

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 железобетонных изделий

Студент

А.М. Грицаенко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2021

Аннотация

Целью данной работы является разработка проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий ООО «Стройтрест-Поволжье», в дальнейшем именуемый как «завод железобетонных изделий».

Объектом исследования является система электроснабжения завода железобетонных изделий.

Предметом исследования являются схема главных электрических соединений, понизительные трансформаторные подстанции, а также электрические сети и аппараты системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Для реализации поставленной цели, в работе проведено решение задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания проектируемого завода;
- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий, выбор элементов и составляющих схемы электроснабжения завода;
- анализ и разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в проектируемой системе электроснабжения завода железобетонных изделий, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы необходимо осуществить комплексную разработку проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Работа состоит из 71 страниц машинописного текста, а также шести чертежей графической части формата А1, выполненные в редакторе AutoCAD.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Общая характеристика завода железобетонных изделий.....	7
1.2 Характеристика цехов завода железобетонных изделий.....	11
2 Разработка системы электроснабжения завода железобетонных изделий.....	15
2.1 Выбор схемы электроснабжения завода железобетонных изделий.....	15
2.2 Расчёт электрических нагрузок.....	18
2.3 Расчёт картограммы нагрузок и центра электрических нагрузок.....	21
2.4 Выбор силовых трансформаторов на ГПП завода с учётом компенсации реактивной мощности.....	23
2.5 Выбор силовых трансформаторов цеховых ТП с учётом компенсации реактивной мощности.....	26
2.6 Расчёт токов короткого замыкания.....	32
2.7 Выбор и проверка сечения проводников.....	41
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов.....	46
3 Расчет релейной защиты трансформаторов главной понизительной подстанции.....	50
3.1 Исходные данные.....	50
3.2 Расчёт основных типов защиты трансформаторов ГПП.....	51
4 Техника безопасности и охрана труда.....	56
4.1 Обеспечение техники безопасности на предприятии.....	56
4.2 Расчет молниезащиты главной понизительной подстанции.....	64
Заключение.....	68
Список используемой литературы и используемых источников.....	70

Введение

Одним из главных направлений развития предприятий современного промышленного комплекса является концентрация и специализация производства, широкое внедрение современных методов производства, а также результатов научно-технического прогресса и мирового опыта.

В настоящее время в промышленном комплексе все производственные процессы электрифицированы, так как активно внедряются и повсеместно используются прогрессивные технологии и современные машины и новейшие автоматизированные комплексы, работа которых организована по поточным линиям.

На современном этапе развитие предприятий промышленности страны непосредственно направлена на конечный результат – получение большего количества готовой продукции высокого качества с минимальными затратами и потерями.

Правильная организация производственного цикла, а также оптимизация систем электроснабжения, реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования, является одним из способов повышения рентабельности промышленного комплекса и всей отрасли в целом. Перечисленные аспекты обуславливают актуальность данной работы.

Целью данной работы является разработка проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Объектом исследования является система электроснабжения завода железобетонных изделий.

Предметом исследования являются схема главных электрических соединений, понизительные трансформаторные подстанции, а также электрические сети и аппараты системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Для реализации поставленной цели, в работе проведено решение задач:

- анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания проектируемого завода железобетонных изделий;

- непосредственная разработка проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий, выбор элементов и составляющих схемы электроснабжения завода;

- анализ и разработка мероприятий по охране труда при выполнении работ в проектируемой системе электроснабжения завода железобетонных изделий, а также мероприятий по экологической безопасности на объекте исследования.

Структура работы представлена тремя главами расчётно-пояснительной записки и шестью листами графической части, выполненными в чертёжном редакторе AutoCAD.

Выполнение работы предусматривает решение следующих основных задач, а именно:

- анализ исходных данных, предусматривающих общую характеристику завода железобетонных изделий, а также характеристику технических условий цехов завода железобетонных изделий;

- разработка системы электроснабжения завода железобетонных изделий, предусматривающая выбор числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций, рассмотрение компенсации реактивной мощности (КРМ) на стороне 0,4 кВ с последующим уточнением числа и мощности цеховых ТП после КРМ, расчёт нагрузки с учётом потерь мощности в ТП, решение вопросов компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ, выбор типа, количества и мощности трансформаторов ГПП, построение картограммы нагрузок с последующим выбором места расположения ГПП, разработка однолинейной схемы электроснабжения завода железобетонных

изделий, расчёт максимальных токов трёхфазного короткого замыкания, выбор электрических проводников и аппаратов проектируемой системы электроснабжения;

– расчет релейной защиты трансформаторов главной понизительной подстанции, предусматривающий расчёт максимальной токовой защиты, защиты от однофазных замыканий на землю, газовой защиты;

– разработка мероприятий по технике безопасности и охрана труда, а также непосредственный расчет молниезащиты главной понизительной подстанции.

В результате выполнения работы необходимо осуществить комплексную разработку проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

Все основные задачи в работе решаются на основе материалов, приведённых в рекомендованной справочной и учебной технической литературе, а также в нормативных документах согласно заданию на работу. Кроме того, при проектировании применяются сведения, полученные из типичных проектов.

1 Анализ исходных данных

1.1 Общая характеристика завода железобетонных изделий

Объектом проектирования является система электроснабжения завода железобетонных изделий.

Производство железобетонных изделий включает следующие основные технологические процессы: приготовление бетонной смеси, изготовление арматуры и армирование изделий, формование, тепловая обработка и отделка лицевых поверхностей изделий, а также испытание готовых изделий.

По способу и организации процесса формования могут быть выделены три схемы производства железобетонных изделий.

1. Изготовление изделий в неподвижных формах.

Все технологические операции — от подготовки форм до распалубки готовых отвердевших изделий — осуществляются на одном месте. К этому способу относятся формование изделий на плоских стендах или в матрицах, формование изделий в кассетах.

2. Изготовление изделий в подвижных формах. Отдельные технологические операции формования или отдельный комплекс их осуществляются на специализированных постах. Форма, а затем изделие вместе с формой, перемещаются от поста к посту по мере выполнения отдельных операций. В зависимости от степени расчлененности общего технологического комплекса формования изделий по отдельным постам различают конвейерный, имеющий наибольшую расчлененность, и поточно-агрегатный способы. Последний отличается тем, что ряд операций (укладка арматуры и бетонной смеси, уплотнение смеси, а в некоторых случаях и ряд других) выполняется на одном посту. При конвейерном способе большинство операций формования проводят на определенном посту; они составляют технологическую линию.

3. Непрерывное формование, возникшее сравнительно недавно, но весьма зарекомендовавшее себя как способ, отличающийся наиболее высокой производительностью труда, минимальной металлоемкостью и несравнимо высоким объемом продукции на единицу производственной площади завода. Способ непрерывного формования изделий осуществляется на вибропрокатном стане.

Приготовление бетонной смеси. Бетонную смесь, как правило, готовят в бетоносмесительном цехе, расположенном в непосредственной близости от формовочного цеха.

Изготовление арматуры. Обычную ненапрягаемую арматуру в виде сварных сеток и каркасов изготавливают в арматурном цехе заводов железобетонных изделий. Поступающую на завод в мотках (бухтах) или прутках арматуру на специальных станках очищают от окалины и ржавчины, правят и режут на стержни заданной длины. Затем стержням гнутьем на станках придают требуемую форму.

Отдельные стержни соединяют в сетки и каркасы контактной сваркой на многоточечных сварочных аппаратах. Готовые арматурные сетки и каркасы транспортируют в формовочные цеха завода, где их укладывают в заранее подготовленные формы.

Напрягаемую арматуру в виде отдельных стержней или пучков в формовочном цехе, на стендах и в формах предварительно (до бетонирования) натягивают при помощи гидравлических домкратов или электротермическим способом.

Стенды и металлические формы имеют специальные упоры для закрепления натянутой арматуры, которая удерживается в натянутом состоянии до тех пор, пока уложенный в форму бетон не наберет определенной прочности, обеспечивающей надежное сцепление его с арматурой (обычно 20 МПа и более).

Формование изделий. Процесс формования железобетонных изделий состоит из следующих основных операций: очистки, сборки и смазки форм, укладки в форму арматуры, укладки в форму бетонной смеси и ее уплотнения.

Качество железобетонных изделий в значительной мере зависит от качества формы и, в частности, от точности ее размеров и жесткости. При массовом изготовлении изделий используют металлические формы. Формы очищают от остатков затвердевшего бетона ранее изготовленных изделий, собирают, а затем смазывают различными эмульсионными составами, препятствующими сцеплению бетона изделия с металлом формы.

Бетонная смесь поступает в приемный бункер бетоноукладчика, который подает ее в форму и разравнивает. Уплотнять бетонную смесь можно различными способами: вибрированием, вакуумированием, центрифугированием, прессованием, прокатом, трамбованием и т.д.

При производстве некоторых видов полых изделий (трубы, опоры линий электропередач) для уплотнения бетонной смеси применяют центрифугирование на центробежных станках – центрифугах.

Отделка поверхности железобетонных изделий. Выбор метода отделки поверхностей железобетонных изделий производят с учетом целого ряда требований. Отделка должна быть долговечной и защищать бетон от атмосферных и агрессивных воздействий, а также отвечать архитектурно-декоративным требованиям. В настоящее время отделку поверхностей выполняют путем использования окрасочных составов, облицовочных материалов и цветных бетонов.

Железобетонные изделия, изготовленные по одной технологии, принимают партиями. В процессе приемки наружным осмотром проверяют внешний вид изделий, отмечают наличие трещин, раковин и других дефектов. Затем с помощью измерительных линеек и шаблонов проверяют правильность формы и габаритные размеры изделий. Если при контрольных замерах изделия

обнаруживаются отклонения по длине или ширине, превышающие допускаемые, изделие бракуется. Испытание готовых железобетонных изделий на прочность, жесткость стойкость к механическим повреждениям производят согласно ГОСТам и техническим условиям. Блок-схема технологического процесса производства железобетонных изделий приведена на рисунке 1.

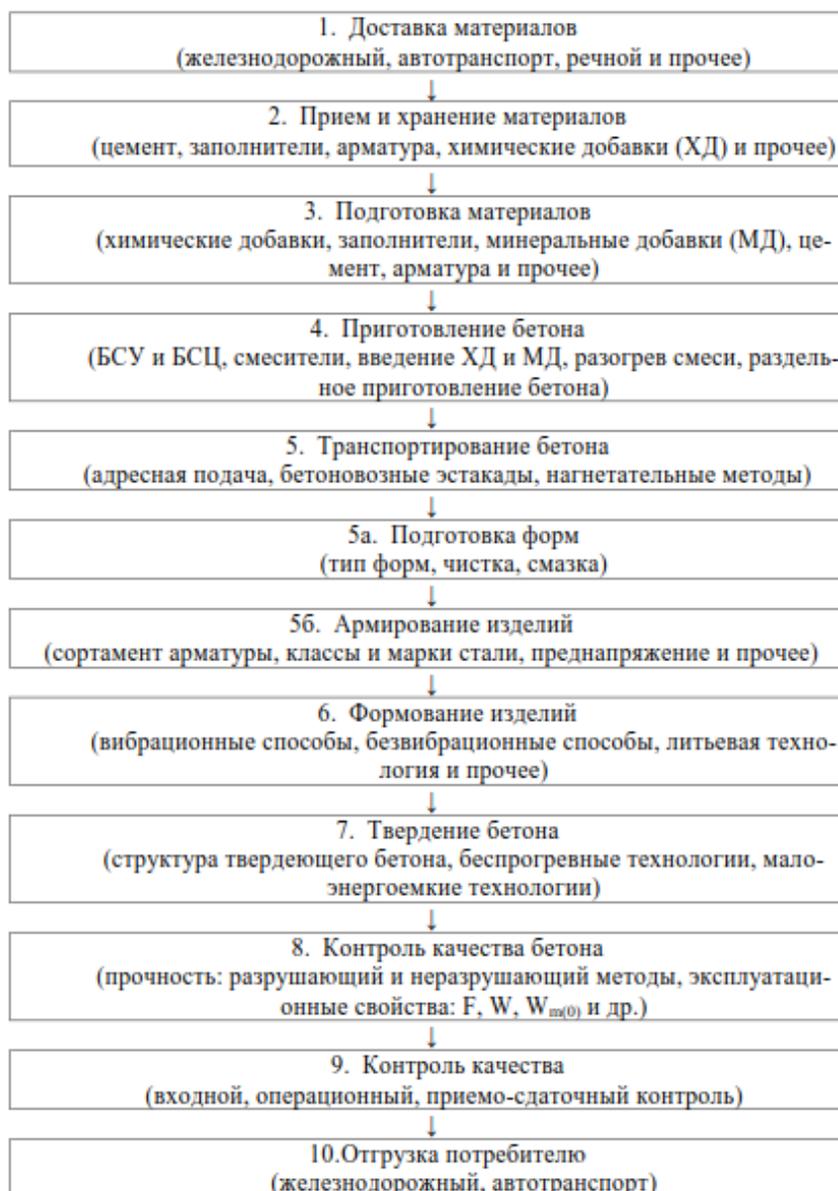


Рисунок 1 - Технологическая схема производства железобетонных изделий

1.2 Характеристика цехов завода железобетонных изделий

Согласно исходным данным на проектирование, на территории завода железобетонных конструкций расположены восемь комплексных подразделений (цехов и участков), выполняющих непосредственную роль в технологическом производственном процессе и работе завода.

Все потребители проектируемого завода железобетонных конструкций делятся на три большие группы (категории) по надёжности электроснабжения.

По бесперебойности энергоснабжения к потребителям первой категории относятся следующие цеха завода железобетонных конструкций (основные производственные цеха, а также узлы коммуникаций, не допускающие перерыва в электроснабжении и требующие соответствующего уровня резервирования и секционирования в схеме электроснабжения завода железобетонных конструкций):

- бетоносмесительный цех;
- производственный корпус;
- формовочный цех;
- арматурный цех.

К потребителям второй категории относятся следующие цеха и участки завода железобетонных конструкций (вспомогательные производственные цеха, а также вспомогательные узлы коммуникаций):

- блок вспомогательных цехов;
- технический блок (насосная, котельная, компрессорная).

К потребителям третьей категории относятся все остальные цеха завода железобетонных конструкций, так как они все принимают непосредственное участие в производственном цикле завода, следовательно, они требуют значительно меньшей надёжности электроснабжения.

К таким участкам и цехам на территории завода железобетонных изделий относятся:

- складские помещения;
- административно-бытовой корпус.

Исходный план расположения цехов завода железобетонных изделий представлен на рисунке 2.

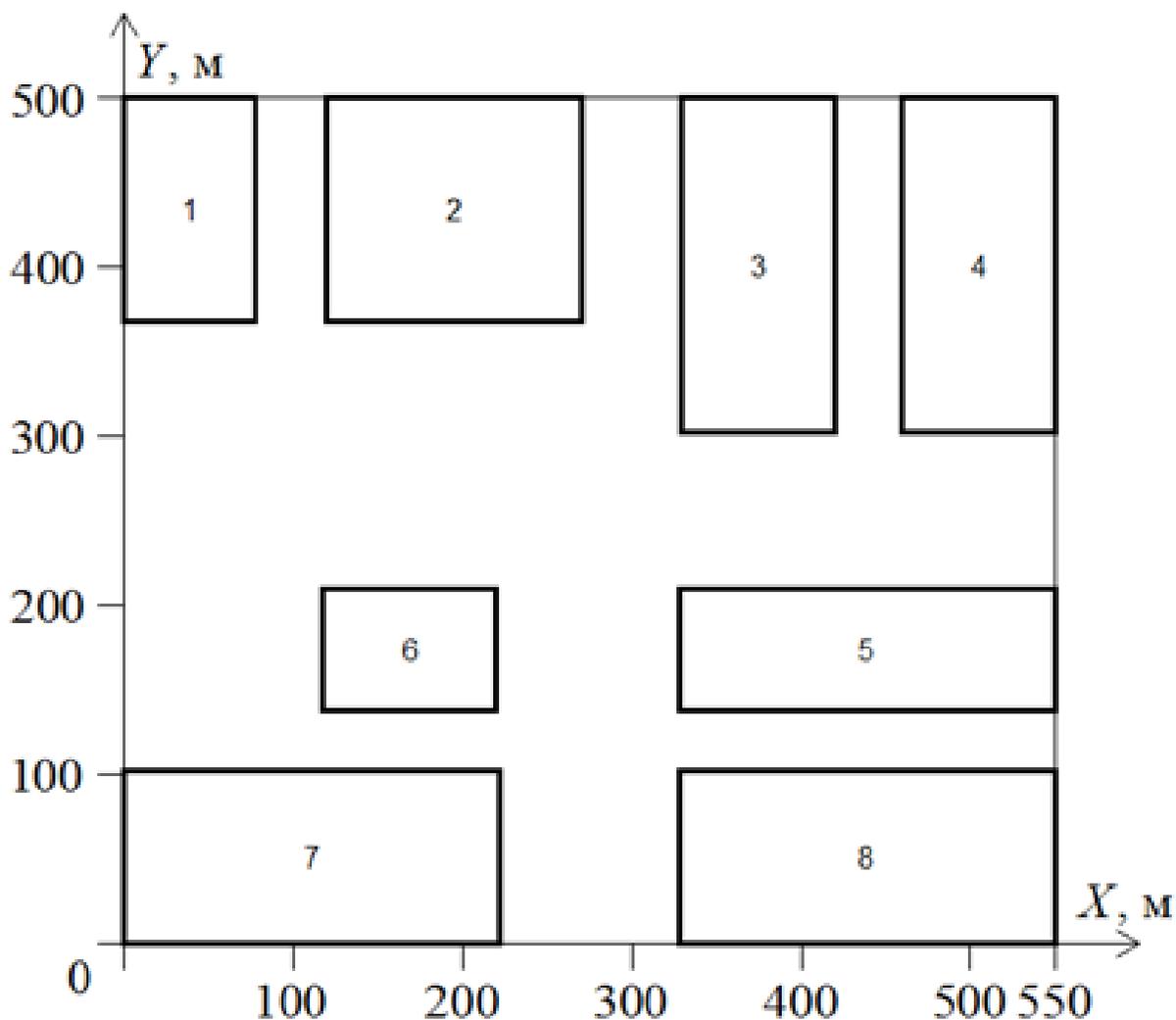


Рисунок 2 – Исходный план расположения цехов завода железобетонных изделий

Основные исходные технические данные цехов завода железобетонных изделий приведены в таблице 1.

В ней, помимо указания основных размеров цехов и участков завода железобетонных изделий, также приведены данные по установленной мощности нагрузки согласно проектным данным (Руст., кВт), а также значения проектных коэффициентов активной мощности ($\cos\varphi$, о.е.) цехов и участков завода железобетонных изделий.

Все электроприемники проектируемого в работе завода железобетонных изделий работают на переменном напряжении 380/220 В промышленной частоты 50 Гц.

Исключение составляют высоковольтный асинхронный двигатель бетоносмесительного цеха мощностью 630 кВт, работающий на номинальном напряжении 10 кВ.

Таблица 1 – Основные исходные технические данные цехов и участков завода железобетонных изделий

№ п/п	Наименование цеха (участка)	Руст., кВт	Размеры		$\cos\varphi$, о.е.
			ахб, м		
1	Бетоносмесительный цех (0,4 кВ)	1375	78	132	0,89
	Бетоносмесительный цех (10 кВ)	630			0,8
2	Арматурный цех	2000	150	132	0,91
3	Формовочный цех	1520	90	198	0,88
4	Складские помещения	200	90	198	0,89
5	Блок вспомогательных цехов	1250	222	72	0,87
6	Технический блок	1925	102	72	0,9
7	Производственный корпус	3125	222	102	0,89
8	Административно-бытовой корпус	600	222	102	0,88
Всего по заводу ЖБ изделий		12625	-	-	-

Выводы по разделу 1

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных с характеристикой технологического процесса, оборудования и источников питания проектируемого завода железобетонных изделий.

Рассмотрены требования основных документов, которые необходимо учитывать в работе и применять при проектировании систем электроснабжения промышленных объектов.

На основании приведённых исходных технических данных цехов и участков завода железобетонных изделий, далее в работе проводится непосредственная разработка и проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

2 Разработка системы электроснабжения завода железобетонных изделий

2.1 Выбор схемы электроснабжения завода железобетонных изделий

В виду наличия на заводе железобетонных изделий больших мощностей (суммарная установленная нагрузка завода железобетонных изделий составляет 12625 кВт), согласно норм и рекомендаций нормативных документов с учётом типичных проектов [1-5], принимается следующая структурная схема распределения электроэнергии:

1) первый уровень – питание от энергосистемы и преобразование напряжения до уровня распределительного. Для данной цели используется главная понизительная подстанция (ГПП), преобразующая напряжение энергосистемы со 110 кВ до 10 кВ. В работе для питания ГПП завода железобетонных изделий принимается радиальная схема внешнего электроснабжения, так как на проектируемом заводе имеется значительное число потребителей I и II категории надёжности, требующих двух независимых источников питания по радиальной схеме. Также, исходя из данных требований, в работе принимается двухтрансформаторная главная понизительная подстанция (ГПП);

2) второй уровень – распределение напряжения по цехам (объектам) завода железобетонных изделий с последующим его понижением. Для данной цели на заводе железобетонных изделий применяются распределительные цеховые трансформаторные подстанции, понижающие напряжение 10 кВ, полученное от ГПП, до напряжения 0,38/0,22 кВ, на котором работают потребители цехов завода железобетонных изделий. На данном уровне имеются также следующие особенности:

– питание высоковольтного двигателя бетоносмесительного цеха напряжением 10 кВ и мощностью 630 кВт осуществляется напрямую от шин

распределительного устройства ГПП завода железобетонных изделий без последующего преобразования напряжения. При этом используется радиальная схема электроснабжения;

– питание цехов третьей категории надёжности осуществляется на напряжении 0,38/0,22 кВ от шин 0,4 кВ цеховых ТП с использованием магистральной схемы электроснабжения.

Для ГПП выбирается схема главных соединений типа «два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» (рисунок 3), которая соответствует требованиям надёжности и экономичности [3,5,6].

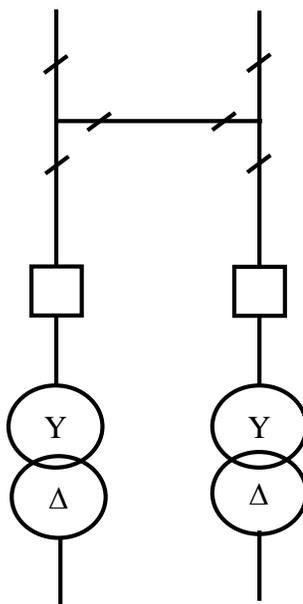


Рисунок 3 – Схема главных соединений на стороне 110 кВ ГПП завода железобетонных изделий

Для распределительного устройства (РУ) напряжением 10 кВ ГПП заводе железобетонных изделий принимается схема главных соединений, обладающая требуемым и достаточным уровнем резервирования – одиночная секционированная система сборных шин с устройством автоматического включения резерва (АВР), показанная на рисунке 4.

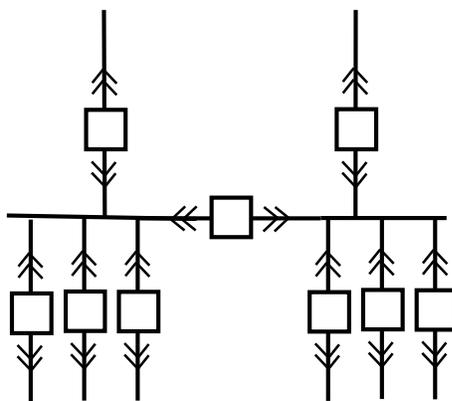


Рисунок 4 – Схема главных соединений на стороне 10 кВ ГПП завода железобетонных изделий

Далее электрическая сеть на напряжении 10 кВ распределяется по цеховым трансформаторным подстанциям заводе железобетонных изделий, количество которых, а также марки устанавливаемых на них трансформаторов, определяется на основании расчётов в работе далее.

После преобразования электроэнергии на цеховых ТП с высшего напряжения 10 кВ до напряжения 0,38/0,22 кВ, она непосредственно распределяется между потребителями цехов и участков проектируемого завода железобетонных изделий.

В схеме на всех этапах распределения электроэнергии обеспечиваются необходимые условия резервирования.

Принятая схема электроснабжения проектируемого завода железобетонных изделий соответствует требованиям нормативных документов [1-5] по критериям надёжности, простоты, перспективы развития, экономичности.

Принятые в работе решения относительно выбора элементов системы электроснабжения наносятся на графический лист 2 работы.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Проводится расчёт нагрузок цехов завода железобетонных изделий методом коэффициента спроса.

Отдельно проводится расчёт нагрузки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ.

Расчётная активная нагрузка электроприёмников напряжением до 1 кВ, кВт:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (1)$$

где P_n – значение суммарной номинальной активной мощности цеха (подразделения) завода, кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха (подразделения) завода, о.е.

Расчетная реактивная нагрузка электроприёмников до 1 кВ, квар:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – средневзвешенное значение коэффициента реактивной мощности, соответствующий заданному $\cos \varphi$ (справочные данные).

Полная нагрузка электроприёмников до 1 кВ, кВА:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

На примере бетоносмесительного цеха (нагрузка 0,4 кВ) по условию (1)

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

Расчетная реактивная нагрузка бетоносмесительного цеха (нагрузка 0,4 кВ) по условию (2)

$$Q_{p.} = 1100 \cdot 0,51 = 563,55 \text{ квар.}$$

Расчётная полная нагрузка бетоносмесительного цеха (нагрузка 0,4 кВ) по условию (3):

$$S_{p.} = \sqrt{1100^2 + 563,55^2} = 1235,96 \text{ кВА.}$$

Расчёт нагрузок остальных цехов и подразделений проектируемого завода железобетонных изделий проводится аналогично и результаты расчёта приведены в таблице 4.

Расчетная полная нагрузка завода железобетонных изделий определяется с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП.

Предварительные потери активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах ГПП завода железобетонных изделий на стадии проектирования предварительно можно определить так:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 S_{p.}, \text{ кВт}; \quad (4)$$

$$\Delta Q_{T.ГПП} = 0,1 S_{p.}, \text{ квар.} \quad (5)$$

Результаты расчётов нагрузок цехов завода железобетонных изделий сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок цехов завода железобетонных изделий

№ цеха	Наименование	Нагрузка					
		P_H , кВт	$\cos\varphi$ / $\operatorname{tg}\varphi$	K_c , о.е.	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители электрической энергии до 1000 В							
1а	Бетоносмесительный цех (0,4 кВ)	1375	0,89/ 0,51	0,8	1100	563,55	1235,96
2	Арматурный цех	2000	0,91/ 0,46	0,8	1600	728,98	1758,24
3	Формовочный цех	1520	0,88/ 0,54	0,8	1900	1025,51	2159,09
4	Складские помещения	200	0,89/ 0,51	0,5	100	51,23	112,4
5	Блок вспомогательных цехов	1250	0,87/ 0,57	0,8	1000	566,73	1149,425
6	Технический блок	1925	0,9/ 0,48	0,65	1250	605,40	1388,889
7	Производственный корпус	3125	0,89/ 0,51	0,8	2500	1280,79	2808,99
8	Административно-бытовой корпус	600	0,88/ 0,54	0,5	300	161,92	340,91
Итого по 0,38/0,22 кВ		11995			9750	4984,11	10953,9
Потребители электрической энергии выше 1000 В							
1б	Бетоносмесительный цех (10 кВ)	630	0,75/ 0,88	0,8	504	378	630
Итого по 10 кВ		630			504	378	630
Итого по заводу		12625			10254	5362,11	11583,9
Потери в трансформаторах ГПП					205,1	536,2	574,1
Итого по заводу с учётом потерь		12625			10459,1	5898,31	12007,6

На основании полученных результатов далее в работе проводится выбор силовых трансформаторов, электрических сетей и аппаратов.

2.3 Расчёт картограммы нагрузок и центра электрических нагрузок

Для построения картограммы электрических нагрузок в работе необходимо определить площади и радиус окружностей, соответствующего площади равной расчётной мощности нагрузки в принятом масштабе.

Площади окружностей картограммы нагрузок и радиус окружности расчётной нагрузки:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m \quad (6)$$

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi \cdot m}}, \quad (7)$$

где $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха, кВт;

m – масштаб мощности, кВт/мм².

Координаты центра электрических нагрузок завода железобетонных изделий при этом можно определить так:

$$X_{цз} = \frac{\sum(P_{p,i} X_i)}{\sum P_{p,i}}, \quad (8)$$

$$Y_{цз} = \frac{\sum(P_{p,i} Y_i)}{\sum P_{p,i}}, \quad (9)$$

где X_i, Y_i – координаты центров электрических нагрузок цехов, м.

Определение центра электрических нагрузок цехов завода железобетонных изделий и данных для построения картограммы нагрузок приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Определение центра электрических нагрузок и данных для построения картограммы нагрузок завода железобетонных изделий

№ цеха	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 электрической энергии до 1000 В							
1а	Бетоносмесительный цех (0,4 кВ)	1235,96	34,355	39	434	48202,2	536404,5
2	Арматурный цех	1758,24	40,976	195	434	342857,1	763076,9
3	Формовочный цех	2159,09	45,407	375	401	809659,1	865795,5
4	Складские помещения	112,4	10,358	505	401	56741,6	45056,2
5	Блок вспомогательных цехов	1149,425	33,130	439	174	504597,7	200000,0
6	Технический блок	1388,889	36,418	169	174	234722,2	241666,7
7	Производственный корпус	2808,99	51,792	111	51	311797,8	143258,4
8	Административно-бытовой корпус	340,91	18,043	439	51	149659,1	17386,4
Потребители электрической энергии выше 1000 В							
1б	Бетоносмесительный цех (10 кВ)	630	28,322	39	434	24570,0	273420,0
ВСЕГО:		11583,9	-	-	-	2482806,82	3086064,51

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) завода железобетонных изделий определяется так:

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

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

Картограмма электрических нагрузок завода железобетонных изделий приведена на графическом листе №1 работы.

2.4 Выбор силовых трансформаторов на ГПП завода с учётом компенсации реактивной мощности

При решении вопроса о компенсации реактивной мощности на стороне 10 кВ ГПП завода железобетонных изделий исходят из следующих предпосылок, приведённых ниже. Рассчитываются коэффициенты:

$$tg\varphi_o = \frac{Q_o}{P_M}; tg\varphi_m = \frac{Q_m}{P_M}, \quad (10)$$

где $tg\varphi_o$ - оптимальный коэффициент реактивной мощности;

P_M - заявленная предприятием активная мощность, участвующая в максимуме энергосистемы и зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией;

Q_o - оптимальная реактивная нагрузка предприятия, зафиксированная в договоре на пользование электроэнергией (принимается $tg\varphi_o = 0,4$);

Q_m - фактическая реактивная нагрузка предприятия ($tg\varphi_m = 0,5$).

Мощность компенсирующих устройств $Q_{кв}$ для установки на шинах 10 кВ ГПП завода железобетонных изделий определяется так:

$$Q_{кв} = P_M(tg\varphi_m - tg\varphi_o). \quad (11)$$
$$Q_{кв} = 10344,87 \cdot (0,448 - 0,4) = 498,76 \text{ квар.}$$

Принимается для установки на ГПП предприятия завода железобетонных изделий две конденсаторные установки марки КРМ(УКЛ57)-10,5-300 квар с суммарной реактивной мощностью $2 \cdot 300 = 600$ квар. Тогда расчетная реактивная нагрузка предприятия завода железобетонных изделий с учётом компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП

$$Q_{p\Sigma} = Q_p - Q_{KV}, \text{ квар.} \quad (12)$$

$$Q_{\Sigma p\Sigma} = 4636,7 - 600 = 4036,7 \text{ квар.}$$

Тогда полная расчётная нагрузка предприятия завода железобетонных изделий с учётом выбранных устройств для компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП завода составит

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.\Sigma}^2 + Q_{p.\Sigma}^2}, \text{ кВА.} \quad (13)$$

$$S_p = \sqrt{10344,87^2 + 4036,7^2} = 11213,087 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Мощность силового трансформатора для установки на ГПП определяется из соотношения

$$S_{ном} \geq \frac{S_p}{n \cdot K_3}, \quad (14)$$

где n – количество силовых трансформаторов на ГПП завода, принимается $n=2$ шт.;

K_3 – коэффициент загрузки, принимается при двух трансформаторах для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности $K_3 = 0,7$.

$$S_{ном \text{ Т}} \geq \frac{11213,087}{2 \cdot 0,7} = 8009,348 \text{ кВА.}$$

Исходя из проведённых расчётов, принимается для установки на ГПП завода железобетонных изделий два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый.

Для этой цели выбирается из каталога [14] силовой трансформатор типа ТДН-10000/110.

Определяется фактический коэффициент загрузки силового трансформатора на ГПП завода железобетонных изделий

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}}. \quad (15)$$

Проверка трансформатора в нормальном режиме

$$k_{3.н} = \frac{11213,087}{2 \cdot 10000} = 0,567 \leq 0,7.$$

Проверка выбранного силового трансформатора ГПП в послеаварийном режиме (на ГПП в работе остаётся один силовой трансформатор)

$$k_{3.а} = \frac{11213,087}{1 \cdot 10000} = 1,134 \leq 1,35.$$

Условия проверок как в нормальном, так и послеаварийном режиме для выбранных силовых трансформаторов ГПП выполняется.

Окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА типа ТДН-10000/110 для установки на ГПП завода железобетонных изделий.

2.5 Выбор силовых трансформаторов цеховых ТП с учётом компенсации реактивной мощности

Для определения месторасположения понизительных подстанций используются принятыми критериями относительно плотности нагрузки напряжением 0,38/0,22 кВ:

$$S_{н.т} = \begin{cases} 1000, 1600 \text{ кВА}, & \sigma \leq 0,2 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 1600 \text{ кВА}, & 0,2 < \sigma \leq 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \\ 2500 \text{ кВА}, & \sigma > 0,5 \text{ кВА} / \text{м}^2 \end{cases} \quad (16)$$

Определяется плотность нагрузки 0,38/0,22 кВ в каждом из цехов завода железобетонных изделий (таблица 4)

$$\delta = \frac{S_{р.}}{F}. \quad (17)$$

Таблица 4 – Результаты расчетов плотности нагрузки цехов завода

№ цеха	Наименование	P _p , кВт	Q _p , кВар	S _p , кВА	F, м ²	σ, кВА/м ²
1	Бетоносмесительный цех (0,4 кВ)	1100	563,55	1235,96	10296	0,12
2	Арматурный цех	1600	728,98	1758,24	19800	0,09
3	Формовочный цех	1900	1025,51	2159,09	17820	0,12
4	Складские помещения	100	51,23	112,4	17820	0,006
5	Блок вспомогательных цехов	1000	566,73	1149,425	15984	0,07
6	Технический блок	1250	605,40	1388,889	7344	0,19
7	Производственный корпус	2500	1280,79	2808,99	22644	0,12
8	Административно-бытовой корпус	300	161,92	340,91	22644	0,02

Цеховые ТП-10/0,4 кВ завода железобетонных изделий размещаются в цехах с наибольшей нагрузкой (основных производственных цехах). При этом необходимо загрузить все силовые трансформаторы цеховых ТП завода железобетонных изделий так, чтобы соблюдался нормируемый коэффициент загрузки согласно требуемым нормативным документам [1-4], а питающая и распределительная сети были как можно более короткими (имели минимальную длину). Это позволит значительно снизить потери напряжения и электроэнергии в системе электроснабжения [16-20].

Для электроснабжения цехов завода железобетонных изделий от цеховых ТП-10/0,4 кВ, учитывая принятые в работе категории надёжности и рассчитанные плотности нагрузки, принимается шесть понизительных трансформаторных подстанций, которые питают:

- ТП-1 – цех №1;
- ТП-2 – цех №2;
- ТП-3 – цеха №3, №4;
- ТП-4 – цеха №5, №8;
- ТП-5 – цех №6;
- ТП-6 – цех №7.

Принятый в работе вариант размещения цеховых ТП-10/0,4 кВ и распределение нагрузки между цеховыми подстанциями завода железобетонных изделий, представлен на генплане предприятия в графической части работы.

Для двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{п.}}}{N \cdot \beta_{\text{т}}}, \quad (18)$$

$S_{ном.т.}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ТП-10/0,4 кВ, кВА;

S_p – суммарная расчётная полная нагрузка цехов, которые питают питание от ТП-10/0,4 кВ, кВт;

N – число трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт;

β_m – коэффициент загрузки трансформатора ТП-10/0,4 кВ [1].

Проводится расчёт и выбор марки силового трансформатора для его установки на цеховой ТП-1 завода железобетонных изделий

$$S_{рт\ ТП-1} = \frac{1235,96}{2 \cdot 0,7} = 882,825 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Выбирается для установки на ТП-1 завода железобетонных изделий два силовых трансформатора марки ТМ-1000/10У1.

Результаты выбора трансформаторов на остальных ТП-10/0,4 кВ представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ

Наименование цеховой ТП	Тип трансформаторов	$S_{тр}$, кВА	N , шт	k_3
ТП-1	ТМ-1000/10У1	1000	2	0,618
ТП-2	ТМ-2000/10У1	2000	2	0,440
ТП-3	ТМ-2500/10У1	2500	2	0,454
ТП-4	ТМ-1600/10У1	1600	2	0,466
ТП-5	ТМ-1000/10У1	1000	2	0,694
ТП-6	ТМ-2500/10У1	2500	2	0,468

В работе для установки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП завода железобетонных изделий мощность конденсаторных установок (КУ) определяется так:

$$Q_{\text{ку}} = Q_{\text{р}} - P_{\text{р}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{э}}, \quad (19)$$

где $\text{tg}\varphi_{\text{э}} = 0,35$ – предельный максимальный коэффициент реактивной мощности энергосистемы.

Суммарная мощность КУ на примере бетоносмесительного цеха (ТП-1)

$$Q_{\text{ку}} = 563,55 - 1100 \cdot 0,35 = 178,547 \text{ квар.}$$

Аналогично выполняется определение мощности КУ для всех остальных цехов завода железобетонных изделий и результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Определение мощности КУ цехов завода железобетонных изделий

№ цеха	Наименование цеха	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$\text{tg}\varphi_{\text{ф}}$, о.е.	$Q_{\text{ку}}$, квар
1	Бетоносмесительный цех (0,4 кВ)	1100	563,55	0,512	178,547
2	Арматурный цех	1600	728,98	0,456	168,982
3	Формовочный цех	1900	1025,51	0,540	360,511
4	Складские помещения	100	51,23	0,512	16,232
5	Блок вспомогательных цехов	1000	566,73	0,567	216,726
6	Технический блок	1250	605,40	0,484	167,903
7	Производственный корпус	2500	1280,79	0,512	405,788
8	Административно-бытовой корпус	300	161,92	0,540	56,923

Выбор КУ с конденсаторами 0,4 кВ:

$$Q_{p \text{ ут}} = Q_p - Q_{\text{ку}\Sigma}, \quad (20)$$

где $Q_{\text{ку}\Sigma}$ – суммарная мощность устанавливаемых КУ, квар;

Q_p – суммарная реактивная расчётная нагрузка цеха, квар.

Мощность одной КУ (их число должно быть парным при наличии двух трансформаторов на цеховых ТП)

$$Q_{\text{ку}} = \frac{Q_{\text{р.ку}}}{n_{\text{тр}}}. \quad (21)$$

Для ТП-1 мощность одной КУ по условию (21)

$$Q_{\text{ку 1 цех 1}} = \frac{178,547}{2} = 90,273 \text{ квар.}$$

Для установки на ТП-1 выбирается две КУ марки УКМ58-0,4-90-10 УЗ мощностью 90 квар каждая.

Уточнённая расчётная реактивная мощность ТП после компенсации реактивной мощности

$$Q_{p \text{ ут}} = Q_p - n_{\text{тр}} \cdot Q_{\text{ку}}. \quad (22)$$

Для ТП-1

$$Q_{p \text{ ут}} = 563,5 - 2 \cdot 90 = 383,5 \text{ квар.}$$

Результаты выбора КУ остальных ТП приведены в таблице 7. Также проверяется мощность выбранных ранее трансформаторов цеховых ТП после установки на них выбранных КУ.

Таблица 7 – Выбор КУ для компенсации реактивной мощности на стороне 0,4 кВ цеховых ТП и проверка трансформаторов ТП с учётом выбора КУ

№ ТП	Марка КУ	Кол-во, шт	$Q_{ку у}$, квар	Q_p , квар	$Q_{р ут}$, квар	$S_{р ут}$, кВА	$S_{расч тр}$, кВ·А	$S_{ном}$, кВ·А	$k_{з.ф.}$, о.е.
ТП-1	УКМ58-0,4-90-10 У3	2	180	563,5	383,5	1164,95	832,107	1000	0,58
ТП-2	УКМ58-0,4-87,5-12,5 У3	2	180	729,0	549,0	1691,56	1691,562	2000	0,42
ТП-3	УКМ58-0,4-190-10 У3	2	380	1076,7	696,7	2117,89	2117,888	2500	0,42
ТП-4	УКМ58-0,4-140-20 У3	2	280	728,649	448,65	1375,24	982,315	1000	0,69
ТП-5	УКМ58-0,4-87,5-12,5 У3	2	175	605,4	430,4	1322,02	944,303	1000	0,66
ТП-6	–	–	–	1280,79	1280,79	2808,99	–	–	–

В результате проведённых расчётов и принятых решений по выбору КУ 0,4 кВ сделаны следующие выводы:

– на ТП-6 КУ не устанавливаются, так в результате расчёта получено отрицательное значение $Q_{ку у} = -377,5$ квар ≤ 0 , следовательно, на данном ТП-6 необходимости в установке КУ нет [4]. Следовательно, марка силовых трансформаторов и их номинальная мощность на ТП-6 также не изменяются;

– в результате установки КУ и проведения проверочного расчёта мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП установлено, что необходимо заменить первоначально выбранный тип силового трансформатора на ТП-4 с ТМ-1600/10 на актуальный тип, подтверждённый соответствующими расчётами – ТМ-1000/10. На всех остальных цеховых ТП результаты выбора трансформаторов остались без изменения.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Проводится расчёт токов короткого замыкания в сети 110 кВ и 10 кВ завода железобетонных изделий согласно методике и справочным материалам, приведённым в [7-9].

Так как в спроектированной системе электроснабжения завода железобетонных изделий применяется отдельный режим работы в нормальном и аварийном режимах с использованием резервирования и секционирования в сетях напряжением 110 кВ и 10 кВ, а также используются шесть двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ, каждый трансформатор которых питается от разных секций сборных шин 10 кВ ГПП, и, согласно исходных данных, имеется также высоковольтный АД бетоносмесительного цеха напряжением 10 кВ (графический лист 2), следовательно, две питающие линии 110 кВ, силовые трансформаторы ГПП и их нагрузка на напряжении 10 кВ при протекании токов короткого замыкания в любой точке будут находиться в равных условиях.

С учётом данного аспекта, составляется расчётная схема для расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения завода железобетонных изделий (рисунок 5, а). Расчёт проводится к одной из ТП системы электроснабжения завода железобетонных изделий (ТП-1).

По данной расчётной схеме составляется схема замещения, представленная на рисунке 5, б.

При этом на схеме замещения указываются сопротивления всех элементов и точки для расчётов токов КЗ.

Выбираются расчётные точки короткого замыкания К1 на стороне высшего напряжения подстанции (сеть 110 кВ) и точки К2, К3 и К4 на стороне низшего напряжения (сеть 10 кВ). При этом точка К2 расположена на шинах РУ-10 кВ ГПП, точка К3 – на выводах силового трансформатора цеховой ТП-1, точка К4 – на выводах АД 10 кВ.

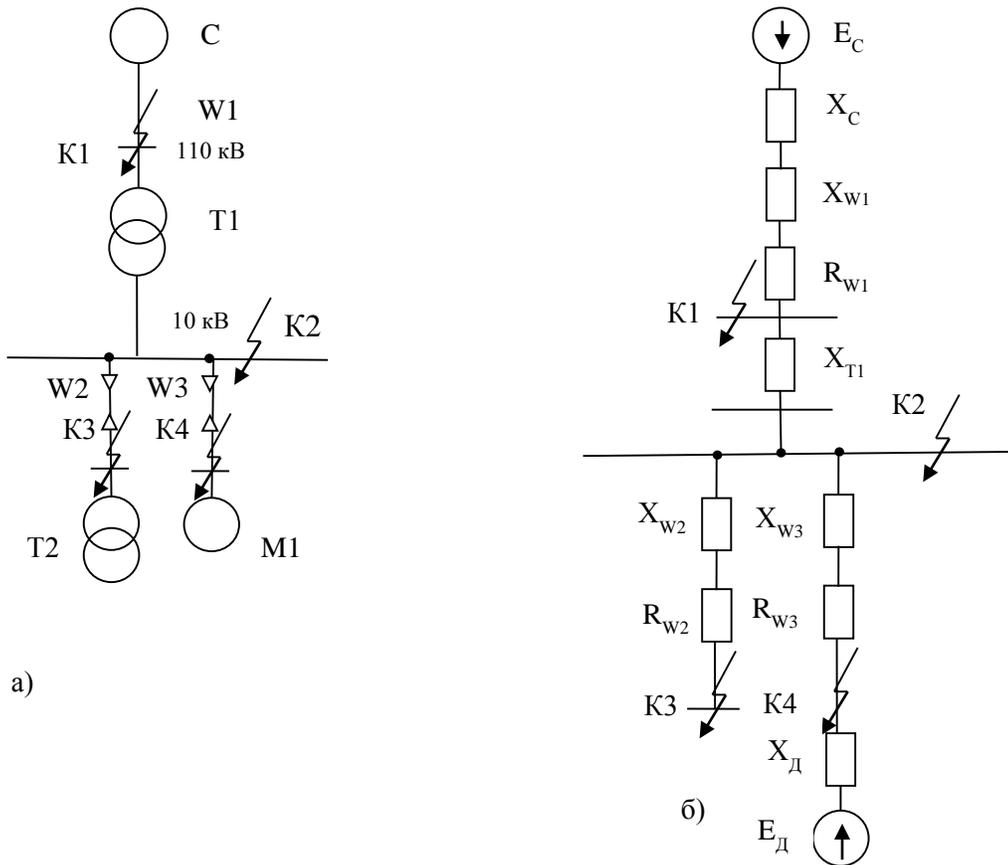


Рисунок 5 – Однолинейная расчетная схема (а) и схема замещения сети (б)

На схеме рисунка 2.5: С – система; Т1 – силовой трансформатор ГПП; Т2– силовой трансформатор ТП-1 (10/0,4 кВ); М1 – высоковольтный АД 10 кВ бетоносмесительного цеха.

Величина базисного напряжения $U_б$ принимается выше номинального напряжения сети на 5%.

Базисные условия:

$$S_B = 100 \text{ МВА}; U_{вн} = 115 \text{ кВ}; U_{нн} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Рассчитывается базисный ток для стороны высшего и низшего напряжения:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (23)$$

$$I_{B.BH} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,51 \text{ кА.}$$

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

Расчет параметров схемы проводится в относительных единицах.

Определяется сопротивление элементов схемы замещения.

Принимается значение $E_c=1$, соответственно, индуктивное сопротивление $x_c = 0,05$ о.е.

Индуктивное сопротивление воздушной линии W1:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (24)$$

где X_{W1} -удельное сопротивление воздушной линии, Ом/км;

L -длина линии, 6 км.

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление воздушной линии W1:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}. \quad (25)$$

где $R_{уд.W1}$ – удельное активное сопротивление воздушной линии [1].

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Находится индуктивное сопротивление трансформатора Т1 ГПП

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (26)$$

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

Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W3 с учётом их длины по (24):

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

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

Активное сопротивление кабельных линий W2-W3 с учётом их длины по (25):

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

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ о.е.}$$

Находятся токи подпитки от высоковольтного асинхронного двигателя бетоносмесительного цеха.

Рекомендовано принять в случаях, когда нет полных данных о действительных значениях сверхпереходных сопротивлений, нагрузке и других параметрах высоковольтных АД, следующие значения [13]

$$x_d'' = 0,2;$$
$$E_d = E'' = 0,9.$$

Исходные данные для расчёта сопротивления двигателя:

$$P_H = 630 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

Полная номинальная мощность АД

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (27)$$

$$S_H = \frac{630}{0,92 \cdot 0,85} = 711,5 \text{ кВА.}$$

Сопротивление высоковольтного двигателя:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.} \quad (28)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 711,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1.

Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (29)$$

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

Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1 проводится по выражению

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}. \quad (30)$$

Рассчитывается значение трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1. Асинхронные двигатели являются местными источниками питания и учитываются при непосредственной связи с точкой КЗ.

Так как точка КЗ К1 отделена одной ступенью трансформации от двигателей, то их подпитка в схеме замещения для точки К1 не учитывается.

Значит для точки К1

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 0,51 = 6,98 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (31)$$

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

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

Периодическая составляющая трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2:

$$I_{Д}^{(3)} = \frac{E''}{Z_{\Sigma k2}} \cdot I_{\sigma}. \quad (32)$$

$$Z_{\Sigma k2}' = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_{Д})^2 + R_{w3}^2}}. \quad (33)$$

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

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

Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2 с учётом подпитки от АД бетоносмесительного цеха:

$$I_{к2}^{(3)} = I_{к2БП}^{(3)} + I_{Д}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

Определяется полное сопротивление и ток КЗ в точке К3. Так как в работе принята радиальная схема для всех отходящих линий 10 кВ, следовательно, подпитка от АД в точке К3 не учитывается.

Для точки К3

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (34)$$

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

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

Для точки К4 (на выводах АД) необходимо учесть подпитку от АД, т.е.

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_D)^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (35)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 4БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

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

Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К4, с учётом подпитки от высоковольтного АД, расположенного в бетоносмесительном цеху:

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = I_{\kappa 4БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока трёхфазного КЗ:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (36)$$

где $K_{y\partial}$ – значение ударного коэффициента (по справочным данным) [7].

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке К1

$$I_{\text{уд.к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке
К2

$$I_{\text{уд.к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 9,37 = 18,55 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке
К3

$$I_{\text{уд.к3}} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,75 = 15,02 \text{ кА.}$$

Определяется значение ударного тока трёхфазного КЗ в расчётной точке
К4

$$I_{\text{уд.к4}} = \sqrt{2} \cdot 1,37 \cdot 7,36 = 14,26 \text{ кА.}$$

Расчет токов двухфазного короткого замыкания

$$I_{\text{к}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}. \quad (37)$$

Значение тока двухфазного КЗ в расчётных точках К1-К4

$$I_{\text{к1}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,37 = 8,11 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,75 = 6,71 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 7,36 = 6,37 \text{ кА.}$$

Полученные результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках системы электроснабжения завода приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов

Расчётная точка КЗ	U _Б , кВ	I _Б , кА	K _{уд}	I ⁽³⁾ , кА	I ⁽²⁾ , кА	I _{уд} , кА
К1	115	0,51	1,6	6,98	6,04	15,71
К2	10,5	5,5	1,4	9,37	8,11	18,55
К3	10,5	5,5	1,37	7,75	6,71	15,02
К4	10,5	5,5	1,37	7,36	6,37	14,26

Полученные результаты расчёта токов КЗ используются в работе далее.

2.7 Выбор и проверка сечения проводников

Максимальное значение рабочего тока в питающей воздушной линии напряжением 110 кВ:

$$I_{\text{раб.маx}} = K_{\text{пер}} \cdot \frac{S_{\text{ном.}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (38)$$

По условию (38)

$$I_{\text{раб.маx}} = 1,4 \frac{10000}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 36,7 \text{ A.}$$

Сечение питающей воздушной линии напряжением 110 кВ

$$F_W = \frac{I_{\text{раб.маx}}}{j_{\text{эк}}}, \text{ мм}^2, \quad (39)$$

По условию (39)

$$F_W = \frac{36,7}{1,1} = 33,4 \text{ мм}^2.$$

Для питающей воздушной линии напряжением 110 кВ принимается по условиям гололёда и коронирования минимально допустимое сечение провода, равное 70 мм², следовательно, выбирается провод марки АС-70/11.

В результате выполнения работы выбрана схема питания внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий с питанием от энергосистемы воздушной линией на напряжении 110 кВ с применением провода АС-70/11.

На ГПП предприятия установлены два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110, которые питают указанные воздушные линии 110 кВ.

Кабельные линии напряжением 10 кВ в работе прокладываются в земле от сборных шин ГПП до ЦТП.

Для выбора сечения кабеля рассчитывается рабочий ток кабельной линии нормального режима

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (40)$$

Максимальный расчётный ток линии (послеаварийный режим работы)

$$I_{p.маx} = 1,4 I_{p.маx} \quad (41)$$

Проверка сечения в послеаварийном режиме [1]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx} \quad (42)$$

где $I_{дон}$ – длительно – допустимый ток выбранного кабеля [1];

$I_{p.маx}$ – максимальный расчётный ток линии.

Выбор кабельных линий напряжением 10 кВ осуществляется непосредственно по экономической плотности тока таким образом:

$$F_9 = \frac{I_{p.}}{j_9} \quad (43)$$

Расчётные токи кабельных линий напряжением 10 кВ принимаются в зависимости от номинальной мощности трансформаторов, которые они питают. Также проводится расчёт линии к высоковольтному АД. Кроме того, в работе также рассчитываются токи в аварийном режиме работы, необходимые для проверки выбранных кабелей.

Расчёты и выбор кабельной линии проводится на примере линии ГПП-ТП-1.

Для кабельной линии ГПП-ТП-1 рабочий ток нормального режима

$$I_{p.} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ A.} \quad (44)$$

Максимальный расчётный ток линии (послеаварийный режим работы)

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 57,8 = 80,9 \text{ A.} \quad (45)$$

Результаты расчётов максимальных токов для остальных присоединений сети 10 кВ (ГПП-ТП) в нормальном и аварийном режиме работы системы электроснабжения завода сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчётов максимальных токов для присоединений сети 10 кВ (ГПП-ТП) в нормальном и аварийном режиме работы системы электроснабжения завода

Кабельная линия	$S_{\text{ном т}}$, кВА	$n_{\text{тр}}$, шт.	$I_{\text{р норм}}$, А	$I_{\text{р ав}}$, А
ГПП-ТП-1	1000	2	57,8	80,9
ГПП-ТП-2	2000	2	115,6	161,8
ГПП-ТП-3	2500	2	144,5	202,3
ГПП-ТП-4	1000	2	57,8	80,9
ГПП-ТП-5	1000	2	57,8	80,9
ГПП-ТП-6	2500	2	144,5	202,3
ГПП-АД	630	1	36,4	-

В работе выбираются кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки АПвБВнг(А)-LS, отличающихся хорошими технико-экономическими характеристиками и надёжностью.

Для кабеля, питающего ТП-1 завода от ГПП, выбирается силовой кабель марки АПвБВнг(А)-LS 3x25 с допустимым током нормального режима $I_{\text{дд}} = 94$ А.

Условия проверки для выбранного сечения кабеля, питающего ТП-1 завода от ГПП, выполняются

$$94 A \geq 35,6 A.$$

Остальные марки и сечения кабельных линий питающей сети напряжением 10 кВ проектируемого завода железобетонных изделий выбраны аналогично.

Результаты выбора остальных кабельных линий напряжением 10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора кабельных линий напряжением 10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий

№ п/п	Назначение КЛ	Длина, м	Выбор по экономической плотности тока			Марка кабеля	$I_{дд}, A$
			$I_{р\text{ норм}}, A$	$F_{э}, мм^2$	$F_{ст.}, мм^2$		
1	ГПП-ТП-1	160	57,8	22,3	25	АПвБВнг(А)-LS 3x25	94
2	ГПП-ТП-2	285	115,6	54,0	50	АПвБВнг(А)-LS 3x50	145
3	ГПП-ТП-3	310	144,5	40,1	35	АПвБВнг(А)-LS 3x50	145
4	ГПП-ТП-4	230	57,8	16,8	25	АПвБВнг(А)-LS 3x25	94
5	ГПП-ТП-5	150	57,8	25,1	25	АПвБВнг(А)-LS 3x25	94
6	ГПП-ТП-6	220	144,5	54,1	50	АПвБВнг(А)-LS 3x50	145
7	ГПП-АД	340	36,4	30,1	35	АПвБВнг(А)-LS 3x25	94

Выбранные кабели напряжением 10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий показаны на графических листах 1 и 2.

Узлы монтажа кабельных линий системы электроснабжения завода железобетонных изделий приведены на графическом листе 5.

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации присоединений напряжением 110 кВ и 10 кВ применяются высоковольтные выключатели, установленные в РУ 110 кВ и РУ 10 кВ ГПП завода железобетонных изделий.

В работе на стороне 110 кВ на ОРУ-110 кВ ГПП завода железобетонных изделий подлежат выбору следующие электрические аппараты:

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители;
- трансформаторы тока (если они не встроены в выключатели высокого напряжения);
- ограничители перенапряжения (ОПН).

В работе на стороне 10 кВ в РУ-10 кВ ГПП завода железобетонных изделий выбираются следующие электрические аппараты:

- выключатели высокого напряжения;
- трансформаторы тока (ТТ);
- трансформаторы напряжения (ТН);
- предохранители для защиты ТН;
- ограничители перенапряжения (ОПН).

Так как в РУ-10 кВ используются ячейки типа КРУ (комплектные распределительные устройства наружной установки), разъединители в них не устанавливаются, а функцию видимого разрыва выполняют втычные контакты.

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения в общем виде проводится по номинальным параметрам напряжения и рабочего тока [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (46)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n; \quad (47)$$

Также для отключающих аппаратов защиты проводятся следующие проверки:

- проверка на симметричный ток отключения

$$I_{nt} \leq I_{откл}; \quad (48)$$

- проверка на отключение асимметричного тока КЗ [7]

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (49)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}; \quad (50)$$

Также электрические аппараты высокого напряжения должны быть проверены на термическую и динамическую стойкости к токам КЗ:

- на электродинамическую устойчивость [6-8]:

$$i_y \leq i_{пр.с}; \quad (51)$$

- на термическую стойкость по значению теплового импульса [6-8]

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (52)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (53)$$

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в ОРУ-110 кВ и РУ-10 кВ завода железобетонных изделий. Для удобства выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ представлены в виде таблицы 11.

Таблица 11 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий

Наименование аппарата	Условие	Паспортные данные	Расчетные данные
Сторона 110 кВ (ОРУ-110 кВ ГПП)			
Выключатель элегазовый марки ВГБ-110 У1 со встроенными ГТ	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 2000$ А	$I_{р.ав} = 59,501$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 40$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 5,723$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 22,6$ кА	$i_{ат}^{(3)} = 4,225$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,377$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА ² ·с	$B_K = 8,351$ кА ² ·с
Разъединитель марки РНДЗ – 110/630 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 630$ А	$I_{р.ав} = 59,501$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100$ кА	$i_{уд} = 15,377$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800$ кА ² ·с	$B_K = 8,351$ кА ² ·с
Трансформатор тока марки ТРГ-110 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 100$ А	$I_{р.ав} = 59,501$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,377$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 3 = 4800$ кА ² ·с	$B_K = 8,351$ кА ² ·с
Заземлитель нейтрали марки ЗОН-110М- У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
Ограничитель перенапряжения ОПН-110У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
Сторона 10 кВ (РУ-10 кВ ГПП)			
Выключатель вакуумный марки ВРС-10-31,5/1000 У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{р.ав} = 654,511$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 31,5$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 28,672$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 31,5$ кА	$i_{ат}^{(3)} = 29,054$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{уд} = 75,014$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,75$ кА ² ·с	$B_K = 1339,964$ кА ² ·с
Трансформатор тока марки ТОЛ-10-800/5 У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 800$ А	$I_{р.ав} = 654,511$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{уд} = 75,014$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 50^2 \cdot 1 = 2500$ кА ² ·с	$B_K = 1339,964$ кА ² ·с
Ограничитель перенапряжения ОПНп-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
Трансформатор напряжения ЗНОЛ.06-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
Предохранитель для защиты марки ТН ПКН 001-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ

Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела работы, решены задачи:

- осуществлён расчёт электрических нагрузок цехов и предприятия;
- принято для установки на ГПП завода железобетонных изделий две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300 и два силовых трансформатора марки ТМН-10000-110/10У1;

- выбраны шесть цеховых ТП-10/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами марки ТМ. Установлено, что необходимо заменить первоначально выбранный тип силового трансформатора на ТП-4 с ТМ-1600/10 на актуальный тип, подтверждённый соответствующими расчётами – ТМ-1000/10. На всех остальных цеховых ТП результаты выбора трансформаторов остались без изменения;

- установлено, что на ТП-6 КУ не устанавливаются, так в результате расчёта получено отрицательное значение $Q_{\text{ку } y} = -377,5 \text{ квар} \leq 0$, следовательно, на данном ТП-6 необходимости в установке КУ нет;

- выбраны следующие проводники: питающая ВЛ-110 кВ – провод АС-70/11; кабельные линии от ГПП к цеховым ТП1-ТП3 – кабели марки АСБ-10(3х50); кабельные линии от ГПП к РП1 – кабели марки АСБ-10(3х25); кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ – кабели марки ВВГнг-LS различных сечений;

- выбраны следующие электрические аппараты: напряжением 110 кВ: выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформатор тока марки ТВТ-110, ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1; напряжением 10 кВ: выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48; трансформатор тока марки ТЛО-10; трансформатор напряжения марки НАМИ-10; ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

3 Расчет релейной защиты трансформаторов главной понизительной подстанции

3.1 Исходные данные

Исходными данными для расчёта релейной защиты трансформаторов главной понизительной подстанции является тип силового трансформатора, а также типы устройств релейной защиты, применяемые в работе для защиты силового трансформатора ГПП.

Согласно результатам расчёта, приняты два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА типа ТДН-10000/110 для установки на ГПП завода железобетонных изделий.

Для защиты силовых трансформаторов ГПП применяются следующие виды защит, выполненные на основе микропроцессорного блока БМРЗ:

- дифференциальная защита (ДЗ);
- максимальная токовая защита (МТЗ);
- токовая отсечка (ТО);
- защита от однофазных КЗ (ЗОЗ).

Согласно [1,18,19], к релейной защите и автоматике (РЗаА) систем электроснабжения предъявляются следующие основные требования:

- быстродействие;
- надёжность;
- селективность (избирательность);
- минимизация времени и затрат на монтаж, обслуживание и ремонт (экономичность).

Современные микропроцессорные устройства РЗаА, пришедшие на смену устаревшим электромагнитным, электромеханическим и индукционным реле, в полной мере отвечают данным требованиям [18,19]. В основе современных

микропроцессорных РЗиА лежат надёжные и компактные интегральные микросхемы, которые имеют значительное преимущество перед устаревшими типами реле, указанными выше [18,19].

Последнее поколение микропроцессорных РЗиА выполняется в виде многофункциональных блоков (многоцелевые устройства), в которых объединены функции многих защит, устройств автоматики и сигнализации.

Использование последних позволяет значительно уменьшить габариты устройств РЗиА, а также сократить затраты и время на монтаж, обслуживание и ремонт. Кроме того, по показателям надёжности и быстродействия современные микропроцессорные блоки защит значительно превосходят устаревшие аналоги на индукционной и электромагнитной базе.

На основе приведённых исходных данных далее в работе проводится расчёт основных типов защиты трансформаторов ГПП.

3.2 Расчёт основных типов защиты трансформаторов ГПП

Для расчёта основных типов защиты трансформаторов ГПП, необходимо рассчитать значение максимального рабочего тока с учётом подключения дополнительной нагрузки:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс}(н)} + I_{\text{раб.макс}(д)}. \quad (69)$$

При этом

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = K_o \cdot K_3 I_{\text{max}} \quad (70)$$

В работе принимается равенство основной и дополнительной нагрузки при расчёте максимального рабочего тока

$$I_{\text{раб.макс}(\partial)} = I_{\text{раб.макс}(\text{н})} \quad (71)$$

Для трансформатора ГПП на стороне ВН:

$$I_{\text{раб.макс}(\partial)} = I_{\text{раб.макс}(\text{н})} = 23,84 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 23,84 + 23,84 = 47,68 \text{ А.}$$

Кроме того, необходимо рассчитать коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Вторичный ток трансформаторов тока в работе для всех защит принимается равным 5 А.

Значение первичного номинального тока трансформаторов тока выбираются по номинальной шкале, исходя из значения максимального рабочего тока.

Для силового трансформатора ГПП на стороне ВН (110 кВ) $I_{\text{раб.макс}} = 47,68$ А, следовательно, $I_{\text{ном.ТТ1}} = 50$ А и $K_T = 50/5 = 10$.

Все защиты силового трансформатора ГПП устанавливаются на стороне 10 кВ трансформатора, потому что рабочий ток на стороне 10 кВ больше, чем на стороне 110 кВ.

Кроме того, на стороне 110 кВ для защиты трансформатора также применяется РЗ питающей ВЛ-110 кВ (по условиям резервирования и селективности).

Ток срабатывания МТЗ [18] определяется, исходя из двух условий.

Первое условие:

$$I_{c.3} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}}{K_{\epsilon}}. \quad (72)$$

Значение тока уставки микропроцессорного реле МТЗ [18,19]

$$I_{c.p} \geq \frac{K_{cx}^{(3)}}{K_m} \cdot I_{c.3}, \quad (73)$$

где $K_{cx}^{(3)}$ - коэффициент схемы.

Второе условие:

$$I_{c.3} \geq K_{отс} \cdot (I_{раб.макс(н)} + K_{сзн} \cdot I_{раб.макс(д)}). \quad (74)$$

Коэффициент чувствительности [19]

$$K_{\epsilon} = \frac{K_{cx}^{(к)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{c.3}} \geq 1,5. \quad (75)$$

где $I_{к.мин}^{(к)}$ - минимальный ток КЗ (ток двухфазного КЗ).

Для МТЗ трансформатора ГПП

$$I_{c.3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,62 \cdot 524,4}{0,8} = 1168,1 \text{ А.}$$

$$I_{c.p} \geq \frac{1}{120} \cdot 1168,1 = 9,7 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле $I_{c.p} = 10 \text{ А}$.

Условия проверки по второму условию выполняется:

$$1168,1 \text{ А} \geq 1,3 \cdot (262,2 + 1,5 \cdot 262,2) = 852,15 \text{ А}.$$

Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора ГПП достаточен

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{7210}{1168,1} = 6,17 > 1,5.$$

Для МТЗ трансформатора ГПП принято: $I_{c.з} = 1168,1 \text{ А}$, $I_{c.p} = 10 \text{ А}$, время срабатывания (с условием селективности) – 1 с.

Ток срабатывания ДЗ трансформатора ГПП

$$I_{c.з} \geq \frac{K_{отс} \cdot K_n \cdot I_{раб.макс}}{K_g}. \quad (76)$$

Время срабатывания ДЗ трансформатора ГПП

$$t_{c.з} = 0,4 \text{ с}.$$

Коэффициент чувствительности ДЗ трансформатора ГПП

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(\kappa)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{c.з}} \geq 2. \quad (77)$$

$$I_{c.з} \geq \frac{1,1 \cdot 1 \cdot 524,4}{0,8} = 721,1 \text{ А}.$$

Ток уставки микропроцессорного реле ДЗ трансформатора ГПП

$$I_{c.p} \geq \frac{1}{120} \cdot 721,1 = 6,0 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле $I_{c.p} = 6,0 \text{ А}$.

Коэффициент чувствительности ДЗ трансформатора ГПП достаточен

$$K_u = \frac{1}{1} \cdot \frac{7210}{721,1} \approx 10,0 > 2.$$

Для ЗОЗ силового трансформатора ГПП принято [1,18,19]

$$I_{c.z.3O3} = 100(\text{А}); t_{c.z.3O3} = 1,0(\text{с}).$$

Полученные значения уставок РЗ силового трансформатора ГПП приведены на графическом листе 4.

Выводы по разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы, выбраны уставки релейной защиты для защиты силового трансформатора ГПП: максимальная токовая защита (МТЗ), дифференциальная токовая защита (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

4 Техника безопасности и охрана труда

4.1 Обеспечение техники безопасности на предприятии

Организация работ и ответственность за проведение всех мероприятий по охране труда, на основании [5], в системе электроснабжения завода железобетонных изделий, возложена на технического руководителя предприятия (главного инженера).

При выполнении работ в системе электроснабжения завода железобетонных изделий необходимо неукоснительно придерживаться следующих правил и требований [2,3]:

- техники безопасности при выполнении работ в электроустановках;
- пожарной безопасности;
- экологической безопасности.

Поэтому в первую очередь при допуске к выполнению работ обслуживающий персонал должен знать и уметь выполнять все требования нормативных документов по охране труда и технике безопасности [2,3].

Известно, что понизительные подстанции высокого напряжения являются источниками повышенной опасности как для обслуживающего персонала, так и для флоры и фауны. В виду этого, при выполнении работ в системе электроснабжения завода железобетонных изделий, необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности и охране труда в целом, а также нормы экологической безопасности [2,3,12].

Как правило, поражение электрическим током в сетях и на понизительных подстанциях в системе электроснабжения завода железобетонных изделий возникает в таких случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);

- при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий;

- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);

- при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

- опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с разъединителями, заземляющими ножами;

- возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;

- опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

- при коротких замыканиях;
- при прямых попаданиях молнии;
- при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;

- при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгоранием;

– при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

Соблюдение трудовой дисциплины является основой по технике безопасности при выполнении любых работ в электроустановках.

Согласно действующему законодательству, администрация обязана проводить инструктаж всех работников по безопасным приемам выполнения работ.

Согласно положениям [18], для рабочих проводятся по технике безопасности вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

Для обеспечения выполнения мероприятий по технике безопасности на предприятии существуют определенные требования к персоналу.

Существует 5 групп по электробезопасности. Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды. Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

Рабочий персонал должен соблюдать правила техники безопасности, так как нарушение правил эксплуатации и ремонта может привести не только к поломке технологического оборудования, но и к несчастным случаям.

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

Для этого необходимо выключить коммутационный аппарат и отключить установку от сети.

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий, выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту.

Проведение работы по ремонту электрооборудования необходимо проводить с помощью неповрежденного инструмента, который проверен на рабочем месте перед тем как его использовать, а также срок проверки инструмента в лаборатории нормоконтроля не просрочены.

Электротехнический персонал в системе электроснабжения завода железобетонных изделий, на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований [1-4,18] и инструкций по охране труда.

В случае поручения работы, которая не входит в круг его профессиональных обязанностей, работник должен получить по этой работе соответствующий инструктаж по записи в журнале целевого инструктажа.

Известно, что работы в электроустановках могут выполняться по наряду-допуску или по распоряжению, при полностью снятом напряжении, частично снятом либо без снятия напряжения с токоведущих частей.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках системы электроснабжения завода железобетонных изделий, всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

Для защиты от электрического тока при прикосновении к токоведущим цепям оперативного тока, применяются изолированные провода.

Аппаратура релейной защиты на постоянном оперативном токе расположена в специальных шкафах. При замыкании или повреждении оперативных цепей осуществляется их контроль и защиту.

Для защиты от опасности при переходе напряжения с высокой стороны на низкую вторичные цепи измерительных трансформаторов заземлены.

Контроль и защиту при КЗ на землю и повреждении изоляции выполняет система релейной защиты, автоматики и сигнализации.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен хорошо знать правила противопожарной безопасности и пожаротушения электрооборудования цеха или других подразделений завода.

При появлении дыма, огня, в электрооборудовании и электропроводке необходимо немедленно отключить аварийный сектор, предупредить пожарную команду при распространении пожара на оборудование или невозможно погасить очаг пожара собственными средствами.

Для предотвращения пожара или обнаружения неисправности, возможных от КЗ, перегрузок, повреждения или перегрева изоляции применяют максимальная токовая защита (МТЗ), защита от перегрузок, защита от замыканий на землю и контроль изоляции.

В сети 110 кВ на питающей ВЛ-110 кВ и ОРУ-110 кВ электрической сети понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий, есть фактор повышенной напряжённости поля, который негативно влияет на организм людей.

Поэтому работы в указанных электроустановках все работы по монтажу, обслуживанию и ремонту оборудования и сетей следует производить в специальных экранирующих костюмах, а также необходимо свести к минимуму время пребывания людей на указанных объектах.

Снятие базового заземления проводится заранее определенной выдающим наряд бригадой с заземлением проводов всех фаз на контур заземления опоры или групповой заземлитель.

Эти операции необходимо выполнять, как правило, с заземлением линий в настоящее время.

Работы следует выполнять под контролем дежурного диспетчера с записью в оперативном журнале и оформлением в наряде.

Допускается также выполнять установку и снятие базового заземления без заземления линии.

Однако в этом случае разрешение на установку базового заземления, подготовку рабочего места и допуск бригады к работе выдается одновременно.

Выполнение таких работ может быть допущено только по решению главного инженера с оформлением в оперативном журнале и наряде [2,3,11].

Особо следует сказать о роли защитного заземления в сетях ПС-110/10 кВ и его влияние на поражение человека электрическим током.

Однако накопленный десятилетиями опыт работ в электроустановках позволяет говорить о том, что в подавляющем большинстве случаев на понизительных подстанциях энергосистемы требуется применение защитного заземления (заземляющего устройства).

Заземляющее устройство состоит из совокупности электрически соединенных заземлителей и заземляющих проводников.

В качестве искусственных вертикальных заземлителей чаще всего применяют прутковую сталь диаметром 12 - 20 мм при длине 5 - 6 м; углубление делают вкручиванием.

Между собой заземлители заземляющего устройства соединяют на глубине 0,5 - 0,7 м с помощью сварки стальной полосой размерами не менее 40x4 мм или прутком диаметром 10 - 12 мм.

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с частями электроустановки, которые заземляются.

Каждый элемент заземляется и должен быть подключен к сети заземления отдельным ответвлением (заземляющим проводником), а внутреннюю заземляющую сеть следует соединить с внешним заземляющим контуром не менее, чем в двух местах [4].

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяют один

общий заземляющий контур, сопротивление которого принимается равным сопротивлению той установки, где он является минимальным [4].

Приведённые мероприятия обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

Известно, что понизительные подстанции являются источниками повышенной опасности для флоры и фауны [12].

При вводе в эксплуатацию ВЛ-110 кВ, питающих ОРУ-110 кВ понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий, должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень допусков.

С целью предупреждения ухудшения экологической обстановки и возникновения опасности для здоровья и жизни людей от указанных объектов, представляющих повышенную экологическую опасность, осуществляется комплекс взаимосвязанных мероприятий.

Надежным средством обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике должен стать механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, выработанных в [21-25], включающий составляющие:

- законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- функционально-правовое обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- экономический механизм обеспечения такой безопасности;
- юридическая ответственность как средство обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике.

Установлены требования к нормативам предельно допустимых выбросов, закреплено дополнительные обязанности предприятий, в том числе [20]: регулирование уровней воздействия физических факторов на состояние атмосферного воздуха (ст. 12), а также меры по предотвращению и снижению производственных шумов (ст. 21).

В зависимости от вида электроустановок, принято выделять и виды техногенных воздействий, в которых присутствует экологический риск.

Так, негативным влиянием энергетики на элементы окружающей среды, а также уровень жизни и здоровья людей, являются [2,3,11]:

- выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;
- ухудшение видимости атмосферы;
- запыленность атмосферного воздуха;
- выпадение осадков и кислотных дождей;
- разрушение озонового слоя;
- влияние шума объектов энергетики на окружающую среду;
- загрязнения подземных и поверхностных вод.

Негативное влияние линий электропередач высокого напряжения (в частности, ВЛ-110 кВ понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий) сказывается во вредном влиянии на людей электромагнитных полей линий электропередач высокого напряжения [2,3,11].

Но при условии наступления серьезных повреждений (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

Итак, экологический риск от негативного влияния понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий и линий электропередач 110 кВ на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и физическими

факторами, загрязнение водных и земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения понизительной подстанции ГПП завода железобетонных изделий.

4.2 Расчет молниезащиты главной понизительной подстанции

Известно, что прямые удары молнии в оборудование понизительных подстанций влекут тяжёлые последствия для оборудования и сетей, так как вследствие возникших значительных атмосферных перенапряжений они могут выйти из строя, иногда без возможности восстановления.

В результате без питания могут остаться важнейшие потребители подстанций, что недопустимо согласно требованиям [1-4].

Поэтому для обеспечения надёжности электроснабжения в работе необходимо провести расчёт молниезащиты ГПП завода железобетонных изделий.

От прямых ударов молний должны защищаться все ответственные электроприемники.

ОРУ-110 кВ можно защищать одиночными стержневыми молниеотводами, кроме разрядников, как более ответственные сооружения, тем более, ОРУ-110 кВ питает потребителей первой категории.

Линии напряжением до 110 кВ включительно защищать от прямых попаданий молний не рекомендуется по экономическим соображениям [18].

Необходимо помнить, что здание, сооружение будет защищено от ударов молний только в том случае, когда они будут находиться в определенной сфере,

называемой зоной защиты – пространстве, внутри которого объект защищен от ударов молний.

На примере защиты от прямых попаданий молний выполним расчет защиты подстанции 110/10 кВ, который сводится к определению параметров молниезащиты, а именно: высоты молниеотвода, радиусов зон защиты на уровне высшей точки объекта и уровне земли.

Территория подстанции имеет прямоугольную форму с размерами: длина $L=33,6$ м, ширина $S=33,6$ м, наибольшая высота объекта $h_0 = 8.5$ м.

Делим территорию ГПП завода железобетонных изделий на четыре равные части и на расстоянии 5 м от ограждения, внутри подстанции, устанавливаем молниеотвод.

Для молниезащиты ГПП завода железобетонных изделий принимается четыре стержневых молниеотвода, установленные по периметру понизительной подстанции.

Определим радиус защиты на уровне 8,5 м.

$$r_x = a + y, \quad (8.2)$$

где $y=1 \dots 2$ м

$$r_x = 29,8 + 2 = 31,8 \text{ м.},$$

Определим высоту молниеотвода – h :

$$h = r_x / 1.5 + h_0 / 0.92, \text{ м.} \quad (8.3)$$

$$h = 31,8 / 1,5 + 8,5 / 0,92 = 30,4 \text{ м.}$$

Определим активную высоту молниеотвода – h_a :

$$h_a = 0,92 \cdot h, \text{ м.} \quad (8.4)$$

$$h_a = 0,92 \cdot 30,4 = 27,96 \text{ м.}$$

Определим радиус зоны защиты на уровне земли – r_0 :

$$r_0 = 1,5 h, \text{ м.} \quad (85)$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 30,4 = 45,6 \text{ м.}$$

Система молниезащиты ГПП предприятия завода железобетонных изделий состоит из четырёх основных (базовых) стержневых молниеотводов, расположенных по периметру защищаемой ГПП предприятия.

Параметры молниезащиты ГПП в работе выбраны, исходя из радиуса действия молниеотвода, активной высоты молниеотвода, высоты наиболее высоких элементов ОРУ-110 кВ, фактической высоты молниеотвода, а также расстояния между молниеотводами с учётом плана размещения их на территории ГПП предприятия.

Детально представлен план расположения объектов молниезащиты ГПП предприятия завода железобетонных изделий с учётом выбранных типов молниеотводов, расстояний между ними, а также их зоной защиты.

Высота молниеотводов в вертикальной плоскости, схема расположения и зона защиты молниеотводов в горизонтальной плоскости приведены на рисунке 10.

Схема расположения спроектированной молниезащиты ГПП завода железобетонных изделий от прямых ударов молнии представлена на графическом листе 6.

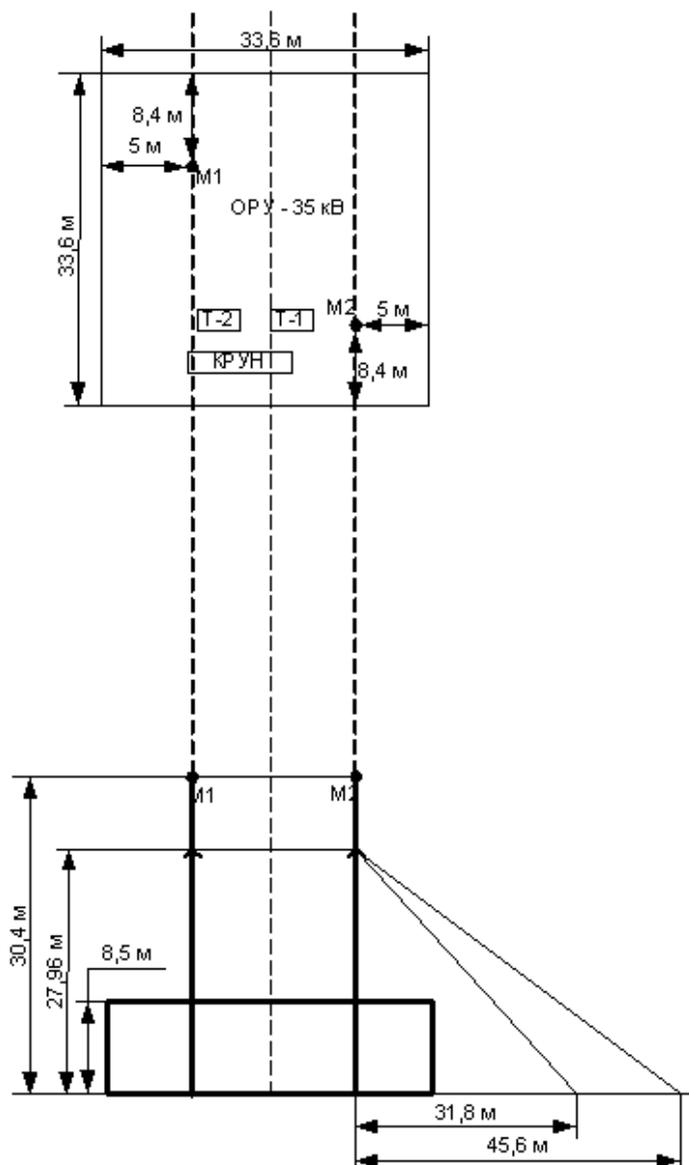


Рисунок 10 – Высота молниеотводов в вертикальной плоскости, схема расположения и зона защиты молниеотводов в горизонтальной плоскости

Выводы по разделу 4

В результате выполнения четвёртого раздела работы, описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности в системе электроснабжения предприятия. Рассчитана молниезащита ГПП предприятия с применением четырёх стержневых молниеотводов.

Заключение

В результате выполнения работы спроектирована система электроснабжения завода железобетонных изделий.

Осуществлён выбор напряжения внешнего и внутреннего электроснабжения, при этом для внешнего электроснабжения применяется номинальное напряжение 110 кВ по радиальной схеме, внутреннее электроснабжение осуществляется на напряжениях 10 кВ по радиальной схеме (питающая сеть) и 0,38/0,22 кВ по радиальной и магистральной схемам (распределительная сеть).

На основании результатов расчёта нагрузок цехов и завода железобетонных изделий в целом, на основании принятых методик, в работе решены следующие задачи:

- на основании исходных технических данных, а также фактического расположения объектов на территории завода железобетонных изделий, осуществлён расчёт электрических нагрузок цехов и предприятия;

- принято для установки на ГПП завода железобетонных изделий две конденсаторные установки марки УКРМ-6,3 (10,5)-300;

- выбраны для установки на ГПП предприятия два силовых трансформатора марки ТМН-10000-110/10У1;

- выбраны шесть цеховых ТП-10/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами марки ТМ;

- в результате установки КУ и проведения проверочного расчёта мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП установлено, что необходимо заменить первоначально выбранный тип силового трансформатора на ТП-4 с ТМ-1600/10 на актуальный тип, подтверждённый соответствующими расчётами – ТМ-1000/10. На всех остальных цеховых ТП результаты выбора трансформаторов остались без изменения;

– установлено, что на ТП-6 КУ не устанавливаются, так в результате расчёта получено отрицательное значение $Q_{куу} = -377,5$ квар ≤ 0 , следовательно, на данном ТП-6 необходимости в установке КУ нет [4]. Следовательно, марка силовых трансформаторов и их номинальная мощность на ТП-6 также не изменяются;

– рассчитаны токи короткого замыкания;

– выбраны следующие проводники: питающая ВЛ-110 кВ – провод АС-70/11; кабельные линии от ГПП к цеховым ТП1-ТП3 – кабели марки АСБ-10(3х50); кабельные линии от ГПП к РП1 – кабели марки АСБ-10(3х25); кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ – кабели марки ВВГнг-LS различных сечений;

– выбраны следующие электрические аппараты: напряжением 110 кВ: выключатель марки ЛТВ-145D1/В-31,5/2000, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформатор тока марки ТВТ-110, ограничители перенапряжений типа ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1; напряжением 10 кВ: выключатель марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48; трансформатор тока марки ТЛО-10; трансформатор напряжения марки НАМИ-10; ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1.

Выбраны уставки релейной защиты для защиты силового трансформатора ГПП: максимальная токовая защита (МТЗ), дифференциальная токовая защита (ДЗ), защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности в системе электроснабжения предприятия. Рассчитана молниезащита ГПП предприятия с применением четырёх стержневых молниеотводов. В разработанной системе электроснабжения завода железобетонных изделий неукоснительно соблюдаются установленные нормы качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также надёжности, экономичности, безопасности и экологичности.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
2. Вахнина, В. В. Электроэнергетика и электротехника. Выполнение бакалаврской работы: электронное учебно-методическое пособие / В. В. Вахнина, О. В. Самолина, А. Н. Черненко. - Тольятти [Электронный ресурс]: URL: <https://dspace.tltsu.ru/xmlui/handle/123456789/18603/> (дата обращения: 25.08.2021).
3. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
4. Жежеленко И. В., Саенко Ю. Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2015. 261 с.
5. Кабели АПвБВнг(А)-LS - Расшифровка, Характеристики и все Сечения (k-ps.ru). [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvbvng-ls-10kv/> (дата обращения: 25.08.2021).
6. Кудрин, Б. И. Электроснабжение / Б.И. Кудрин. - М.: Academia, 2018. 352 с.
7. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
8. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
9. 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, 2016. 608 с.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. - М: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.

11. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

12. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

13. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

14. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

15. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. Т. 1. - Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова - М: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.

16. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.

17. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. - 2-е изд. - М.: Форум, 2018. 142 с.

18. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. – М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020