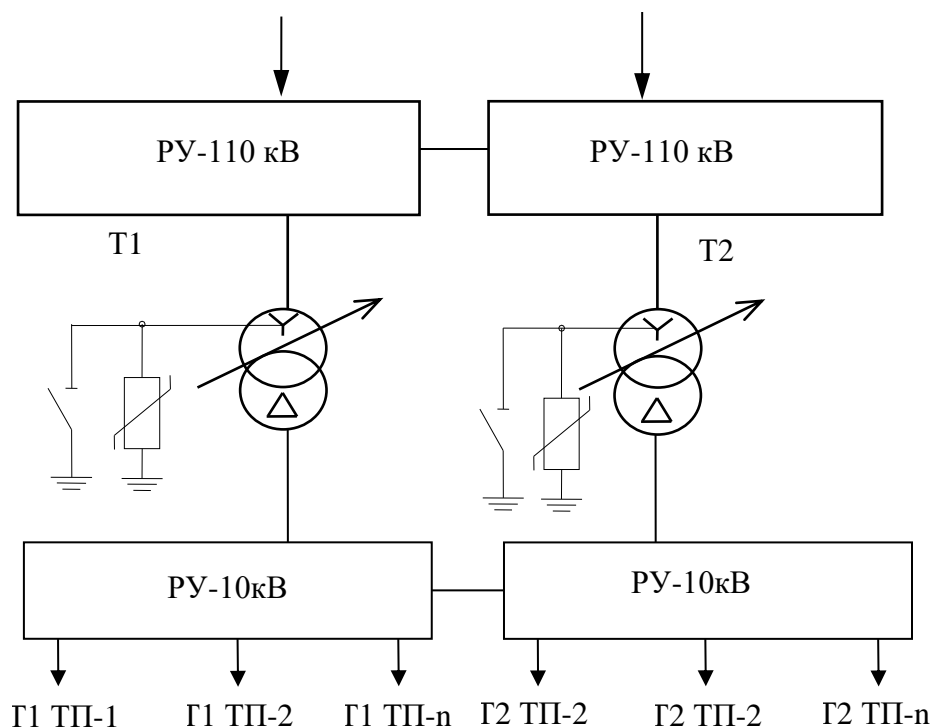


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения лакокрасочного завода

Для применения в ОРУ-110 кВ на питающей ГПП-110/10 кВ, в работе принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий», приведённая на рисунке 5.

Такая схема ВН ГПП-110/10 кВ с резервированием применяется при двух силовых трансформаторах, ГПП-тупиковая.

Данные условия полностью выполнены в схеме ОРУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Схема обеспечивает резервирование и возможность транзита электроэнергии по одной из питающих линий ВЛ-110 кВ в энергосистеме (в

случае необходимости с перспективой дальнейшего расширения и реконструкции схемы).

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ лакокрасочного завода представлено на рисунке 6.

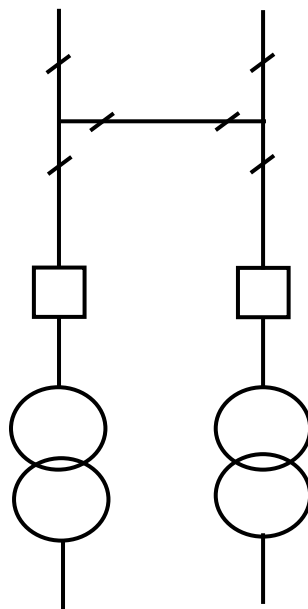


Рисунок 6 – Выбранное схемное решение для РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ лакокрасочного завода

Для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [4,20].

Такая схема НН ГПП с выполняется с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений.

Данные условия выполнены в схеме электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ объекта проектирования.

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ лакокрасочного завода представлено на рисунке 7.

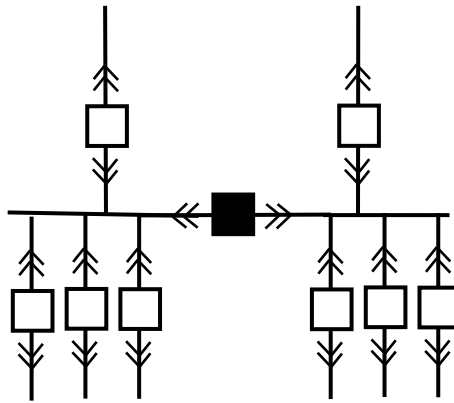


Рисунок 7 – Выбранное схемное решение для РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ лакокрасочного завода

Распределительная сеть 10 кВ выполняется кабельными линиями от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ до РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ проектируемого лакокрасочного завода.

Для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [4,20].

Такая схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, принимается для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности, что характерно объекту проектирования.

Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается классическая «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Также в работе проводится выбор схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Исходя из расчётной нагрузки системы «собственных нужд, к установке на ГПП системы внешнего электроснабжения объекта, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих раздельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП» [15].

На стороне НН предусматривается раздельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи [20].

Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ представлена на рисунке 8.

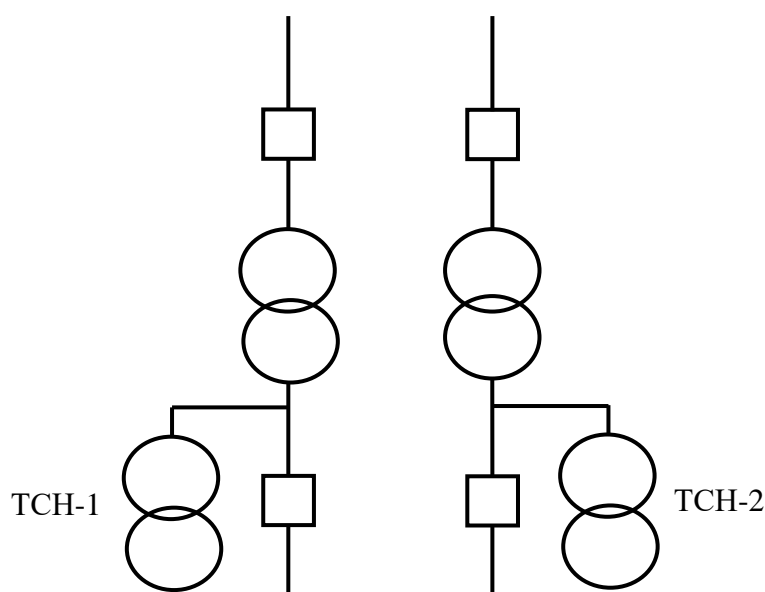


Рисунок 8 – Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ

Таким образом, установлено, что все выбранные в работе схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода, отвечают требованиям нормативных документов, поэтому могут быть приняты к использованию на объекте проектирования.

2.3 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения лакокрасочного завода, результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

На основании рассчитанных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения лакокрасочного завода, далее в работе будет рассчитано значение следующих токов, по которым необходимо провести выбор основного оборудования ГПП-110/10 кВ объекта проектирования:

- токов нормального режима;
- максимальных рабочих токов (токов послеаварийного режима).

Также на основе расчётных данных суммарной нагрузки узлов, необходимо выбрать трансформаторы для установки на ГПП и цеховых ТП.

Наиболее оптимальным и рациональным «методом при расчёте значений электрических нагрузок, является метод коэффициента спроса, который учитывает, насколько загружены производственные мощности предприятия в зависимости от его группы принадлежности» [8].

«Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения лакокрасочного завода является установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке» [7] с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей

электрической части системы электроснабжения лакокрасочного завода в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта проектирования):

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого лакокрасочного завода, кВт» [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого лакокрасочного завода, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

«Расчетная полная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого лакокрасочного завода, кВА» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (4)$$

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения лакокрасочного завода» [16]:

$$\Delta P_{ТП} = 0,02 S_{p.н}, \text{ кВт}; \quad (5)$$

$$\Delta Q_{ТП} = 0,1 S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (6)$$

где « $S_{p.н}$ – предварительная полная номинальная мощность

трансформаторов, кВА» [16].

«Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения лакокрасочного завода» [16]:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 S_{p.\Sigma}, \text{кВт}; \quad (7)$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,1 S_{p.\Sigma}, \text{квар}. \quad (8)$$

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере цеха подготовки основного производства системы электроснабжения лакокрасочного завода по условиям (2) – (6).

«Расчётная активная нагрузка силовых потребителей цеха подготовки основного производства системы электроснабжения лакокрасочного завода по условию (2)» [19]:

$$P_p. = 1375 \cdot 0,8 = 1100 \text{ кВт}.$$

«Расчётная реактивная нагрузка силовых потребителей цеха подготовки основного производства системы электроснабжения» [19] лакокрасочного завода по условию (3):

$$Q_p. = 1100 \cdot 0,51 = 563,6 \text{ квар}.$$

Расчётная полная расчётная нагрузка силовых и осветительных потребителей цеха подготовки основного производства системы электроснабжения лакокрасочного завода по условию (6):

$$S_{p.} = \sqrt{(1100 + 563,6)^2} = 1235,9 \text{ кВА}.$$

«Результаты расчёта электрических нагрузок остальных потребителей системы электроснабжения лакокрасочного завода рассчитаны аналогично и сведены в таблицу 2» [17].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения лакокрасочного завода

Цех (участок) предприятия	Результаты расчёта					
	P_n , кВт	$\cos\varphi$ / $\operatorname{tg}\varphi$	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ						
Цех подготовки производства (0,4 кВ)	1375	0,89/ 0,51	0,8	1100	563,6	1235,9
Цех контроля и упаковки готовой продукции	2000	0,91/ 0,46	0,8	1600	728,9	1758,2
Цех производства лаков и покрытий	1520	0,88/ 0,54	0,8	1900	1025,5	2159,1
Складской комплекс и автомобильная служба	200	0,89/ 0,51	0,5	100	51,2	112,4
Ремонтно-эксплуатационные службы	1250	0,87/ 0,57	0,8	1000	566,7	1149,4
Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	1925	0,9/ 0,48	0,65	1250	605,4	1388,9
Цех производства красок	3125	0,89/ 0,51	0,8	2500	1280,8	2808,9
Административный корпус	600	0,88/ 0,54	0,5	300	161,9	340,9
Итого по сети 0,38/0,22 кВ	11995	–	–	9750	4984,1	10953,9
Потребители выше 10 кВ						
Цех подготовки производства (10 кВ)	630	0,75/ 0,88	0,8	504	378	630
Итого по сети 10 кВ	630	–	–	504	378	630
Итого по предприятию	12625	–	–	10254	5362,1	11583,9
Потери в трансформаторах ГПП-110/10 кВ	–	–	–	205,1	536,2	574,1
Итого по заводу с учётом потерь	12625	–	–	10459,1	5898,3	12007,6

Таким образом, в работе рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения лакокрасочного завода в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

2.4 Выбор мощности силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода. Исходя из принятой схемы электроснабжения объекта проектирования, выбор трансформаторов необходимо провести на таких системных подстанциях завода:

- на главной понизительной подстанции (ГПП-110/10 кВ);
- на всех цеховых трансформаторных подстанциях (в зависимости от их количества).

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения лакокрасочного завода объекта проектирования, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора 110/10 кВ с системой охлаждения, обладающей принудительным воздушным дутьём и регулировкой напряжения ответвлений НН под нагрузкой (система РПН).

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения лакокрасочного завода объекта, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения лакокрасочного завода объекта, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-110/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (9)$$

«где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях систем электроснабжения, о.е.» [14];

« n – количество трансформаторов, шт.» [14].

«Исходя из условия (9)» [10]:

$$S_{ном} \geq \frac{12007,6}{2 \cdot 0,7} = 8576,8 \text{ кВА.}$$

«Для установки на ГПП-110/10 кВ выбираются два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [16] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Это условие выражается так [15]:

$$K_{з.н.} = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (10)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения лакокрасочного завода объекта проектирования в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

$$K_{з.н.} = \frac{12007,6}{2 \cdot 10000} = 0,6 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,4, с учётом нагрузки всей ГПП-110/10 кВ, которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$K_{3.A} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,4. \quad (11)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения лакокрасочного завода объекта проектирования, в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{3.A} = \frac{12007,6}{10000} = 1,2 \leq 1,4.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТДН-10000/110).

Далее в работе необходимо рассчитать суммарную нагрузку указанных ТП-10/0,4 кВ, так как они являются нагрузкой РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

В системе внутреннего электроснабжения лакокрасочного завода, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены шесть двухтрансформаторные подстанций ТП-10/0,4 кВ.

Они устанавливаются на всех шести объектах, относящихся к I и II категориям надёжности (четыре основных производственных отделения, относящихся к I категории надёжности и два вспомогательных производственных отделения, относящихся ко II категории надёжности).

Аналогично выбраны силовые трансформаторы внутренней системы электроснабжения лакокрасочного завода с приведением полученных результатов в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Расчёт нагрузки и выбор цеховых ТП-10/0,4 кВ системы внутреннего электроснабжения лакокрасочного завода

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	S_{mp} , кВА	Категория надёжности	Результаты выбора	
				Количество (единиц) и тип силовых трансформаторов	K_3
ТП-1	Цех подготовки производства	1000	I	2хТМ-1000/10У1	0,618
ТП-2	Цех контроля и упаковки готовой продукции	2000	I	2хТМ-2000/10У1	0,440
ТП-3	Цех производства лаков и покрытий	2500	I, III	2хТМ-2500/10У1	0,454
	Складской комплекс и автомобильная служба				
ТП-4	Ремонтно-эксплуатационные службы	1600	II	2хТМ-1600/10У1	0,466
	Административный корпус		III		
ТП-5	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	1000	II	2хТМ-1000/10У1	0,694
ТП-6	Цех производства красок	2500	I	2хТМ-2500/10У1	0,468

Все трансформаторы подходят для установки на ЦТП-10/0,4 кВ.

2.5 Расчёт токов коротких замыканий

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания (осуществляется в работе далее).

Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта проектирования, составляется схема замещения (рисунок 9) [14].

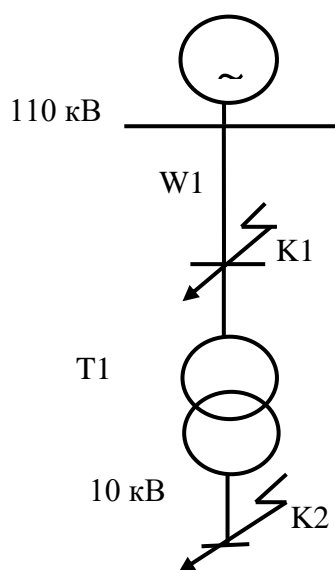


Рисунок 9 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС лакокрасочного завода

Таким образом, все остальные токи КЗ, по сравнению с максимальными токами КЗ в точках К1 и К2, в СЭС лакокрасочного завода, будут меньшего значения.

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением. Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов. Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода (рисунок 10).

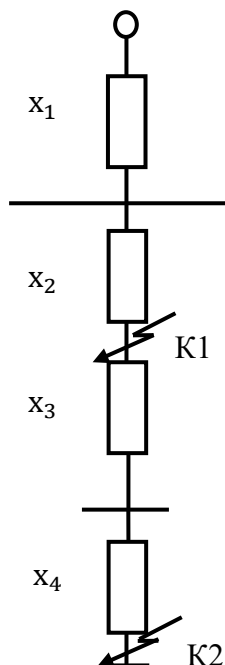


Рисунок 10 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС объекта

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

«Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности» [1] короткого замыкания на шинах питающей подстанции энергосистемы (по данным энергосистемы):
 $S_{\text{б}} = 400 \text{ МВА}$.

«Базисное напряжение схемы» [16]:

$$U_{\text{б.}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ.} \quad (12)$$

«Для напряжений на ГПП-110/10 кВ» [16]:

$$U_{\sigma,1} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma,2} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы» [8]:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (13)$$

«Базисный ток на стороне ВН (110 кВ) схемы (численное значение)» [16]:

$$I_{B.VH} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 2 \text{ кА.}$$

«Базисный ток на стороне НН (10 кВ) схемы (численное значение)» [16]:

$$I_{B.HH} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

«Далее в работе поочередно определяется значение сопротивлений схемы замещения» [9].

«Сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\sigma c}}. \quad (14)$$

«По условию (14)» [9]:

$$X_1 = 1,6 \cdot \frac{400}{400} = 1,6 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (15)$$

«где X_0 – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км» [17];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [17].

«По условию (16)» [9]:

$$X_2 = 0,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{400}{115^2} = 0,006 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{K_{н.т.} \cdot 100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (17)$$

«По условию (17)» [6]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{2,5 \cdot 100 \cdot 10} = 0,21 \text{ Ом.}$$

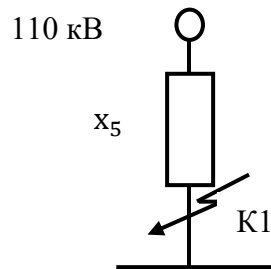
«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{K_{н.т.} \cdot 100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (18)$$

«По условию (18)» [6]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{2,5 \cdot 100 \cdot 25} = 2,94 \text{ Ом.}$$

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 11» [6].



«Рисунок 11 – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [6]

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [17]:

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (19)$$

«По условию (19)» [6]:

$$X_5 = 1,6 + 0,006 = 1,606 \approx 1,61 \text{ Ом.}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [17]:

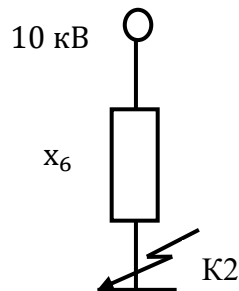
$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\phi}, \quad (20)$$

где « E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$ » [17].

«По условию (20)» [6]:

$$I_{\text{по1}} = \frac{1}{1,61} \cdot 2 = 1,24 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 12» [6].



«Рисунок 12 – Схема замещения для расчетов в точке К2» [6]

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1 (с учётом большего числа сопротивлений, входящих в цепь К3)» [17]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (21)$$

«По условию (21)» [6]:

$$X_9 = 1,61 + 0,21 + 2,94 = 4,76 \text{ Ом.}$$

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в точке К2» [17]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_9} \cdot I_{\sigma} \cdot K_m, \quad (22)$$

«где K_m – значение коэффициента трансформации силового трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ, о.е.» [17].

«По условию (22)» [6]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{4,76} \cdot 22 = 4,62 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К1» [17]:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по1}}. \quad (23)$$

«По условию (23)» [6]:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,24 = 2,98 \text{ кА}.$$

«Для К2» [6]:

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по2}}. \quad (24)$$

«По условию (24)» [6]:

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 4,62 = 9,15 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока короткого замыкания» [17]:

$$I_{\text{но}(\text{min})} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{но}}. \quad (25)$$

«В расчётной точке К1 и К2 на ГПП-110/10 кВ» [6]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,24 = 1,07 \text{ кА},$$

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,62 = 4,0 \text{ кА}.$$

«Результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 4» [6].

Таблица 4 – Результаты расчётов токов КЗ

Расчётная точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$
К1 (выводы 110 кВ)	1,24	1,07	2,98
К2 (выводы 10 кВ)	4,62	4,00	9,15

«На основе полученных результатов расчётов токов КЗ в расчётных точках системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ» [6] СЭС, а также проводится расчёт уставок РЗиА трансформаторов ГПП.

2.6 Расчёт картограммы электрических нагрузок и места расположения ГПП

Известно, что ГПП наиболее рационально размещать в центре электрических нагрузок (ЦЭН).

Отклонение от центров нагрузки влечёт увеличение потерь напряжения и мощности, а также перерасход проводников.

Следовательно, указанные технические параметры в СЭС должны быть минимальными [13]. Для расчёта ЦЭН на первом этапе проводится расчёт картограммы электрических нагрузок [13]:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m. \quad (26)$$

Радиус окружности в принятом масштабе [13]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi m}}. \quad (27)$$

Результаты расчетов оформляются в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта картограммы нагрузок цехов и участков системы электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование цеха	S_p , кВ·А	r_i , м	X_i , м	Y_i , м	$S_p \cdot X_i$, кВ·А·м	$S_p \cdot Y_i$, кВ·А·м
Потребители 0,38/0,22 кВ						
Цех подготовки производства (0,4 кВ)	1235,96	34,355	39	434	48202,2	536404,5
Цех контроля и упаковки готовой продукции	1758,24	40,976	195	434	342857,1	763076,9
Цех производства лаков и покрытий	2159,09	45,407	375	401	809659,1	865795,5
Складской комплекс и автомобильная служба	112,4	10,358	505	401	56741,6	45056,2
Ремонтно-эксплуатационные службы	1149,425	33,130	439	174	504597,7	200000,0
Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	1388,889	36,418	169	174	234722,2	241666,7
Цех производства красок	2808,99	51,792	111	51	311797,8	143258,4
Административный корпус	340,91	18,043	439	51	149659,1	17386,4
Потребители 10 кВ						
Цех подготовки производства (10 кВ)	630	28,322	39	434	24570,0	273420,0
Итого по предприятию	11583,9	—	—	—	2482806,8	3086064,5

«С учётом данных, полученных при расчёте картограммы нагрузок, определяются координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) для установки в них ГПП внешней системы электроснабжения объекта» [13]:

$$X_0 = \frac{\sum P_{p,i} X_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (28)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{p,i} Y_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (29)$$

где X_i, Y_i – координаты центров нагрузок отдельных цехов (участков), м.

$$X_0 = \frac{248206,82}{11583,86} = 214,3 \text{ м.}$$

$$Y_0 = \frac{3086064,51}{11853,86} = 266,4 \text{ м.}$$

В рассчитанных координатах ЦЭН (214,3 м; 266,4 м) должна быть размещена ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода.

В случае, если по технологическим либо по иным причинам разместить ГПП-110/10 кВ в определённых координатах ЦЭН невозможно, она смещается как можно ближе к ЦЭН в сторону источника питания, таким образом, уменьшая длину дорогостоящей сети 110 кВ и потери напряжения и мощности в ней.

2.7 Выбор и расчёт электрических проводников

«В работе в системе электроснабжения объекта проектирования, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ)» [6].

Все проводники в системе внешнего электроснабжения объекта – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС системы внешнего электроснабжения

лакокрасочного завода, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_{э} = \frac{I_{p.}}{j_{ЭК}}, \quad (30)$$

где « I_n – расчетное значение тока линии (ток нормального режима), А» [2];

$j_{ЭК}$ – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима линии, с учётом номинального напряжения и количества цепей, принятых согласно схеме» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ.}}, \quad (31)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [3];

n – число рабочих цепей линии, шт.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима определяется с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС лакокрасочного завода [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (32)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС объекта проектирования в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (33)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (34)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (35)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ

ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается провод марки АС (стандартный сталеалюминевый проводник воздушных линий) [7].

Расчётный ток нормального режима ВЛ-110 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, с учётом того, что на каждую из двух цепей линии приходится половина расчётной нагрузки объекта:

$$I_p = \frac{12007,6}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 31,5 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС лакокрасочного завода [11]:

$$I_{p.\max} = \frac{12007,6}{\sqrt{3} \cdot 110} = 63 \text{ А.}$$

«Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения завода» [4]:

$$F_9 = \frac{31,5}{1,1} = 28,6 \text{ мм}^2.$$

Согласно результатам расчёта, ближайшее стандартное сечение воздушной линии 110 кВ – 25 мм².

Однако, данный результат нельзя применять без проверки сечения линии по условиям механической прочности и условий коронирующего разряда («короны»).

Условие проверки по минимальному сечению проводника, с учётом механических и климатических условий:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, мм^2. \quad (36)$$

Проверка выполняется:

$$70 мм^2 = 70 мм^2.$$

«В работе предварительно принимается сечение провода $F_{ст} = 70 мм^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 А$ » [4].

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [9]:

$$265 А \geq 31,5 А.$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [9]:

$$265 А \geq 63 А.$$

«Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода с приведением результатов выбора и проверки, представлены в форме таблицы 6» [10].

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода

Линия	Длина КЛ, м	Результаты выбора			Марка КЛ	$I_{дд}$, А
		$I_{р\text{ норм}}$, А	$F_{э}$, мм ²	$F_{ст.}$, мм ²		
ГПП-ТП-1	170	57,8	22,3	25	АПвБВнг(А)-LS 3×25	94
ГПП-ТП-2	250	115,6	54,0	50	АПвБВнг(А)-LS 3×50	145
ГПП-ТП-3	280	144,5	40,1	35	АПвБВнг(А)-LS 3×50	145
ГПП-ТП-4	220	57,8	16,8	25	АПвБВнг(А)-LS 3×25	94
ГПП-ТП-5	170	57,8	25,1	25	АПвБВнг(А)-LS 3×25	94
ГПП-ТП-6	230	144,5	54,1	50	АПвБВнг(А)-LS 3×50	145
ГПП-АД-10 кВ	310	36,4	30,1	35	АПвБВнг(А)-LS 3×25	94

Также к проводникам в СЭС объекта относятся ошиновка и шинные конструкции распределительных устройств.

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС лакокрасочного завода осуществляется по значению максимального рабочего тока.

При этом проверка выбранной ошиновки проводится по току КЗ в зависимости от паспортной характеристики данных шин.

Результаты выбора и проверки ошиновки в РУ ГПП лакокрасочного завода представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС лакокрасочного завода

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка
		$I_n \geq I_{р, \max}$, А	Сечение q_n , мм ²	
ОРУ – 110 кВ	Гибкая/АС – 70/11	$265 \geq 63$	70	$70 \geq 50$
ЗРУ – 10 кВ	Жёсткая/ШАТ-60×10	$860 \geq 924,5$	600	$600 \geq 200$

Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в СЭС лакокрасочного завода, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.8 Выбор основного оборудования и его проверка

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения лакокрасочного завода, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ. РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующими ячейками РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ. Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-110/10 кВ (110 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ОРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Далее проводится выбор и проверка электрических аппаратов для установки в РУ ГПП-110/10 кВ СЭС лакокрасочного завода.

Основными аппаратами защиты и коммутации в СЭС лакокрасочного завода являются выключатели высокого напряжения. Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ). Поэтому

к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (37)$$

где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя);

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (38)$$

где $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя).

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

- «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (39)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

- «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (40)$$

где « $i_{a\tau}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (41)$$

где « $t_{з.мин}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (42)$$

где « $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (43)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность протекания тока устойчивости, с» [18].

«При этом тепловой импульс» [18] с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (44)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС объекта, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 110 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;
- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ для питания ЦТП-10/0,4 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования будут также различными. Для защиты и коммутации оборудования подстанции, на ГПП-110/10 кВ по приведённым условиям (33)-(39), с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ, проводится выбор выключателя высокого напряжения для установки на ГПП-110/10 кВ в РУ-110 кВ. «Предварительно выбирается выключатель типа ВГБ-110-3150 У1 [19] и производится его проверка по условиям (37)-(43)» [9].

«По условию (37)» [9]:

$$U_{ном} = 110 \text{ кВ} = U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$$

«По условию (38)» [9]:

$$I_{ном} = 3150 \text{ A} > I_{расч} = 63 \text{ A}.$$

«По условию (39)» [9]:

$$I_{откл} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 1,24 \text{ кА}.$$

«По условию (40)» [9]:

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) &= \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = \\ &= 35 > \sqrt{2} \cdot 2,98 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

«По условию (42)» [9]:

$$i_{пр.свв} = 40 \text{ кА} > i_{ук1} = 2,98 \text{ кА}.$$

«По условию (43)» [9]:

$$I_t^2 t = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 1,24^2 \cdot (5 + 0,02) = 7,71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Таким образом, окончательно принимается выключатель типа ВГБ-110-3150 У1 для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Выбор выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ осуществлён аналогично выбору выключателей напряжением 110 кВ по условиям (33)-(39). Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ системы

внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, высоковольтные выключатели напряжением 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- выключатели ввода (вводные выключатели);
- выключатели секционного соединения (секционные выключатели);
- выключатели отходящих линий (линейные выключатели).

С учётом того, что для всех перечисленных типов выключателей технические условия и параметры электрической сети будут различными, что сказывается в различиях их рабочих токов, следовательно, в работе проводится выбор каждого из указанных типов выключателей отдельно (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатель вакуумный ВРС-10-31,5/1000 УЗ (вводной).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 809,3 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВРС-10-31,5/1000 УЗ (секционный).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 720,5 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВРС-10-31,5/630 УЗ (линейные).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 129,5 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и линейных соединениях в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего

электроснабжения лакокрасочного завода, удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе разъединители устанавливаются в РУ-110 кВ, которое конструктивно сооружается открытым.

В работе для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода выбирается разъединитель марки РНДЗ – 110/630 У1 (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Разъединитель РНДЗ – 110/630 У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 63 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,98 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 100^2 \cdot 0,3 = 3000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,98^2 \cdot 0,3 = 2,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Окончательно для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода выбирается разъединитель марки РНДЗ – 110/630 У1.

Результаты сравнительного технического выбора и проверки трансформаторов тока для установки в РУ-110 и РУ-10 кВ, представлены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТРГ-110 У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 300 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 63 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,98 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120^2 \cdot 1 = 14400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,98^2 \cdot 0,3 = 2,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 11 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТОЛ-10-800/5 УЗ	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 809,3 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 80^2 \cdot 1 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В работе трансформаторы напряжения устанавливаются в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

«Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода представлены в таблице 12» [9].

Таблица 12 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 809,3 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 60 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{T}}^2 \cdot t_{\text{T}} = 60^2 \cdot 1 = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Ограничители перенапряжения (далее – ОПН), устанавливаются на места, где ранее были установлены вентильные разрядники (на воздушных линиях – защита от атмосферных перенапряжений), а также в ячейках современных распределительных устройств напряжением 6(10)-110 кВ с кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений). ОПН выбирают по номинальному напряжению сети (таблица 13).

ОПН являются современными решениями в сфере защиты аппаратуры и сетей от различных перенапряжений.

Таблица 13 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения объекта

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Ограничитель перенапряжения ОПН-110/84 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
Ограничитель перенапряжения ОПН-10/12 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$

В результате проведения расчётного выбора и проверок электрических аппаратов в проектируемой системе электроснабжения лакокрасочного завода, установлено, что всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования удовлетворяет всем требуемым условиям и может быть принято для установки на объекте.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения объекта, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;

- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП. На стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения объекта.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения объекта, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110.

В системе внутреннего электроснабжения лакокрасочного завода, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены шесть двухтрансформаторные подстанций ТП-10/0,4 кВ.

Они устанавливаются на всех шести объектах, относящихся к I и II категориям надёжности (четыре основных производственных отделения, относящихся к I категории надёжности и два вспомогательных производственных отделения, относящихся ко II категории надёжности).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС объекта с установкой на каждой из них двух силовых трансформаторов ТМ.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ-10.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС объекта проектирования: для применения в ОРУ-110 кВ, принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10.

Осуществлён выбор места расположения ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода.

Осуществлён выбор современных электрических аппаратов для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС объекта.

3 Выбор схемы релейной защиты силовых трансформаторов ГПП лакокрасочного завода

Далее в работе выбираются уставки РЗиА для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода. Вся РЗиА выполняется на базе современных микропроцессорных устройств типа БЭМП РУ (производитель – АО «Чебоксарский электроаппаратный завод»). Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ-ТТ2, в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Для данной цели на первом этапе необходимо провести расчёт максимальных рабочих токов, а также выбрать первичный ток трансформатора тока и, с учётом этого, провести расчёт коэффициента трансформации.

Исходя из этого, известно выражение для расчёта максимальный рабочий ток в схеме с резервированием трансформаторов [13,14]:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс}(н)} + I_{\text{раб.макс}(д)}, \quad (45)$$

«Где $I_{\text{раб.макс}(н)}$ – рабочий максимальный ток нормального режима силового трансформатора ГПП-110/10 кВ, А» [20];

« $I_{\text{раб.макс}(д)}$ – рабочий максимальный ток дополнительной нагрузки (второго трансформатора, вышедшего из работы в аварийном режиме), А» [20].

«При этом» [14]:

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = K_o \cdot K_z I_{\text{max}}, \quad (46)$$

«Где I_{max} – максимальный расчётный ток силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в нормальном режиме работы (рассчитан ранее)» [20];

« K_o и K_3 – соответственно коэффициент одновременности и коэффициент загрузки» [20].

С учётом схемы с резервированием, принимается равенство основной и дополнительной нагрузки для трансформаторов ГПП-110/10 кВ [13,14]:

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = I_{\text{раб.макс(д)}} \quad (47)$$

Проводится определение максимального рабочего тока силового трансформатора ГПП-110/10 кВ. На стороне ВН (110 кВ):

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 63 = 45,4 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} = 45,4 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 45,4 + 45,4 = 90,8 \text{ A.}$$

На стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 809,3 = 582,7 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} = 582,7 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 582,7 + 582,7 = 1165,4 \text{ A.}$$

На сторонах ВН и НН трансформаторов ГПП-110/10 кВ принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», имеющая ряд преимуществ по сравнению с другими схемами соединения ТТ и реле.

«Исходя из этого, полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, используемых для дальнейшего выбора уставок РЗА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, приводятся в форме таблице 14» [20].

Таблица 14 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{А}$	$I_{\text{ТТ}}, \text{А}$	K_T
110 кВ	Силовые трансформаторы (сторона ВН)	90,8	100	20
10 кВ	Силовые трансформаторы (сторона НН)	1165,4	1200	240

Далее в работе, на основании полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, использующихся для дальнейшего выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, проводится выбор уставок РЗиА трансформаторов подстанции.

В качестве защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью [13,14].

Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_n \cdot (I_{\text{раб.макс.НН}} - I_{\text{раб.макс.ВН}}), \quad (48)$$

где $I_{\text{раб.макс.НН}}, I_{\text{раб.макс.ВН}}$ – соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН (10 кВ) и ВН (110 кВ) силового трансформатора ГПП-110/10 кВ, А;
 K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (49)$$

Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ:

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot (1165,4 - 90,8) \approx 1397 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода удовлетворяет требованиям [13,14]:

$$K_{\chi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1397}{619,8} = 2,25 > 1,5.$$

Окончательно принимается для продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ $I_{c.з} = 1397 \text{ А}$.

Проводится выбор уставки защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Известно, что в двухобмоточных силовых трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13,14], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 110 кВ.

Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора:

$$I_{c.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (50)$$

где K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ:

$$I_{c.з} \geq 1,05 \cdot 90,8 \approx 95,3 \text{ A.}$$

Защита от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

Проводится выбор уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

В работе МТЗ устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на стороне НН (10 кВ) силового трансформатора, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность.

Следовательно, в работе на силовом трансформаторе принимается два комплекта МТЗ (на сторонах ВН и НН силовых трансформаторов).

Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условиям [13,14], приведённым ниже.

Условие выбора МТЗ заключается в отстройке от максимального рабочего тока силового трансформатора ГПП-110/10 кВ, с учётом самозапуска нагрузки:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзп} \cdot I_{раб.макс}, \quad (51)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$K_{сзп}$ - коэффициент самозапуска.

Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле [13,14]:

$$K_{\chi} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{c.з}} \geq 1,2, \quad (52)$$

где $I_{к.мин}^{(к)}$ - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии;

$K_{сх}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле;

$K_{сх}^{(к)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ;

$I_{с.з}$ - ток срабатывания защиты.

Согласно [1], коэффициент чувствительности для рассчитываемой МТЗ силового трансформатора должен быть не менее 1,2 [13,14].

По приведённым выше условиям, далее в работе проводится расчёт МТЗ на сторонах 110 кВ и 10 кВ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ.

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне ВН (110 кВ):

$$I_{с.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 90,8 = 159,8 \text{ А.}$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне ВН, $I_{с.з} = 159,8 \text{ А}$.

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне ВН удовлетворяет требованиям [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{1070}{159,8} \approx 6,7 > 1,2.$$

Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне ВН $I_{с.з} = 159,8 \text{ А}$.

Так как селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (со стороны источника питания оно будет минимальное), принимается время срабатывания МТЗ силового трансформатора на стороне ВН, равное $t_{с.з} = 0,5 \text{ с}$.

Аналогично для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне НН (10 кВ):

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 1165,4 = 2051,1 \text{ A.}$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне НН, $I_{c.3} = 2051,1 \text{ A}$.

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям [13]:

$$K_{\nu} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4000}{2051,1} = 1,95 > 1,2.$$

Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне НН $I_{c.3} = 2051,1 \text{ A}$.

Время срабатывания данной защиты на стороне 10 кВ с учётом селективности – $t_{c.3} = 1,0 \text{ с}$.

В качестве газовой защиты силовых трансформаторов марки ТДН-10000/110, установленных на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода, в работе используются усовершенствованные газовые реле типа РГТ-80 (производитель – ООО «ЕССО-Технолоджи», г. Чебоксары), которые зарекомендовали себя с положительной стороны и характеризуются высокой надёжностью и быстродействием [14].

Принцип действия газового реле для защиты силового трансформатора основан на контроле давления газа.

Разогретые газы стремятся попасть в расширитель устройства, проходя через корпус реле.

В случае слабого нагрева, давление газа будет нарастать постепенно и газовое реле даст предупреждающий сигнал, при этом не отключая силовой трансформатор.

В случае интенсивного давления газа, которое свидетельствует о сильном разогреве, что, как правило, бывает связано с внутренним КЗ или

явлением «пожара стали» магнитопровода, данное газовое реле отключает силовой трансформатор.

Выводы по разделу.

В разделе проведён выбор современных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики, выбор устройств релейной защиты и автоматики для защиты силовых трансформаторов ГПП.

В работе для установки на подстанции выбираются современные блоки РЗиА типа БЭМП РУ (производитель – АО «Чебоксарский электроаппаратный завод»).

Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ-ТТ2, в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода.

Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

Заключение

«В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения лакокрасочного завода, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [1].

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён перечень основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения лакокрасочного завода. Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения лакокрасочного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения объекта, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения лакокрасочного завода объекта:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;

- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения лакокрасочного завода, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП. На стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения объекта.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения объекта, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТДН-10000/110). В системе внутреннего электроснабжения лакокрасочного завода, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены шесть двухтрансформаторные подстанций ТП-10/0,4 кВ. Они устанавливаются на всех шести объектах, относящихся к I и II категориям надёжности (четыре основных производственных отделения, относящихся к I категории надёжности и два вспомогательных производственных отделения, относящихся ко II категории надёжности). Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС объекта с установкой на каждой из них двух силовых трансформаторов ТМ.

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11. Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ–10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС объекта проектирования: для применения в ОРУ-110 кВ, принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10.

Осуществлён выбор места расположения ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения лакокрасочного завода. Осуществлён выбор современных электрических аппаратов для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС объекта.

Проведён выбор современных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики, выбор устройств релейной защиты и автоматики для защиты силовых трансформаторов ГПП. В работе для установки на подстанции выбираются современные блоки РЗиА типа БЭМП РУ (производитель – АО «Чебоксарский электроаппаратный завод»). Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ-ТТ2, в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения лакокрасочного завода. Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

Все принятые решения соответствуют нормативным документам.

Список используемых источников

1. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 01.03.2023).
2. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 01.03.2023).
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие / С. А. Ерошенко. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
4. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты. Алгоритмы и уставки. М.: Энергоиздат, 2018. 640 с., ил.
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
7. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 01.03.2023).
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
11. Производство красок и покрытий. [Электронный ресурс]: URL: <http://base.safework.ru/iloenc?navigator&spack=110LogLength%3D0%26LogNumDoc%3D857200161%26listid%3D010000000100%26listpos%3D4%26lsz%3D8%26nd%3D857200161%26nh%3D1%26> (дата обращения: 01.03.2023).
12. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 01.03.2023).
13. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
18. Технология производства красок на основе наноструктурированной водной эмульсии полимеров. [Электронный ресурс]: URL: <https://pandia.ru/text/80/285/56655.php> (дата обращения: 01.03.2023).
19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.