

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 завода по производству сухих строительных смесей

Обучающийся

А. С. Тамбалаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В. С. Романов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого осуществлены мероприятия по проектированию системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта проектирования, осуществлён выбор проводников электрических сетей, а также проведён электрических аппаратов и системы учёта и контроля электроэнергии на объекте исследования.

«Обоснование всех указанных мероприятий по проектированию системы электроснабжения» [8] объекта исследования в работе подтверждено соответствующими техническими расчётами и проверками, в частности, выбором современных типов приведённого оборудования и сетей разработанного проекта.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением на объекте проектирования.

Содержание

Введение	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования	7
1.1 Характеристика технологического процесса завода	7
1.2 Характеристика потребителей завода	10
2 Разработка проекта системы электроснабжения завода	17
2.1 Выбор схемы электроснабжения завода	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок	23
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП	29
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП.....	32
2.5 Выбор сечения проводников.....	34
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	38
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	47
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.....	51
3.1 Анализ вредных и опасных факторов на объекте.....	51
3.2 Охрана труда и техника безопасности на объекте.....	53
3.3 Пожарная и экологическая безопасность.....	57
Заключение	61
Список используемых источников.....	63

Введение

В работе рассматривается проектирование системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]», в основе производственной деятельности которой лежит непосредственное производство и реализация сухих строительных смесей различного рода для выполнения строительных работ любой сложности и трудоёмкости.

Данный аспект формирует системы электроснабжения объекта проектирования.

Известно, что системы электроснабжения современных участков и цехов «завода по производству сухих строительных смесей» [18] являются важным звеном энергетики регионов и страны в целом.

Они обеспечивают технологический процесс непосредственное производство и реализация сухих строительных смесей различного рода для выполнения строительных работ различного рода, обеспечивая таким образом технологический процесс на данном заводе.

Применение современных типов схем и оборудования для процесса непосредственного производства и реализация сухих строительных смесей различного рода для выполнения строительных работ любой сложности и трудоёмкости весьма выгодно, так как этот фактор обеспечивает мощностями технологический процесс всего предприятия в условиях, когда невозможно или очень проблематично применение классических схемных решений и устаревшего оборудования, что делает системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] практически незаменимым инструментом в технологическом процессе всего предприятия, а также в совокупности – всей строительной промышленности страны.

Одна из таких систем системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] детально рассматривается и разрабатывается в данной работе.

Целью данной работы является проектирование системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения указанного завода.

Предметом исследования являются схема электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], а также элементы системы электроснабжения объекта исследования: электрические сети питающей и распределительной сети, а также электрические аппараты всех рассматриваемых в работе номинальных классов напряжения.

«Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым, реконструируемым и модернизируемым системам электроснабжения объектов промышленных предприятий (в частности – предприятий строительной отрасли), а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности» [3] объектов и систем промышленности, находящихся на стадии проектирования, необходимой реконструкции и модернизации [1,3,7].

Актуальность исследования в работе также обусловлена и подтверждается необходимостью качественных мероприятий по проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятий отечественного промышленного и энергетического комплекса всех типов согласно программе «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» [20].

Для качественной «реализации указанной основной цели работы, в данной работе осуществляется решение следующих основных поставленных задач, в частности» [8]:

- «анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для» [8] решения основных задач. На основе полученных данных анализа, проводится

обоснование необходимости внедрения соответствующих изменений в исходной схеме электрических соединений объекта проектирования;

– непосредственное проектирование системы электроснабжения объекта;

– «разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения» [8] объекта, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности в системе электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых решений, в «работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников с непосредственным использованием рекомендованной технической нормативной и учебной литературы» [4].

1 Краткая характеристика объекта проектирования

1.1 Характеристика технологического процесса завода

Рассматриваемый в работе завод по производству сухих строительных смесей, должен быть территориально расположен в промышленной зоне (вне населённых пунктов и жилых кварталов).

Данные крупные промышленные объекты рекомендовано располагать вне населённых пунктов, что связано с многочисленными экологическими факторами, в частности [18]:

- прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами;
- влияние на атмосферный воздух;
- высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений;
- влияние мощных шумов на здоровье и людей и экологическую систему в целом.

В связи с развитием строительных технологий в стране, возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые специализируются на производстве и реализации сухих строительных смесей, которые используются при строительстве, ремонте и отделке помещений, фасадов и прочих архитектурных комплексов.

К таким продуктам относятся [18]:

- клеевые смеси;
- строительно-монтажные смеси;
- «стартовые» и «финишные» строительные смеси для отделки помещений;
- универсальные смеси;
- специальные смеси.

Все эти продукты далее разделяются на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их получения.

Проектирование завода сухих строительных смесей в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как проектирование и ввод в эксплуатацию данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способно частично решить вопросы с производством сухих строительных смесей различного типа в регионе и стране в целом.

Технология производства продукции на проектируемом заводе сухих строительных смесей, соответствует основным современным требованиям и нормам [18].

Технология производства продукции на проектируемом в работе заводе сухих строительных смесей, включает в себя следующие основные этапы, а именно [18]:

- приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс завода;
- переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму и консистенцию. Данный этап включает в себя измельчение (дробление), очистку (крупную и мелкую), обработку (физическую и химическую) первичного материала для подготовки производства на заводе сухих строительных смесей;
- дозирование компонентов – осуществляется после обработки первичного материала на специальных весовых и дозирующих

комплексах. Также широко распространено взвешивание «тензометрическим методом» [5];

– смешивание компонентов – производится в специальных смесителях. При этом процесс строго контролируется. На заключительном этапе при производстве некоторых технологических строительных смесей (в частности, клеевых смесей), требуется внесение специальных добавок (как правило, автоматически через дозатор);

– фасовка и упаковка – конечный полученный продукт требуется расфасовать в специальную тару (наиболее распространена фасовка в герметичные мешки из различного материала). После этого данные мешки сразу же упаковываются во избежание рассыпания легкосыпучих сухих строительных смесей. Упаковка должна быть полностью герметичной, без нарушений её целостности.

После процесса упаковки, как правило, проводится дефектация продукции с проверкой её консистенции, качества упаковки, герметичности, маркировки и т.д. Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученные на заводе сухие строительные смеси направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях (особое значение при этом имеет допустимое значение влажности). Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков влажности и быть полностью автоматизирован.

Реализация готовой продукции на заводе сухих строительных смесей осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе завода.

1.2 Характеристика потребителей завода

На рассматриваемом в работе заводе сухих строительных смесей имеются пять производственных цехов и участков, которые вносят основной вклад в процесс изготовления готовой продукции (различных сухих строительных смесей).

На данном заводе по производству сухих строительных смесей, согласно технологии производства, к основным производственным цехам и участкам относятся [18]:

- цех приёма и подготовки первичного материала;
- цех переработки первичного материала;
- дозировочный комплекс;
- цех получения готовых смесей;
- цех фасовки и упаковки.

В современной экономике предприятий промышленного комплекса также крайне необходимо также использовать все возможности для получения прибыли, исходя из производимой продукции [12].

Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на заводе по производству сухих строительных смесей также необходимо предусмотреть участки, которые будут заниматься обслуживанием и ремонтов техники и оборудования завода.

Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции завода в реалиях современной экономики, а также удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на заводе по производству сухих строительных смесей необходимо предусмотреть торгово-выставочный комплекс.

Поэтому помимо основных цехов производства, описанных выше, на территории проектируемого в работе «завода по производству сухих

строительных смесей» [18], согласно исходным данным, расположены следующие вспомогательные цеха и участки завода, которые, собственно, также относятся к системе электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]:

- цех контрольно-измерительных приборов и автоматики;
- механический цех;
- электроцех;
- административное здание;
- торгово-выставочный комплекс;
- склады;
- компрессорная с оборудованием;
- насосная с оборудованием (высоковольтные двигатели напряжением 10 кВ).

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на вспомогательный технологический процесс производства и реализации готовой продукции «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

По этой причине они также должны быть включены в проектируемую систему электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков рассматриваемого и проектируемого в работе «завода по производству сухих строительных смесей» [18], приведены в таблице 1.

В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Назначение цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт
1	Цех приёма и подготовки первичного материала	Основной производственный	900
2	Цех переработки первичного материала	Основной производственный	520
3	Дозировочный комплекс	Основной производственный	590
4	Цех получения готовых смесей	Основной производственный	1000
5	Цех фасовки и упаковки	Основной производственный	390
6	Компрессорная	Основной вспомогательный	190
7	Цех контрольно-измерительных приборов и автоматики	Неосновной вспомогательный	660
8	Механический цех	Неосновной вспомогательный	930
9	Электроцех	Неосновной вспомогательный	200
10	Административное здание	Неосновной вспомогательный	150
11	Торгово-выставочный комплекс	Неосновной вспомогательный	83
12	Склады	Неосновной вспомогательный	70
13	Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	Основной вспомогательный	40 2x400=800
Итого по заводу по производству сухих строительных смесей			6523

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков «завода по производству сухих строительных смесей» [18] в принятом масштабе, а также с учётом их взаимного расположения и указания направления и длины линии от источника питания, в данной работе представлен на графическом листе 1. После выполнения проектирования, на данный лист также наносятся сети (питающие и распределительные).

«На основании приведенных исходных данных производственных и вспомогательных цехов и участков, а также исходного плана расположения цехов и участков» [8] объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач проектирования.

Также в таблице 1 показано, что суммарная установленная проектная мощность всех цехов и участков «завода по производству сухих строительных смесей» [18] составляет 6523 кВт.

«Известно, что надежность электроснабжения потребителей должна соответствовать требованиям» [10], «электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надежности электроснабжения» [10].

«Согласно этому, проводится разделение цехов» [8] и участков «завода по производству сухих строительных смесей» [18] на категории надёжности.

При этом, согласно анализу исходных данных, приведённых в таблице 1, в проектируемой системе электроснабжения автомобильного завода среди цехов и участков выделяются следующие основные типы, которые можно также классифицировать по следующим категориям [10]:

- основные производственные цеха и участки – I «категории по надёжности электроснабжения» [10];
- «основные вспомогательные цеха и участки – II категории по надёжности электроснабжения» [10];
- «неосновные вспомогательные цеха и участки – III категории по надёжности электроснабжения» [10].

Исходя из этого, далее в работе по соответствующим категориям проводится классификация основных цехов и участков завода.

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха и участки основного технологического производства «завода по производству сухих строительных смесей» [18], а именно:

- цех приёма и подготовки первичного материала;
- цех получения готовых смесей;

- дозировочный комплекс;
- цех переработки первичного материала;
- цех фасовки и упаковки;
- компрессорная;
- насосная.

К потребителям II категории относятся основные вспомогательные цеха и участки «завода по производству сухих строительных смесей» [18], которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс производства, а именно:

- цех контрольно-измерительных приборов и автоматики;
- механический цех;
- электроцех.

«К потребителям III категории относятся все остальные объекты» [18].

По процентному соотношению приёмников соответствующей категории можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок) «завода по производству сухих строительных смесей» [18] (таблица 2).

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков завода по категориям надёжности

Номер по плану	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности потребителей цеха (участка)
1	Цех приёма и подготовки первичного материала	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
2	Цех переработки первичного материала	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
3	Дозировочный комплекс	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
4	Цех получения готовых смесей	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
5	Цех фасовки и упаковки	60% – I кат.; 20% – II кат.; 20% – III кат.
6	Компрессорная	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
8	Механический цех	80% – II кат.; 20% – III кат.
9	Электроцех	80% – II кат.; 20% – III кат.
10	Административное здание	20% – II кат.; 80% – III кат.
11	Торгово-выставочный комплекс	10% – II кат.; 90% – III кат.
12	Склады	20% – II кат.; 80% – III кат.
13	Насосная	50% – I кат.; 30% – II кат.; 20% – III кат.

Далее в работе необходимо охарактеризовать каждый цех (участок) «завода по производству сухих строительных смесей» [18] по производственной среде.

Характеристика производственной среды помещений цехов и участков проектируемого в работе «завода по производству сухих строительных смесей» [18] приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды помещений цехов и участков «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка) «завода по производству сухих строительных смесей» [18]	Характеристика производственной среды цеха (участка) завода
1	Цех приёма и подготовки первичного материала	Пыльная, жаркая, сухая
2	Цех переработки первичного материала	Пыльная, жаркая, сухая
3	Дозировочный комплекс	Пыльная, жаркая, сухая
4	Цех получения готовых смесей	Пыльная, жаркая, сухая
5	Цех фасовки и упаковки	Пыльная, жаркая, сухая
6	Компрессорная	Жаркая, сухая
7	Цех контрольно-измерительных приборов и автоматики	Нормальная
8	Механический цех	Пыльная, сухая
9	Электроцех	Нормальная
10	Административное здание	Нормальная
11	Торгово-выставочный комплекс	Нормальная
12	Склады	Пыльная, сухая
13	Насосная	Влажная

На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков проектируемой системы электроснабжения (далее – СЭС) «завода по производству сухих строительных смесей» [18], можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха проектируемой СЭС объекта относятся к объектам с повышенной степенью опасности, что необходимо учесть при выборе марки кабелей и электрических аппаратов в работе далее.

«На основании приведённых исходных данных, с учётом полученных результатов проведённого анализа, далее в работе непосредственно

разрабатывается» [10] проект СЭС завода с выбором питающих и распределительных электрических сетей, а также с последовательным выбором и проверкой силовых трансформаторов на всех уровнях и этапах «завода по производству сухих строительных смесей» [18], который проектируется в данной работе.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ СЭС «завода по производству сухих строительных смесей» [18], с детальным рассмотрением технологии и циклов производства на заводе, технических характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта проектирования.

Детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки СЭС «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта.

2 Разработка проекта системы электроснабжения завода

2.1 Выбор схемы электроснабжения завода

Выбор схемы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] основывается на положениях и требованиях, приведённых в [10].

На первом этапе выбора необходимо определить номинальные классы напряжения, а также количество источников на питающей понизительной подстанции. При этом, согласно требованиям [10], центральный распределительный пункт (далее – ЦРП) в качестве источника питания для электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] применять крайне не рекомендуется, потому что на заводе есть пять цехов (участков), относящихся к потребителям I категории, и, даже без учёта потребителей участков (цехов) II категории, можно сказать на предварительном этапе, что на заводе будет минимум десять отходящих линий, так как питание потребителей I категории должно осуществляться по двум линиям [10]. Следовательно, в этом случае на ЦРП будет также минимум десять присоединений, а нормы [10] рекомендуют применять ЦРП в случае, когда число присоединений не превышает восьми. По этой причине в качестве источника питания для системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] ЦРП не подходит.

Следовательно, для данной цели в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию (далее – ГПП).

Так было указано ранее, подавляющее большинство потребителей «завода по производству сухих строительных смесей» [18] относится к I и II категориям надёжности, следовательно, согласно нормам и требованиям [10], на ГПП завода необходимо предусмотреть два независимых источника питания. Поэтому на ГПП будут установлены два силовые трансформатора, а схему ГПП необходимо предусмотреть с резервированием питания [10].

На втором этапе выбирается высшее напряжение на ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

В работе принятие номинального напряжения проектируемой сети включает в себя расчётное значение напряжения, которое может быть рационально применено для каждого участка проектируемой сети, а также для всей сети в целом.

Как правило, для всей сети выбирается одно значение высшего и низшего напряжений, которые входят в шкалу номинальных значений [6].

«Номинальное напряжение U_H участков определяется по эмпирической формуле Г.А. Илларионова» [12]

$$U_H = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (1)$$

где L – «длина линии, км» [12];

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

По условию (1) для ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

$$U_H = \frac{1000}{\sqrt{500/6 + 2500/6,5}} = 46,2 \text{ кВ.}$$

По шкале стандартных номинальных напряжений, приведённой в [14], принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения, равного 35 кВ.

Следовательно, в работе принимается для питающей ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18] высшее напряжение 35 кВ.

При выборе низшего напряжения на ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18], из стандартного номинального ряда

напряжений, принимается напряжение 10 кВ, которое гораздо более эффективнее и экономически целесообразнее напряжения 6 кВ.

Также на напряжении 10 кВ в сеть возможно передать больше мощности, поэтому выбор данного класса напряжения на ГПП завода полностью целесообразен [14].

При разработке схем электрических соединений проектируемой ГПП 35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18], необходимо учесть количество присоединений (число линий) [7]. По предварительным данным, потребители ГПП 35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18], включают в себя десять – четырнадцать линий, питающихся на напряжении 10 кВ от шин подстанции. С учётом этого, составляется уточнённая структурная схема понижающей подстанции ПС-35/10 кВ (рисунок 1).

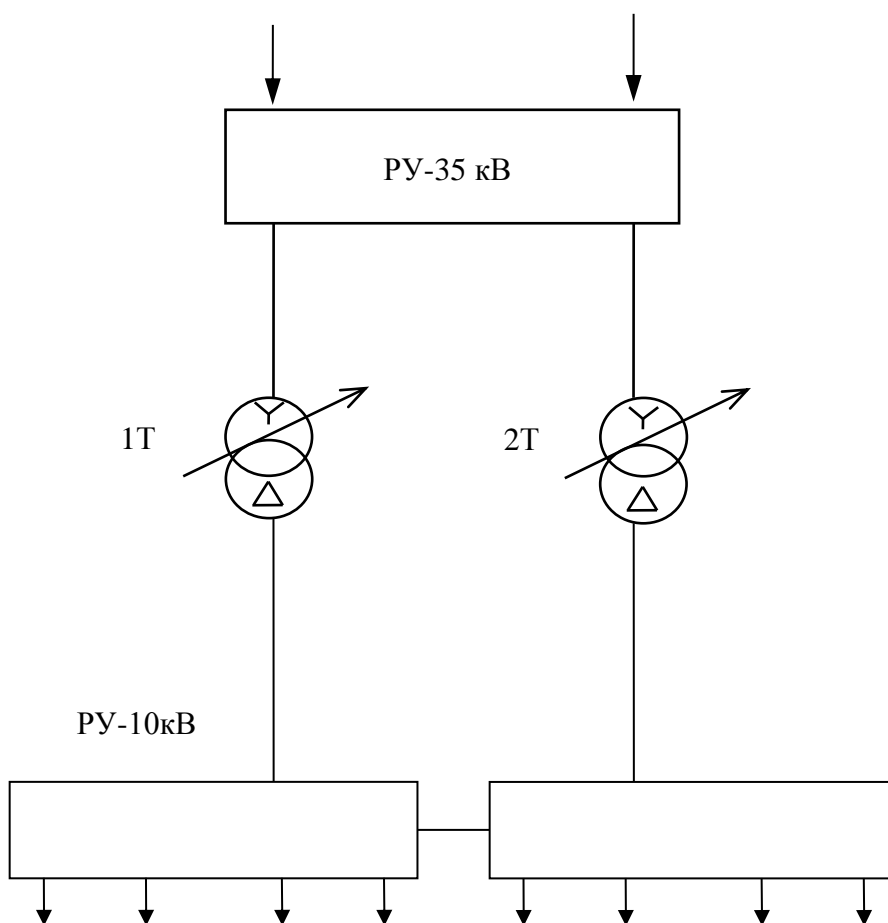


Рисунок 1 – Уточнённая структурная схема ГПП-35/10 кВ завода

Далее в работе, на основании рассмотренной уточнённой структурной схемы и исходных данных потребителей главной понижающей подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18], проводится выбор и описание принципиальной схемы указанной подстанции с разработкой схем электрических соединений распределительных устройств напряжением 35 кВ и 10 кВ.

Так как большинство потребителей «завода по производству сухих строительных смесей» [18] относятся к I и II категориям надёжности, следовательно, они требуют двух независимых источников питания и соответствующего уровня резервирования [7,10].

Поэтому, в первую очередь, необходимо обеспечить в схеме данные условия.

Для ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18] применяется схема электрических соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [7] с установленными двумя разъединителями в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях (рисунок 3).

В схеме ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18], рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы линий, рекомендованный [7].

В работе для ОРУ-35 кВ тупиковой ГПП 35/10 кВ, «необходимо предусмотреть и выбрать коммутационные и защитные аппараты (применяются блоки «выключатель-разъединитель», а также «линия-разъединитель»), предусмотреть защиту от грозовых перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечить бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока)» [6].

Схема электрических соединений РУ-35 кВ тупиковой главной понизительной ПС-35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18] представлена в графической части работы (лист 2).

РУ-10 кВ рассматриваемой главной понизительной подстанции 35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18] выполнено с применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУН-К-59 (производитель – ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО») с установленными в них выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей [18].

Исходя из рекомендаций [7,11], а также исходных данных к выполнению работы, при количестве отходящих линий $n=10-14$, которое имеется, согласно исходным данным, для РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18] применяется схема «Одна рабочая секционированная выключателем система сборных шин».

Принятая в работе схема электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18] представлена в графической части работы (лист 2).

В схеме РУ-10 кВ тупиковой подстанции ГПП-35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18], рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы, рекомендованный [7].

Поэтому в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18], рассматриваемой в работе, применяются блоки «линия-выключатель» (без разъединителей) на питающей и отходящих линиях, а также на секционирующем соединении. Количество данных блоков в принципиальной схеме РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, рассматриваемой в работе, будет определено в работе далее при выборе количества цеховых трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ «завода по производству сухих строительных смесей» [18] [7].

Разработанная схема электрических соединений проектируемой понизительной ГПП-35/10 кВ для «завода по производству сухих строительных смесей» [18] соответствуют основным требованиям нормативных документов [1-10] и может применяться для питания потребителей I и II категорий надёжности.

В работе схема электрических соединений ГПП-35/10 кВ представлена на графическом листе 2, где показаны все основные конструктивные элементы объекта исследования.

Далее от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ получают питание понизительные цеховые подстанции напряжением 10/0,4 кВ, которые питают соответствующие потребители цехов и участков системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]. Следовательно, в виду рассмотрения укрупнённых показателей, можно сказать, что основными потребителями заводской главной понизительной подстанции 35/10 кВ (ГПП) являются трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, обеспечивающие питание конечных потребителей «завода по производству сухих строительных смесей» [18] на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

При этом согласно [10] в работе принято решение о проектировании всех цеховых ТП-10/0,4 кВ с использованием двух силовых трансформаторов с резервированием на шинах 0,38/0,22 кВ. Питание всех цеховых ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ завода должно осуществляться по радиальной схеме (так как преобладают потребители I и II категорий надёжности).

Окончательное количество цеховых ТП-10/0,4 кВ принимается в работе далее на основе обоснования распределения потребителей системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

В результате проведённого в разделе описания объекта исследования и выбора схем электрических соединений ГПП-35/10 кВ можно сделать вывод, что заводская ГПП, которая выступает в роли источника питания, является современной и крайне необходимой для работы и снабжения

электроэнергией системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]. На основании приведённых технических данных источников питания, являющихся основой для рассматриваемой в работе системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], далее в работе проводится детальный выбор и проверка элементов системы электроснабжения объекта проектирования.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Кроме того, в связи с применением выбранной схемы электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], необходимо также учитывать условия резервирования на стороне 10 кВ, которые осуществлены путём дополнительного подключения кабельных линий 10 кВ в схеме РУ-10 кВ ГПП.

Основой для расчёта электрических нагрузок СЭС «завода по производству сухих строительных смесей» [18] является проектная установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

«Расчётная активная нагрузка силовых ЭП до 1 кВ» [18], кВт:

$$P_{р.} = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка)» [6] «завода по производству сухих строительных смесей» [18], кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха (участка) «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых ЭП до 1 кВ» [8], квар:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ – «коэффициент реактивной мощности, о.е.» [12]

Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) «завода по производству сухих строительных смесей» [18], кВт:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) завода по производству сухих строительных смесей (справочные данные) [4];

$P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) завода по производству сухих строительных смесей, кВт.

При этом значение последней составляющей рассчитывается таким образом:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.o}$ – удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) «завода по производству сухих строительных смесей» [18], кВт/м² (справочные данные) [4];

F – площадь соответствующего цеха (участка) завода по производству сухих строительных смесей согласно генплану, м².

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) в проектируемой СЭС, рассматриваемого в работе «завода по производству сухих строительных смесей» [18] определяется по (1) и (2), а полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ СЭС» [16] на этапе проектирования можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (9)$$

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП на этапе проектирования можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,1S_{p,\Sigma}, \text{ квар.} \quad (11)$$

По приведённым выше условиям (1) – (10) проводится расчёт нагрузок цехов и участков завода [18]. Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода

По плану	Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
		$F, \text{ м}^2$	$P_{уд.о}, \text{ Вт/м}^2$	$P_{н.о}, \text{ кВт}$	$K_{с.о}$	$P_{р.о}, \text{ кВт}$	$P_{р.+} P_{р.о}, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$
Потребители 0,38/0,22 кВ									
1	Цех приёма и подготовки первичного материала	16000	20	45	0,95	42,75	762,75	633,6	991,6
2	Цех переработки первичного материала	10000	20	200	0,95	190	606	312	606,0
3	Дозировочный комплекс	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
4	Цех получения готовых смесей	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
5	Цех фасовки и упаковки	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
6	Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
7	Цех контрольно-измерительных приборов и автоматики	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
8	Механический цех	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
9	Электроцех	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
10	Административное здание	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
11	Торгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
12	Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
13	Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ						1423,58	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ									
14	Насосная						680	326,4	754,3
Итого 10 кВ							680	326,4	754,3

Численное значение полной расчётной нагрузки S_p с учётом всех расчётных нагрузок «завода по производству сухих строительных смесей» [18]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p.0,4} + P_{p.10})^2 + (Q_{p.0,4} + Q_{p.10})^2}. \quad (12)$$
$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680)^2 + (2668,07 + 326,4)^2} = 8541,4 \text{ кВА}.$$

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода (аналогично потерям в трансформаторах на ГПП) [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар}.$$

На этапе проектирования необходимо рассчитать величину компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП-35/10 кВ завода [19]:

$$Q_{KV} = P_m(tg\varphi_O - tg\varphi_M). \quad (13)$$

Для условий ГПП-35/10 кВ проектируемой системы электроснабжения завода с учётом определённых ранее нагрузок:

$$Q_{KV} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар}.$$

Как видно из результатов расчёта, на ГПП-35/10 кВ завода необходима компенсация реактивной мощности.

Поэтому в работе выбраны для этой цели две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 (100р+60р) номинальной реактивной мощностью 160 квар каждая [12].

Значение суммарной расчетной реактивной нагрузки проектируемой системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] после компенсации реактивной мощности и выбранных регулируемых батарей конденсаторов [19]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{pm} + Q_{ТЦ} - Q_{КУ}, \text{ квар}, \quad (14)$$

где K_{pm} – «коэффициент одновременности максимумов нагрузки на шинах 10 кВ ГПП» [12].

Для схемы ГПП-35/10 кВ, исходя из расчётных данных нагрузок, полученных ранее:

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot 0,95 + 854,1 - 320 \approx 3622,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная активная нагрузка» [12] «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.в}) \cdot K_{pm} + P_{ТЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт.} \quad (15)$$

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 \approx 9184,6 \text{ кВт.}$$

«Суммарная расчетная полная нагрузка» [12] «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{(P_{p,\Sigma})^2 + (Q_{p,\Sigma})^2}. \quad (16)$$

$$S_{p,\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} \approx 9873,2 \text{ кВА.}$$

Для схемы ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения завода, исходя из расчётных данных нагрузок, полученных ранее, потери в силовых трансформаторах будут составлять:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар.}$$

«Полная расчётная нагрузка ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18] с учётом предварительных потерь активной и реактивной мощности в трансформаторах» [12]

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{p.\Sigma} + \Delta P_{T.ГПП})^2 + (Q_{p.\Sigma} + \Delta Q_{ТЦ})^2}, \text{ кВА.} \quad (17)$$

$$S_{p.} = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА.}$$

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов ГПП, цеховых ТП на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников спроектированной системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]. Данные задачи решаются в работе далее.

2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП

С учётом разработанной и обоснованной схемы электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], в результате которой в схеме электрических соединений каждый кабель 10 кВ на ГПП питает свои трансформаторы

цеховых ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ, необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ завода на допустимую загрузку активной мощностью «как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы» [18].

«При выборе силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ» [11] завода должны выполняться условия выбора и проверки, с учётом того, что рекомендуемая загрузка трансформатора должна быть не более 70% в нормальном режиме работы

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (18)$$

где n – «количество трансформаторов на ТП, шт.» [11];

K_3 – «коэффициент загрузки трансформатора ГПП, о.е.» [11].

По уравнению (18)

$$S_{ном} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

«Выбирается для установки на ГПП-35/10 кВ, два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый» [14].

Предварительно принимается на ГПП «завода по производству сухих строительных смесей» [18] два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14]. Данный силовой трансформатор имеет две обмотки и выбран для умеренного климата.

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в нормальном режиме» [11] «завода по производству сухих строительных смесей» [18] определяется таким образом:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (19)$$

Исходя из уравнения (19):

$$K_3 = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,65.$$

«Условия проверки по загрузке выбранного трансформатора в нормальном режиме выполняются» [11].

«Осуществляется проверка этого же трансформатора в послеаварийном режиме работы» [11], с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ГПП по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в послеаварийном режиме» [11] «завода по производству сухих строительных смесей» [18] определяется таким образом:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (20)$$

Исходя из уравнения (20):

$$1,35 \cdot 10000 = 13500 \text{ кВА} \geq 10453,5 \text{ кВА}.$$

Условие проверки силового трансформатора ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35, питающие нагрузку первой и второй секций сборных шин напряжением 10 кВ системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], удовлетворяет условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на ГПП-35/10 кВ проектируемой системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

«Проводится выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ» [16] «завода по производству сухих строительных смесей» [18] с учётом выбранной схемы электрических соединений объекта проектирования.

Мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ определяется по следующему условию [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N \beta_T}, \quad (21)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ – «значение полной номинальной расчетной мощности силового трансформатора, кВА» [12];

$\sum P_p$ – «суммарное значение расчетной активной нагрузки цехов (участков), питающихся от данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, кВт» [12];

N – «количество силовых трансформаторов данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, шт.» [12];

β_m – «коэффициент загрузки силового трансформатора данной цеховой ТП-10/0,4 кВ» [4].

В работе выбор проводится на примере ТП-1 по условию (21):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{762,75}{2 \cdot 0,8} = 476,7 \text{ кВА.}$$

«Исходя из полученных расчётных значений, выбирается для установки на цеховой ТП-1 два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [12].

На других цеховых ТП «завода по производству сухих строительных смесей» [18], полученных в результате проведения проектирования, выбор и проверка силовых трансформаторов аналогичен.

Полученные результаты, а также исходные данные для выбора, сведены в таблицу 5.

Кроме того, в таблице 5 проведено распределение цехов и участков системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

При этом отдельные двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ обязательно должны быть предусмотрены для питания потребителей I и II категорий надёжности.

«Участки и цеха, которые питают потребители III категорий надёжности» [18] «завода по производству сухих строительных смесей» [18], подключаются к шинам 0,4 кВ уже принятых цеховых ТП-10/0,4 кВ по возможности равномерно.

Таблица 5, представленная в работе, также иллюстрирует данный процесс.

Таблица 5 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

ТП	№ цеха (участка)	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	$S_{ном.т.р.}$, кВ·А	$n \times S_{ном.т.}$, кВ·А
ТП-1	1	Цех приёма и подготовки первичного материала	I	762,75	476,7	2x630
ТП-2	2	Цех переработки первичного материала	I	606	378,8	2x400
ТП-3	3	Дозировочный комплекс	I	793	495,6	2x630
ТП-4	4	Цех получения готовых смесей	I	1180	842,8	2x1000
ТП-5	5	Цех фасовки и упаковки	I	708,7	591,9	2x630
	7	Цех контрольно-измерительных приборов и автоматики	II	238,38		
	Всего по ТП-5		I, II	947,08		
ТП-6	6	Компрессорная	I	172,52	370,2	2x400
	8	Механический цех	II	275,25		
	9	Электроцех	II	144,6		
	Всего по ТП-6		II	592,37		
ТП-7	13	Насосная	I	71,9	339,6	2x400
	10	Административное здание	III	160,5		
	11	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7		
	12	Склады	III	153,28		
	Всего по ТП-7		II, III	475,38		

Все выбранные трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ в работе показаны на графическом листе 2.

2.5 Выбор сечения проводников

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

Выбору подлежат следующие проводники напряжением 35 кВ и 10 кВ согласно разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]:

- питающая сеть 35 кВ – воздушная линия от энергосистемы до ОРУ-35 кВ ГПП завода напряжением 35 кВ;
- распределительная сеть 10 кВ – от секций сборных шин напряжением 10 кВ ГПП до потребительских цеховых ТП-10/0,4 кВ.

«Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по выражению» [18]

$$F_3 = \frac{I_n}{j_3}, \quad (22)$$

где I_n – «рабочий ток нормального режима кабельной линии электропередачи, А» [11];

j_3 – «экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [11].

Рабочий ток нормального режима кабельной линии определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки

$$I_n = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (23)$$

где S_p – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования

$$I_a = 1,4 \cdot I_n. \quad (24)$$

«Выбранное сечение кабельной линии необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [1]

$$I_{\text{доп}} \geq I_n, \quad (25)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4]

$$I_{\text{доп}} \geq I_a. \quad (26)$$

«Далее выбранное сечение кабельной линии необходимо дополнительно проверить по условию допустимой потери напряжения» [4].

«Известно, что потери напряжения в линиях питающей сети определяется так» [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (27)$$

По допустимой потере напряжения воздушная линия 35 кВ не проверяется, что обусловлено экономическими критериями [11].

Поэтому в работе по данному критерию проверке подлежат только кабельные линии 10 кВ.

«Проводятся расчёты и выбор сечения провода питающей ВЛ-35 кВ» [4]:

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А.}$$

$$I_{p.\max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А.}$$

«Сечение провода питающей ВЛ-35 кВ, выбранное по условию экономической плотности тока» [1]

$$F_9 = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается ближайшее стандартное сечение провода $F_{cm} = 70 \text{ мм}^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]

$$265 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]

$$265 \text{ А} \geq 172,4 \text{ А.}$$

«Исходя из результатов проверок, в работе окончательно принимается провод на питающей ВЛ-35 кВ марки АС-70/11 с допустимым током $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён «выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих двухтрансформаторные цеховые ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]

№ ТП	<i>n</i> , шт.	I_p, A	$I_{p,max.}, A$	$F_3, мм^2$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$
ТП-1	2	28,6	57,2	20,4	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-2	2	17,5	35,0	12,5	АСБ–10 (3х16)	75
ТП-3	2	25,2	50,4	18,0	АСБ–10 (3х16)	75
ТП-4	2	39,7	79,4	28,3	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-5	2	32,3	64,6	23,0	АСБ–10 (3х25)	90
ТП-6	2	19,9	39,8	14,2	АСБ–10 (3х16)	75
ТП-7	2	14,3	28,6	10,2	АСБ–10 (3х16)	75
Насосная (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБ–10 (3х16)	75

Все выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] показаны на предложенной разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения завода, полученной путём внедрения основных мероприятий по проектированию (графический лист 2).

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

«Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой системе электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], составляется расчётная схема и схема замещения для данного участка сети» [12], а также для всей схемы в целом по методике [12]. Так как в предложенной в работе схеме электрических соединений каждый трансформатор работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется отдельный режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков «трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка»: Т1 – 1СШ – НМ (рисунок 2), по которой составляется схема замещения (рисунок 3). Для остальных участков схемы величины полученных токов КЗ будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

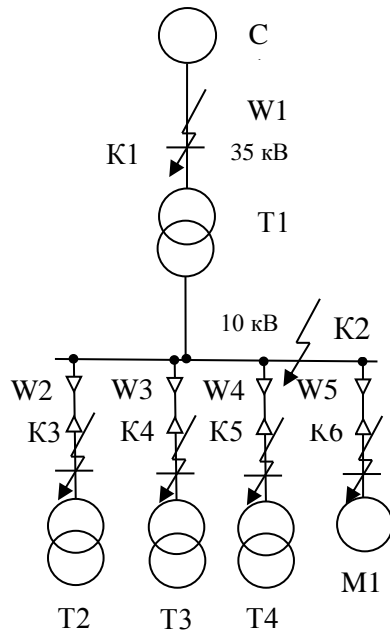


Рисунок 2 – Упрощённая расчетная схема для расчёта токов КЗ

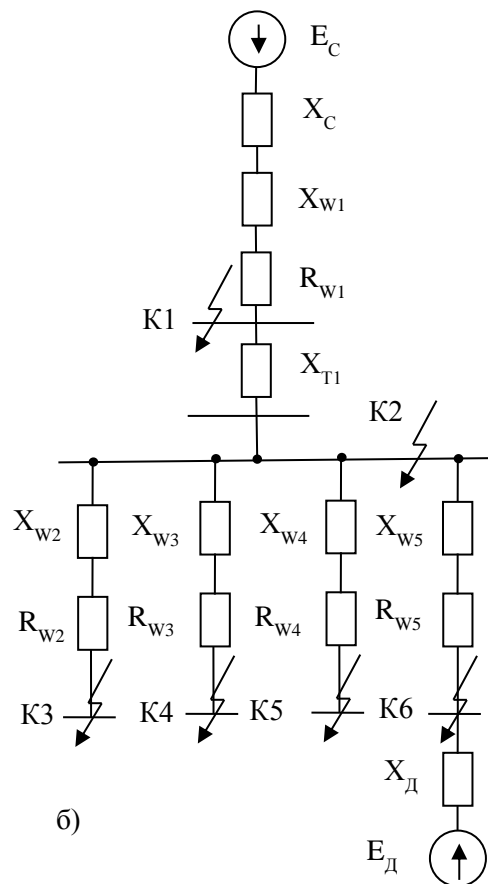


Рисунок 3 – Упрощённая схема замещения для расчёта токов КЗ

«Величина базисного напряжения» [12] принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%.

Выбираются базисные условия:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА.}$$

$$U_{\sigma.BH} = 1,05 \cdot U_{ном} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ.}$$

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

«Базисный ток» [12]:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (28)$$

$$I_{B.BH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА.}$$

$$I_{B.HH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

«Индуктивное сопротивление питающей ВЛ-35 кВ» [12]:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_0 \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (29)$$

где X_0 – «удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [12];

L – «суммарная длина питающей ВЛ, км» [12];

n – «число цепей ВЛ, шт.» [12]

Для ВЛ-35 кВ

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление ВЛ-35 кВ» [12]:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.ВЛ} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (30)$$

где $R_{уд}$ – «удельное активное сопротивление воздушной линии» [4].

Для ВЛ-35 кВ

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора ГПП» [12]

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (31)$$

«Для трансформатора ГПП марки ТМН-10000/35» [18]

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,59 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины» [12]:

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016 \text{ о.е.}$$

$$X_{W4} = 0,09 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

$$X_{W5} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины» [12]:

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,17 \text{ о.е.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$R_{W4} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,28 \text{ о.е.}$$

$$R_{W5} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходные сопротивления высоковольтного АД должны быть также учтены, согласно [13].

«Значения сверхпереходных сопротивлений АД» [13]

$$x''_d = 0,2;$$

$$E_D = E'' = 0,9.$$

Параметры рассматриваемого высоковольтного двигателя согласно техническим данным [13]

$$P_n = 400 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

С учётом этого, величина мощности, потребляемого высоковольтным двигателем из сети, будет рассчитана так [12]:

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (32)$$

Для высоковольтного двигателя 10 кВ насосной по условию (32)

$$S_H = \frac{400}{0,92 \cdot 0,85} = 511,5 \text{ кВА.}$$

Величина фактического «сопротивления высоковольтного АД с учётом сверхпереходного значения его сопротивления» [12]:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.} \quad (33)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 511,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1» [12].

«Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1» [12]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{wl})^2 + R_{wl}^2}. \quad (34)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

«Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1» [12]

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_\sigma. \quad (35)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 1,57 = 6,98 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 (на шинах 10 кВ ГПП) без учёта подпитки от АД» [12]

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (36)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2 БП}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА.}$$

«Начальное значение периодической составляющей трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2» [12]:

$$I_D^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k2}} \cdot I_{\sigma}. \quad (37)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_D)^2 + R_{w5}^2}}. \quad (38)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01 + 0,196)^2 + 0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.}$$

$$I_D^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2 с учётом подпитки от высоковольтных АД 10 кВ насосной» [12]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = I_{\kappa 2 БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точках К3 – К5 (на выводах 10 кВ ТП-10/0,4 кВ)» [12].

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (39)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,02)^2 + (0,02 + 0,17)^2} = 0,71 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,016)^2 + (0,02 + 0,11)^2} = 0,69 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w4})^2 + (R_{w1} + R_{w4})^2}. \quad (41)$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,04)^2 + (0,02 + 0,28)^2} = 0,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

«Для точки К6» [12]

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_D)^2 + (R_{w1} + R_{w5})^2}. \quad (42)$$

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 6БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

$$I_D^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К6» [12]:

$$I_{\kappa 6}^{(3)} = I_{\kappa 6БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [9]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_k^{(3)}, \quad (43)$$

где $K_{y\partial}$ – «значение ударного коэффициента» [7].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1» [12]

$$I_{y\partial.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

«Ток двухфазного короткого замыкания» [12]:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)}. \quad (44)$$

«В расчётной точке К1» [12]

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

«Результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения завода приведены в работе в форме таблицы 7» [18].

Таблица 7 – Результаты расчётов токов КЗ в СЭС завода

Точка КЗ	$I^{(3)}$, кА	$I^{(2)}$, кА	$I_{уд}$, кА
К1	6,98	6,04	15,71
К2	9,37	8,11	18,55
К3	7,75	6,71	15,02
К4	7,97	6,90	15,44
К5	7,24	6,27	14,03
К6	7,36	6,37	14,26

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (45)$$

$$I_{раб. макс.} \leq I_n. \quad (46)$$

Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк. ном}. \quad (47)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12].

«Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на отключение аperiodической составляющей тока КЗ» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а. ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк. ном}, \quad (48)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];

$i_{а. ном}$ – «номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк. ном}; \quad (49)$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (50)$$

где $i_{дин.}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата».

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (51)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [12];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [12].

По приведённым условиям выбора и проверки электрических аппаратов, проводится их выбор с приведением результатов в форме таблицы 8. В работе в таблице 8 сравнению подлежат соответствующие паспортные и расчётные данные аппаратов и сети, в которую они устанавливаются.

Таблица 8 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Аппараты напряжением 35 кВ			
Выключатель ВР35НС-35-20/1600- 3/3 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 40$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ар}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 22,6$ кА	$i_{ар}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с	$B_K = 9,26$ кА ² ·с
Разъединитель РЛНДЗ-2 – 35/600 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 0,3 = 4800$ кА ² ·с	$B_K = 9,26$ кА ² ·с
Ограничитель перенапря-я ОПН-35	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ

Продолжение таблицы 8

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Аппараты напряжением 10 кВ			
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 809,2 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 20 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 0,3 = 297,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТПК-10-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 809,2 \text{ А}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 50^2 \cdot 1 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
ОПН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
ТН НТМИ-10-66	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
ПКН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$

Все аппараты удовлетворяют условиям выбора и проверки.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения раздела, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по проектированию системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;
- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и

послеаварийном режимах;

– осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-70/11;

– выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Выбор всего оборудования для проектирования системы электроснабжения производства в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, а также на сравнении непосредственных характеристик оборудования (аппаратов и кабелей) и электрической сети, в которую они устанавливаются.

Благодаря этому условию, обеспечивается их работоспособность и надёжность.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Анализ вредных и опасных факторов на объекте

«В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения объекта исследования, выделяются факторы при следующих условиях» [19]:

- «при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики)» [19];
- «при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции в системе электроснабжения» [19];
- «при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения)» [19];
- при нахождении человека вблизи заземления, с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции в СЭС объекта исследования» [19].

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

Воздействие объекта на окружающую среду заключается в проявлении следующих факторов:

- возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции и маслонаполненного оборудования;
- возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой;

- загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте;
- загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта (загрязнение и запылённость воздуха);
- утечка в грунт септиков и химикатов в виде стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть в таких случаях:

- повреждение изоляции оборудования и сетей;
- несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты;
- грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса;
- неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта;
- ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей;
- использование технологического оборудования и сетей не по назначению;
- нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте;
- прочие производственные и непроизводственные факторы.

В силу различных обстоятельств и производственных факторов, существуют следующие виды опасностей:

- производственные опасности, которые заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности. Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода;

- опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;
- пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;
- экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Мероприятия по всем видам опасностей, перечисленных далее, имеют цель не допустить появление этих опасностей, а в случае их возникновения – быстро ликвидировать их очаг (очаги).

3.2 Охрана труда и техника безопасности на объекте

На любом предприятии для безопасного проведения работ есть человек, ответственный за соблюдение норм охраны труда (как правило, это – руководитель предприятия и инженер по охране труда).

Кроме того, имеются отделы по охране труда, работниками которых проводится разъяснительная и предупредительная работа среди рабочего персонала предприятия: разработка документации, проведения инструктажей, а также дней охраны труда и соответствующих мероприятий по охране труда в зависимости от направлений (электробезопасность, пожарная безопасность и т.д.).

Кроме того, непосредственную ответственность за соблюдение охраны труда в подразделениях несут и руководители этих подразделений: начальники служб, смен, участков, мастера и прочие ответственные работники, которые назначаются приказами по предприятию.

Особое место занимают инструктажи по технике безопасности и охране труда.

В зависимости от назначения и инструктируемых работников, они могут быть следующих видов: первичные инструктажи, инструктажи на рабочем месте, повторные инструктажи.

Из числа первичных инструктажей выделяется вводный инструктаж, который имеет целью осветить общий принцип и порядок работы на предприятии.

Любой инструктаж должен быть доведён под подпись того, кому он предназначен.

Также должна стоять подпись ответственного лица, проводившего данный инструктаж.

Без проведения всех необходимых инструктажей и отсутствия соответствующих подписей в установленных журналах, инструктируемое лицо к работам не допускается [16].

Производственные опасности заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности.

Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода.

Для каждого предприятия в зависимости от специфики и характера работы производственные опасности имеют различный характер.

На объекте исследования производственные опасности заключаются в получении травм различной степени тяжести при выполнении работ по монтажу, ремонту и обслуживанию оборудования, получение ожогов частей тела и слизистых оболочек, падение с высоты при выполнении работ, травмы, обусловленные попаданием частей тела под различные трущиеся и вращающиеся поверхности и т.п.

Профилактическими мероприятиями при производственных видах опасностей являются их недопущение применением организационных и технических мероприятий.

К таким мероприятиям относятся проведение инструктажей, ограждение рабочих и опасных мест, контроль выполнения работы несколькими членами бригады и т.п.

Следующий вид опасности – это опасность поражения электрическим током.

Для объекта исследования в работе в виду его специфики он представляется наиболее важным и вероятным, поэтому данному виду опасности следует уделить особое внимание.

Профилактические мероприятия по недопущению и предупреждению поражения электрическим током заключаются в проведении разъяснительной работы среди персонала, установки защитных средств, изоляции опасных участков электрической сети.

Также к профилактическим мероприятиям относятся установка световой и звуковой сигнализации, а также релейной защиты и автоматики на объектах энергетики.

Организационные мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются в организации выполнения работ строго по инструкции и нормам охраны труда, назначение ответственных лиц для контроля выполнения работ и норм безопасности, выдачу нарядов и распоряжений для выполнения работ, допуск персонала к работе, организацию работ на рабочем месте, премирование исполнительных работников и наказание злостных нарушителей.

Технические мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются во внедрении технических мер при строгом соблюдении всех нормативов.

К таким мероприятиям относятся, например, установка запрещающих, предписывающих и информационных плакатов на месте работы, ограждение рабочего места, проведение оперативных переключений, заземление оборудования и т.д.

Особое внимание следует уделить средствам защиты от поражения электрическим током при работе в электроустановках.

К таким средствам относятся перчатки, диэлектрические коврики и подставки, инструменты, защитные маски и очки. Все они должны быть проверены непосредственно перед началом работ. Кроме того, срок их эксплуатации должен быть в норме.

Просроченный рабочий и защитный инструмент ни в коем случае использовать нельзя, так как это является прямой угрозой жизни и здоровью людей.

Кроме того, для уменьшения поражения электрическим током людей, в электроустановках необходимо заземлять и занулять (только в сетях до 1 кВ) оборудование.

Применение переносных заземляющих устройств для безопасного проведения работ целесообразно только после проведения оперативных переключений коммутационных аппаратов и проверки отсутствия напряжения на шинах электроустановок.

Далее следует привести краткий алгоритм порядка выполнения работ в электроустановках при неукоснительном соблюдении мероприятий по охране труда.

Перед началом любых работ в электроустановках персонал обязан пройти инструктаж на рабочем месте, в котором указываются как его обязанности, так и обязанности других членов бригады, а также характер и расположение опасностей.

Далее старший (руководитель работ) даёт команду на подготовку рабочего места.

Рабочее место подготавливают, как правило, опытные работники с соответствующими группами по электробезопасности (в электроустановках до 1 кВ – не ниже третьей, а в электроустановках выше 1 кВ – не ниже четвёртой группы).

После этого проводятся оперативные переключения и отключения, которые согласовываются с диспетчером сетей.

Затем указателями напряжения соответствующих классов проверяют отсутствие напряжения на токоведущих частях оборудования, где будут проводиться работы.

После этого накладывается переносное заземление на токоведущие части либо включаются заземляющие ножи оборудования (если таковые предусмотрены конструкцией).

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

Только после всех перечисленных мероприятий бригада может приступить к выполнению работ.

В процессе выполнения работ при необходимости можно организовать перерыв, для чего бригада полностью выводится с места работ, а двери электроустановок закрываются на ключ.

При этом допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

3.3 Пожарная и экологическая безопасность

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и негорючих конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

На объекте в обязательном порядке должны быть предусмотрены пожарные извещатели и система пожарной сигнализации, которые должны предупреждать обслуживающий персонал о пожаре.

Такие системы должны быть полностью автоматизированы и питаться от бесперебойного источника питания, который не зависит от основных централизованных источников.

Проверку системы пожарной сигнализации следует проводить в строго установленные и регламентированные сроки.

Кроме того, должна быть предусмотрена система пожаротушения, система пожаротушения.

Известно, что системы пожаротушения бывают следующих видов:

- «система водяного пожаротушения» [13];
- «система пенного пожаротушения» [13];
- «порошковая система пожаротушения» [13];
- «система аэрозольного пожаротушения» [13];
- «газовая система пожаротушения» [13].

Все системы пожаротушения должны обязательно быть автоматизированными.

В последние годы рекомендуется применять модульную систему пожаротушения, в которой совмещены несколько упомянутых выше систем пожаротушения.

Такая модульная система позволяет тушить пожары любого класса в зависимости от вида возгорания.

Например, горящую электропроводку нельзя тушить водой, что обуславливает применение модульной системы пожаротушения на объекте исследования.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

Как показывают статистические исследования [19], также для обеспечения пожарной безопасности очень важное значение играет поддержание территории объекта в чистоте.

Для этого необходимо скашивать сухую траву, утилизировать ветошь, поддерживать чистоту на объекте.

Указанные мероприятия позволят не допустить самовозгорание на объекте в сухую жаркую погоду, а также не допустить распространение пожара на объекте и быстро его локализовать.

При выполнении работ на ГПП системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы:

- утечка масла в грунт из маслonaполненного оборудования;
- загрязнение септиками и химикатами окружающей среды;
- загрязнение и запылённость воздуха;
- опасность для флоры и фауны;
- влияние шумов на живые организмы;
- влияние высоких напряжений на биосферу.

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то:

- проведения организационных мероприятий, направленных на обеспечение экологической безопасности;
- техническое обеспечение экологической безопасности;
- профилактические меры по обеспечению экологической безопасности;
- законодательное обеспечение экологической безопасности.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения производства.

Экологическая безопасность на ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] при нормальных стандартных условиях находится под контролем руководства согласно [17].

Законодательная база регламентирует как административную, так и уголовную ответственность за нарушение закона.

Такое развитие ситуации необходимо предусмотреть и бороться с её возникновением и возможными последствиями на законодательном уровне.

Выводы по разделу 3.

Путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям.

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности и охраны труда на объекте [18].

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18].

Для реализации основной цели, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач по проектированию системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]:

- проведён исходный анализ системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], с детальным рассмотрением технологии и циклов производства на заводе, технических характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта проектирования;
- детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18]. На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта;
- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18], которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;
- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-70/11;
- выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования. Выбор всего оборудования для проектирования системы электроснабжения производства в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания;
- путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности. Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям;
- на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии охраны труда на объекте [18].

Разработанная система электроснабжения «завода по производству сухих строительных смесей» [18] отличается надёжностью схемы электрических соединений ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, а также значительно повысить показатели энергоэффективности объекта проектирования и его потребителей.

Результаты работы соответствуют всем требованиям основных нормативных документов.

Список используемых источников

1. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учеб. пособие. М. : Форум, НИЦ ИНФРА, 2018. 416 с.
2. Будзко И. А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. М. : Агропромиздат, 2018. 496 с.
3. Водяников В. Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М. : Колос, 2018. 263с.
4. Кадомская К. П., Лавров Ю. А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Курдюмов В. И., Зотов Б. И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М. : Колос, 2018. 184 с.
6. Михайлов Ю. М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. М. : Альфа-Пресс, 2017. 224 с.
7. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М. : Энергоатомиздат, 2019. 356 с.
8. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 2020. 608 с.
9. Ополева Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2019. 282 с.
10. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / под общ. ред. В.В. Дрозд. 7-е изд-е. М. : Альвис, 2018. 252 с.
11. Рогалев Н. Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М. : МЭИ, 2018. 288 с.
12. Рогалев Н. Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. М. : МЭИ, 2020. 242 с.
13. Рожкова Л. Д., Корнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений

профессионального образования. М. : 2019. 448 с.

14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение: учеб. пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М : ЭНАС, 2019. 425 с.

17. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. М. : Энергоатомиздат, 2018. 576 с.

18. Технологии сухих смесей [Электронный ресурс]: ОДО «Рол-Строй-Индустрия». URL: <https://biz-technology.biz/technology/sss.html> (дата обращения: 14.04.2022).

19. Фролов Ю. М., Шалякин В. П. Основы электроснабжения. М. : Лань, 2020. 480 с.

20. Шкрабак В. С., Луковников А. В., Тургиев А. К. Безопасность жизнедеятельности на производстве. М. : Колос, 2019. 360 с.