

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 кирпичного завода

Обучающийся

Е. Е. Ворошилов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В. С. Романов

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

Тольятти 2023

Аннотация

«Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения» [4] объекта строительной промышленности на примере кирпичного завода, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

«Для качественной реализации основной цели работы, решены следующие поставленные задачи» [4]:

- «анализ исходных данных по объекту исследования» [4];
- «проектирование системы электроснабжения кирпичного завода с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта» [4]. Также выбору подлежат проводники в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети. Принятые в работе решения обязательно проверяются на термическую и динамическую стойкость к максимальным токам короткого замыкания, рассчитанным в работе;
- расчёт и моделирование аварийности в сети 35 кВ на ГПП в системе электроснабжения кирпичного завода.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных	6
1.1 Анализ исходных данных на проектирование	6
1.3 Анализ требований к проектированию систем электроснабжения предприятий строительной промышленности.....	10
2 Проектирование системы электроснабжения кирпичного завода.....	18
2.1 Выбор рациональных номинальных напряжений в системе электроснабжения кирпичного завода	18
2.2 Выбор схемы электроснабжения кирпичного завода	19
2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения кирпичного завода	24
2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП	30
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	32
2.6 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП.....	39
2.7 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения	40
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	46
3 Анализ аварийности на ГПП кирпичного завода	54
Заключение	61
Список используемых источников.....	64

Введение

Современное цивилизованное общество невозможно представить без зданий и сооружений, которые используются в качестве промышленных, жилых, коммунальных объектов, а также объектов культурного наследия.

Для строительства зданий и сооружений необходимы строительные материалы, которые составляют основу строительства.

Данные материалы и изделия производятся на предприятиях строительной промышленности.

Отрасль производства строительных материалов в России является одной из предполагаемых строительной промышленности и имеет потенциал для развития.

Отрасль производства строительных материалов в России является одной из отраслей строительной промышленности и имеет значительный потенциал для развития.

Среди свойств, которые влияют на развитие данной отрасли, можно выделить:

- рост строительной отрасли в целом. Развитие производства строительных материалов в России связано со значительным ростом объемов строительства в целом, что ожидается в ближайшие годы;
- наличие сырьевых ресурсов. Россия имеет значительные запасы природных ресурсов, необходимых для производства строительных материалов, включая камни, песок, глину, керамику, цемент и прочие материалы;
- поддержка государства. В России государственные программы поддержки производства строительных материалов, направленные на улучшение технологий, повышение качества продукции и содействие экспорту;
- модернизация производства. На сегодняшний день в России уже внедрены новые технологии производства, что позволяет увеличить производство и качество продукции, снизить затраты и произвести

производство более экологически чистых материалов;

- развитие экспорта. Российские производители строительных материалов имеют потенциал для экспорта, что может стать стимулом для развития данной отрасли в целом.

Таким образом, перспективы производства строительных материалов в России имеют перспективу для развития, что может привести к росту экономики страны в целом.

«Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения объекта строительной промышленности на примере кирпичного завода, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [7].

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть проектируемой системы электроснабжения кирпичного завода» [7].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта исследования, а также её составные части – питающая и распределительная сеть» [7].

Для качественной реализации цели работы, решаются следующие поставленные задачи:

- «анализ исходных данных по объекту исследования» [4];
- «проектирование системы электроснабжения кирпичного завода с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов на всех звеньях электрической сети объекта» [4]. Также выбору подлежат проводники в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети. Принятые в работе решения обязательно проверяются на термическую и динамическую стойкость к максимальным токам короткого замыкания, рассчитанным в работе;
- расчёт и моделирование аварийности в сети 35 кВ на ГПП в системе электроснабжения кирпичного завода.

При решении в работе указанных задач, основная цель будет достигнута.

1 Анализ исходных данных

1.1 Анализ исходных данных на проектирование

Как было указано ранее, кирпичный завод специализируется на производстве кирпичных изделий из смеси обожжённой глины, песка, цемента и прочих материалов.

На кирпичном заводе планируется производство полного цикла, включающее производство кирпичей различных типов, видов и назначения.

«Исходя из технологии и необходимости производства, на проектируемом кирпичном заводе, планируется производить следующие виды продукции» [3]:

- строительные кирпичи – являются основой для строительства несущих стен, выдерживая нагрузку всего здания, делятся на цельные и пустотелые виды;
- облицовочные (силикатные) кирпичи – применяются для облицовки зданий и сооружений с целью придания фасаду устойчивости, теплоизоляции, а также эстетичности с параллельным повышением надёжности и устойчивости;
- гиперпрессованные кирпичи – применяются исключительно для отделочных работ для зданий и сооружений, а также прочих строительных конструкций (кирпичных оград, заборов, парапетов, лестниц и прочих объектов);
- клинкерные кирпичи – применяются в дорожном строительстве, имеют несколько разновидностей форм и размеров.

Внешний вид и конструкция основных типов кирпичей, которые планируется производить на проектируемом кирпичном заводе, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид и конструкция основных типов кирпичей, которые планируется производить на проектируемом кирпичном заводе

На кирпичном заводе применяются несколько технологий изготовления готовой продукции. Основные различия присутствуют в технологическом процессе изготовления керамического (строительного и клинкерного) и облицовочного (силикатного) типов кирпичей.

Технологическая схема «изготовления керамических кирпичей представлена на рисунке 2» [3].

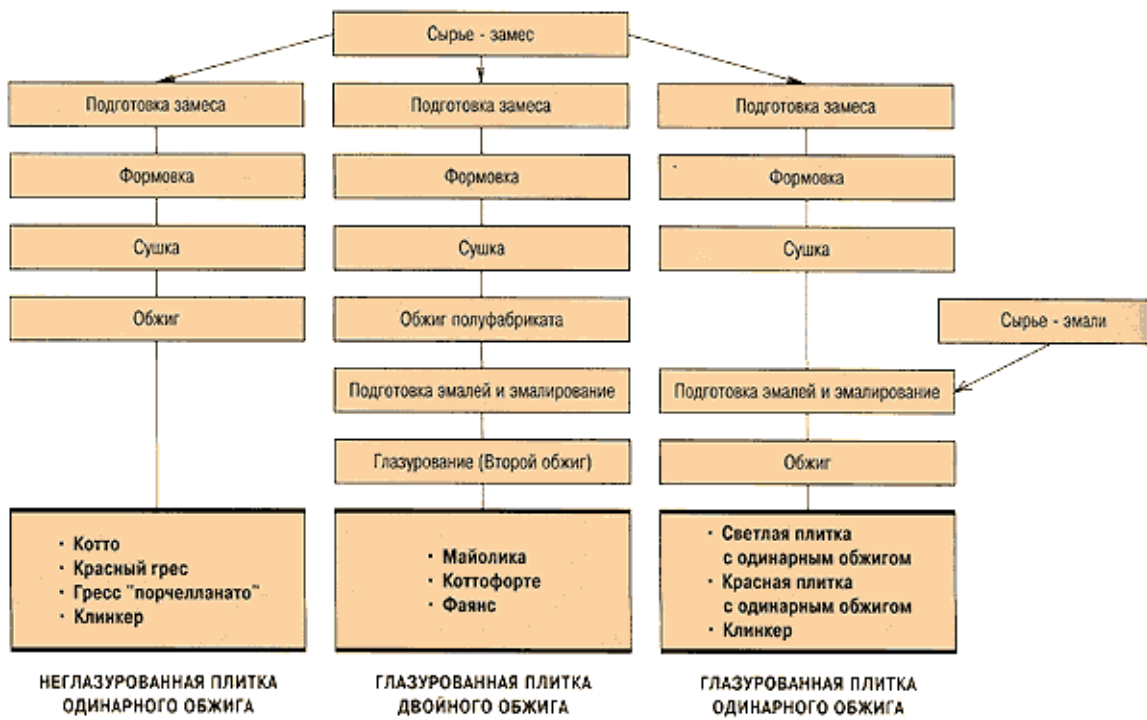


Рисунок 2 – Технологическая схема изготовления керамических кирпичей

«Технологическая схема процесса изготовления облицовочных (силикатных) кирпичей представлена на рисунке 3» [8].

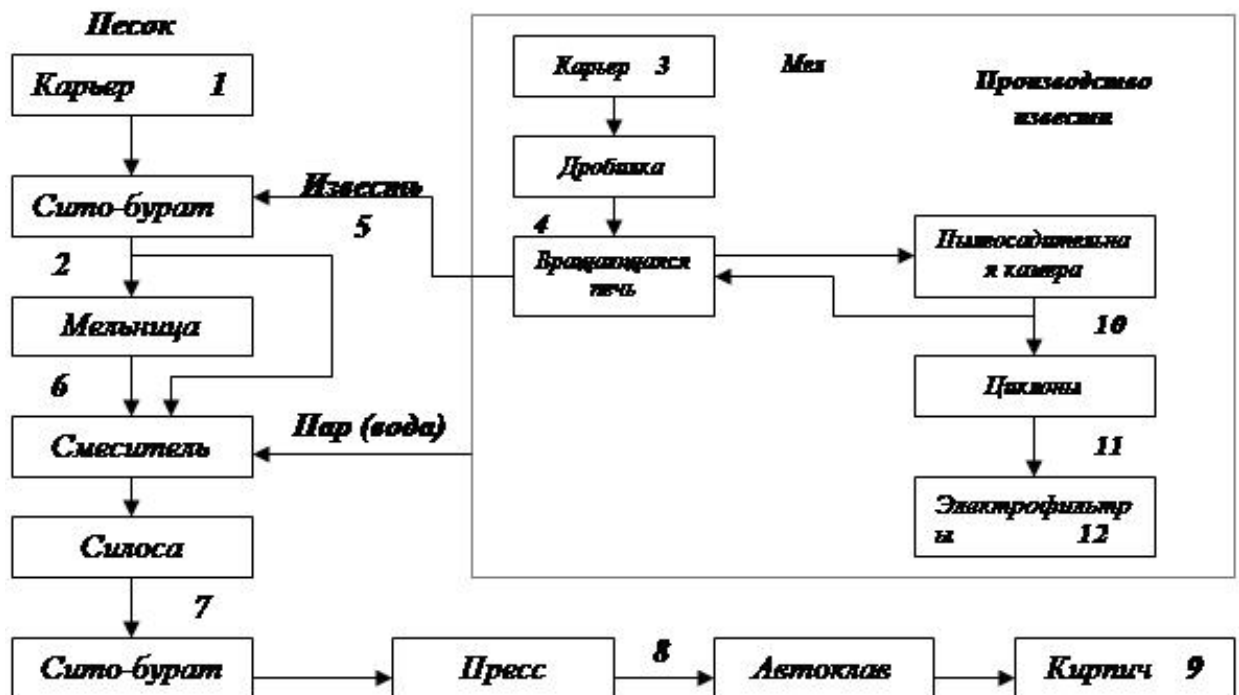


Рисунок 3 – Технологическая схема изготовления облицовочных (силикатных) кирпичей

Технология производства гиперпрессованного типа кирпичей похожа на технологию изготовления керамических кирпичей, однако применяется без обжига, который заменён прессованием массы под высоким давлением с последующим «дозреванием» готовой продукции.

«К основным производственным цехам и участкам кирпичного завода относятся» [2]:

- цех производства керамических кирпичей;
- цех производства облицовочных кирпичей;
- цех сушки и дозревания готовой продукции.

Данные цеха являются основными производственными подразделениями проектируемого кирпичного завода.

В таблице 1 указывается классификация подразделений по их принадлежности к основному технологическому процессу.

Таблица 1 – Исходные технические данные кирпичного завода

Наименование цеха (участка)	Категория надёжности цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт
Цех производства керамических кирпичей	I	590
Цех производства облицовочных кирпичей	I	1000
Цех сушки и дозревания готовой продукции	I	390
Компрессорная	I	190
Лаборатория контроля качества	II	660
Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	930
Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	200
Административное здание	III	150
Торгово-выставочный комплекс	III	83
Склады	III	70
Насосная:	I	
а) 0,4 кВ		40
б) АД 10 кВ		2×400=800
Всего по кирпичному заводу	-	5103

Таким образом, на проектируемом в работе кирпичном заводе, планируется внедрить безотходную технологию производства, при которой рационально и планомерно будут использованы всё сырьё, продукты и материалы.

1.3 Анализ требований к проектированию систем электроснабжения предприятий строительной промышленности

Известно, что к системам электроснабжения предприятий строительной промышленности применяются следующие основные требования и нормы, обусловленные их природой:

- обеспечение питания потребителей систем электроснабжения согласно принятым и утверждённым схемам электроснабжения;
- высокое качество поставляемой электроэнергии потребителям, недопущение поступления в сеть электроэнергии с предельно-допустимыми параметрами и недопустимыми отклонениями;
- надёжность электроснабжения потребителей, отсутствие значительных аварийных режимов в системе электроснабжения;
- бесперебойность систем электроснабжения, недопущение значительного перерыва в снабжении потребителей электроэнергией (допустимый перерыв определяется категорией надёжности и детально рассмотрен в работе далее);
- применение защит, блокировок и прочих автоматических сигнализаторов для недопущения аварийного режима на всех звеньях электрической сети систем электроснабжения;
- автоматизация всех участков и звеньев электрической сети систем электроснабжения;
- обеспечение достаточного резервирования в схеме в случае потери электроснабжения, путём применения совокупности схемных решений, автоматики и новейшего быстродействующего коммутационно-защитного оборудования.

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

- главная понизительная подстанция (ГПП) – как правило, это

подстанции глубокого ввода классами напряжения 330(220,110,35)/35,10(6) кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;

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

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

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

Все перечисленные принципы распределения электроэнергии в системах электроснабжения классического типа, представлены на рисунке 4.

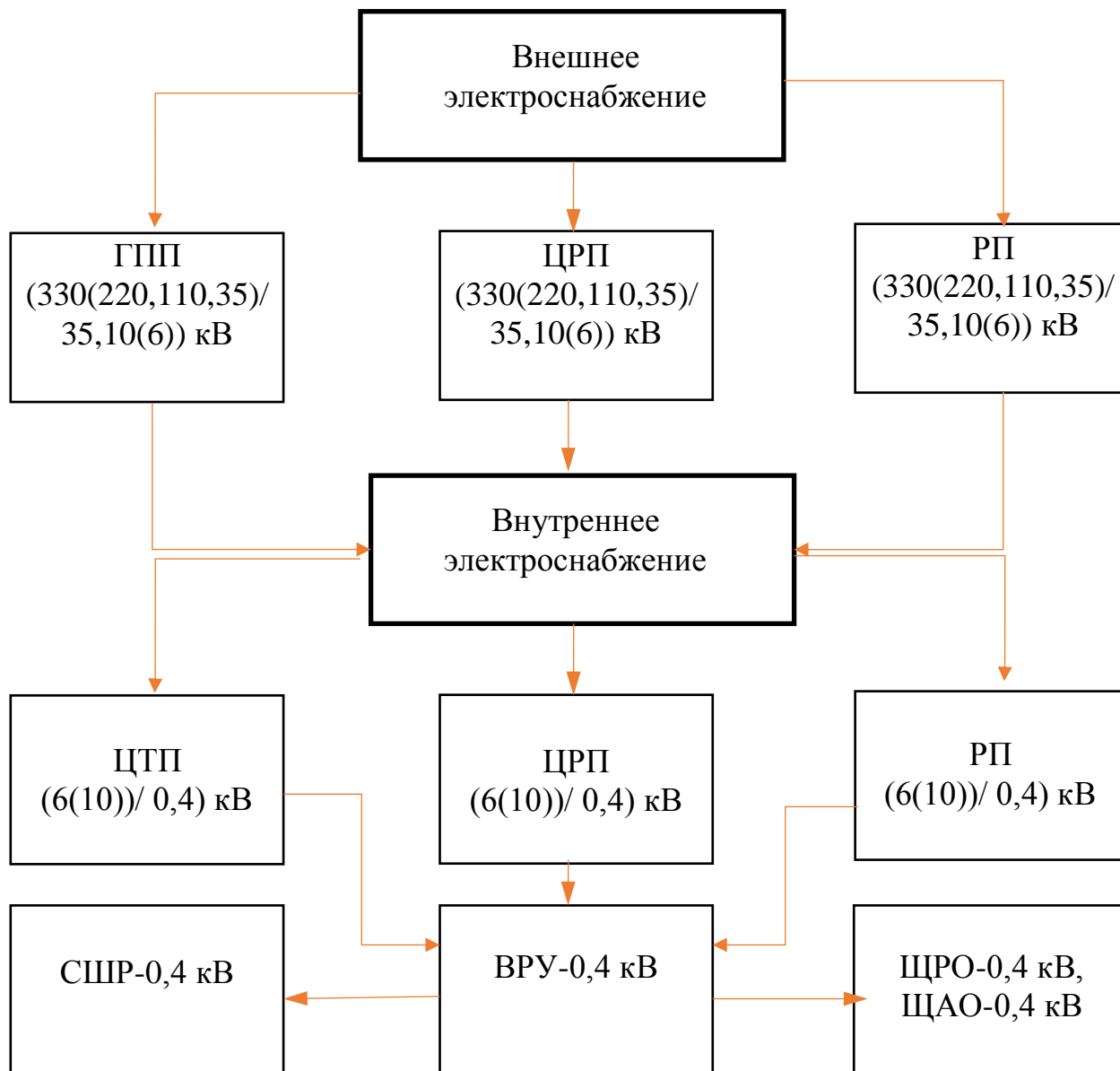


Рисунок 4 – Принципы распределения электроэнергии в системах электроснабжения классического типа

Как можно увидеть из рисунка 4, основными элементами как внешней, так и внутренней систем электроснабжения классического типа, являются трансформаторные подстанции.

Для передачи электроэнергии на большие расстояния, с учётом весьма значительных мощностей и потерь электроэнергии, на выходе из электростанций находятся повышающие трансформаторы, после которых

посредством линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, согласно традиционной схеме, получает питание сеть понижающие питающих подстанций (1150-110 кВ), которые, в свою очередь, далее питают потребительские подстанции на номинальном напряжении 110-0,4 кВ.

Очевидно, что основными составляющими современных понижающих трансформаторных подстанций является совокупность силовых трансформаторов и распределительных устройств.

Именно благодаря их слаженной работе обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности).

Фактически, такими показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов и классов напряжения.

Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в распределительных устройствах трансформаторных подстанций систем электроснабжения всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самой подстанции, но и всей электрической сети и, как результат, всей энергосистемы в целом.

Поэтому качественное проектирование и реализация схем электрических соединений современных трансформаторных подстанций и электростанций систем электроснабжения всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики.

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

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям

- соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
 - применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
 - применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
 - применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
 - обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
 - обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
 - обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
 - соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
 - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например,

- трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
- использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
 - автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
 - применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением подстанций;
 - ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
 - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
 - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;
 - применение блочных конструкций;
 - использование современного оборудования распределительных устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
 - минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном технико-экономическом эффекте.

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

Известно, что для 1 и 2 категории надёжности их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника.

При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника. Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания. При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время на автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [7].

Принцип резервирования в схеме питания потребителей соответствующей категории надёжности систем электроснабжения должен быть внедрён в принципиальной однолинейной схеме электроснабжения на объекте исследования согласно [10].

Также для выбора электрооборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и распределительных пунктов систем электроснабжения рекомендовано использовать фактические показания максимальной нагрузки с целью уменьшения погрешности расчётов.

Кроме того, к установке в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и распределительных пунктов систем электроснабжения в последние годы рекомендованы новейшие разработки коммутационной и защитной аппаратуры, имеющие повышенные показатели надёжности, экономичности, запаса ресурса и безопасности.

Также при разработке схемных решений при проектировании систем электроснабжения следует учесть критерии по электробезопасности. Поэтому в населённых пунктах, в таких случаях, используются только изолированные проводники (кабельные линии, провода СИП и другие аналогичные разработки проводникового материала). Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по проектированию схемы электрических соединений нормального режима системы электроснабжения данного объекта.

Выводы по разделу.

«Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения нового кирпичного завода, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [13] условиям принадлежности к основному технологическому процессу.

Обусловлена актуальность темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей. Приведён комплекс основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

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

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения кирпичного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

2 Проектирование системы электроснабжения кирпичного завода

2.1 Выбор рациональных номинальных напряжений в системе электроснабжения кирпичного завода

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

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

Основываясь на результатах проведённого анализа ранее в работе, установлено, что питание проектируемой системы электроснабжения рационально осуществить от одного из трёх вариантов, которые были рассмотрены в предыдущем разделе [9].

В схеме электроснабжения проектируемого кирпичного завода, используется формула Илларионова [13]:

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

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

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

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

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/2 + 2500/5,103}} = 36,76 \text{ кВ.}$$

Для внешней системы электроснабжения проектируемого кирпичного завода принимается напряжение 35 кВ [3]. При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого кирпичного завода, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая

рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

Таким образом, в результате проведения расчётно-аналитического анализа, установлено, что для питания внешней системы электроснабжения проектируемого кирпичного завода, целесообразно использовать главную понизительную подстанцию с двумя силовыми трансформаторами и классами напряжения 35 кВ (номинальное высшее напряжение) и 10 кВ (номинальное низшее напряжение).

2.2 Выбор схемы электроснабжения кирпичного завода

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения кирпичного завода, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 35 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого кирпичного завода, является двухтрансформаторная ГПП. На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП внешней системы электроснабжения проектируемого кирпичного завода (рисунок 5) [6].

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

- схему РУ-35 кВ питающей ГПП;
- схему РУ-10 кВ питающей ГПП;
- схему распределительной сети 10 кВ;
- схему трансформаторных цеховых ТП.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на основе анализа литературных источников [20].

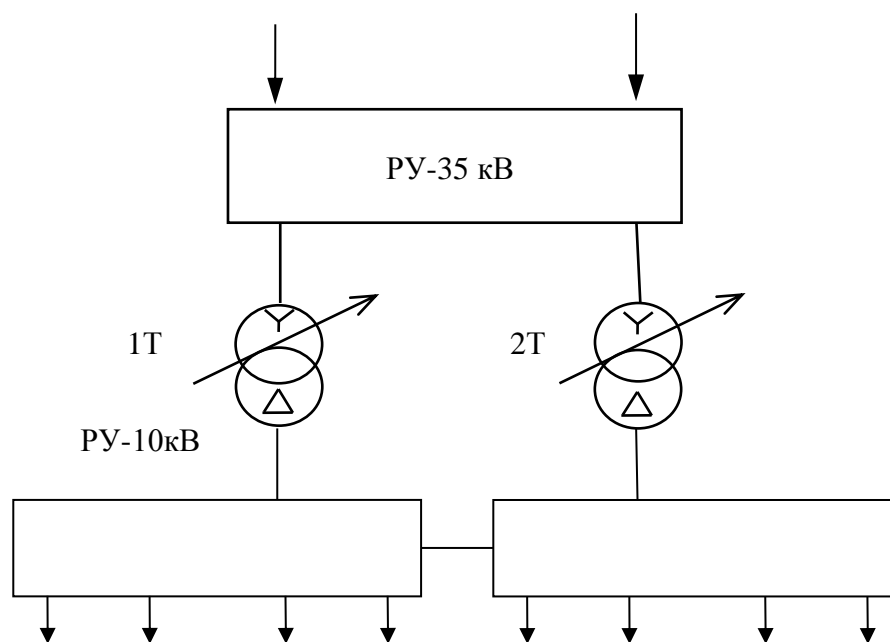


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода

Выбор указанных схем электрических соединений системы электроснабжения объекта проектирования, проводится в форме таблиц на основании требований [4]. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-35 кВ питающей ГПП, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-35 кВ питающей ГПП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Блок (линия-трансформатор) с разъединителем»	Схема ВН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме
«Блок (линия-трансформатор) с выключателем»	Схема ВН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме
«Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-тупиковая	Подходит по всем критериям и параметрам
«Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной перемычкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-ответвительная, узловая	Подходит по техническим критериям, однако по экономическому критерию является избыточно затратной

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 3), для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [7].

Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП, представлены в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Одна несекционированная система шин»	Схема НН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Одна секционированная система шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений	Подходит по всем критериям и параметрам, присоединений в РУ-10 кВ – менее 20
«Две секционированных системы шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ более 20 присоединений	Подходит по техническим критериям, однако по экономическому критерию является избыточно затратной, присоединений в РУ-10 кВ – менее 20

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 3), для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [8]. Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ отключён, режим работы – раздельный.

Результаты сравнительного анализа при выборе схемы распределительной сети 10 кВ (выполняется кабельными линиями от РУ-10 кВ ГПП до РУ-10 кВ цеховых ТП проектируемого завода), представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы распределительной сети 10 кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Магистральная схема без резервирования на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по всем критериям и параметрам
«Магистральная схема с резервированием на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 4), для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [10].

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

Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП (для питания потребителей 1 и 2 категории надёжности применяется схема с двумя трансформаторами на ЦТП, для питания потребителей 3 категории – с одним трансформатором на ЦТП), представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания однострансформаторных ЦТП
«Магистральная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы
«Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания двухтрансформаторных ЦТП
«Магистральная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 5), для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения кирпичного завода отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования.

Они показаны в графической части работы.

2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения кирпичного завода

Для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения кирпичного завода, результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования. Расчёт проводится с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения кирпичного завода в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта):

$$P_p = K_c P_n, \quad (2)$$

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

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8] (участка) проектируемого кирпичного завода.

«Расчетная реактивная нагрузка, квар» [6]:

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

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

«Расчётная нагрузка освещения, кВт» [16]:

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

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого кирпичного завода» [4];

« $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого кирпичного завода, кВт» [1].

«Значит» [7]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.o}$ – «нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка), кВт/м²» [4];

F – «площадь соответствующего цеха (участка), м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников, кВА» [1]:

$$S_p = \sqrt{(P_n + P_{n.o})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«Полная расчётная силовая нагрузка кирпичного завода» [13]:

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

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения кирпичного завода [16]:

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

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

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения кирпичного завода [16]:

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

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

«Результаты расчёта электрических нагрузок сведены в таблицу 6» [9].

Таблица 6 – Результаты расчёта электрических нагрузок

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
	F , м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{н.о.}$, кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$, кВт	$P_{р.+P_{р.о.}}$, кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Цех производства керамических кирпичей	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
Цех производства облицовочных кирпичей	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
Цех сушки и созревания готовой продукции	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
Лаборатория контроля качества	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
Участок ремонта и обслуживания оборудования	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
Пункт приёма и обработки первичного сырья	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
Горгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ					1423,6	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ								
Насосная	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

«Согласно исходным данным, перспективная активная нагрузка объекта проектирования равна $P_n = 1500$ кВт, следовательно» [3]:

– «по условию (1) для перспективной активной нагрузки» [3]:

$$P_{p.n} = 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ кВт},$$

– «по условию (2) для перспективной реактивной нагрузки» [3]:

$$Q_{p.n} = 1350 \cdot 0,54 = 729 \text{ квар}.$$

«Численное значение полной расчётной нагрузки S_p с учётом всех расчётных нагрузок проектируемого кирпичного завода, а также с учётом перспективной активной и реактивной нагрузки, соответствует сумме нагрузок объекта напряжением 0,4 кВ и 10 кВ» [18]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p,0,4} + P_{p,10} + P_{p,n})^2 + (Q_{p,0,4} + Q_{p,10} + Q_{p,n})^2}. \quad (12)$$

Таким образом, суммарная полная нагрузка проектируемой системы электроснабжения кирпичного завода, с учётом перспективной нагрузки:

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680 + 1350)^2 + (2668,07 + 326,4 + 729)^2} = 8541,4 \text{ кВА}.$$

«Для проектируемой схемы внутреннего электроснабжения питающей сети цеховых ТП-10/0,4 кВ, значение потерь ЭЭ в трансформаторах» [15]:

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

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

«На этапе проектирования, величина реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП схемы внутреннего электроснабжения объекта по условию» [19]:

$$Q_{KY} = P_M(tg\varphi_O - tg\varphi_M). \quad (13)$$

Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок:

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

«Исходя из расчётных значений, выбраны для установки на ГПП-35/10 кВ две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 мощностью компенсации 160 квар каждая» [15].

«Суммарная расчетная реактивная нагрузка с учётом КУ» [19]:

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

где « K_{pm} – коэффициент одновременности максимумов нагрузки» [12].

Для условий схемы ЭС объекта проектирования с расчётными значениями нагрузок:

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

«Суммарная расчетная активная нагрузка с учётом КРМ» [12]:

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

Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок, с учётом компенсации реактивных токов:

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

«Суммарная расчетная полная нагрузка с учётом КРМ» [12]:

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

Значит:

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

«Величина потерь в трансформаторах ГПП» [11]:

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

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

«Полная расчётная нагрузка ГПП проектируемого кирпичного завода с учётом потерь ЭЭ» [12]:

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

Значит:

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

На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, проводятся мероприятия по выбору оборудования в проектируемой системе электроснабжения кирпичного завода.

2.4 Выбор и проверка мощности силовых трансформаторов ГПП

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ системе электроснабжения кирпичного завода, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора.

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

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения кирпичного завода, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-35/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (18)$$

«где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях» [17];

« n – количество трансформаторов, шт.» [11].

«Исходя из условия (18)» [10]:

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

«Для установки на ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения кирпичного завода, предварительно выбираются два силовых трансформатора ТМН-10000/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [16] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7. Это условие выражается так [15]:

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

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП в системе электроснабжения кирпичного завода в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

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

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,35, с учётом нагрузки всей ГПП, которая будет приходиться на один трансформатор, оставшийся в работе [11]:

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

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения кирпичного завода в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

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

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, необходимо два трансформатора марки ТМН-10000/35.

2.5 Расчёт токов коротких замыканий

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-35/10 кВ «проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, проверяются уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Для расчёта токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, составляется схема замещения (рисунок 6) [14].

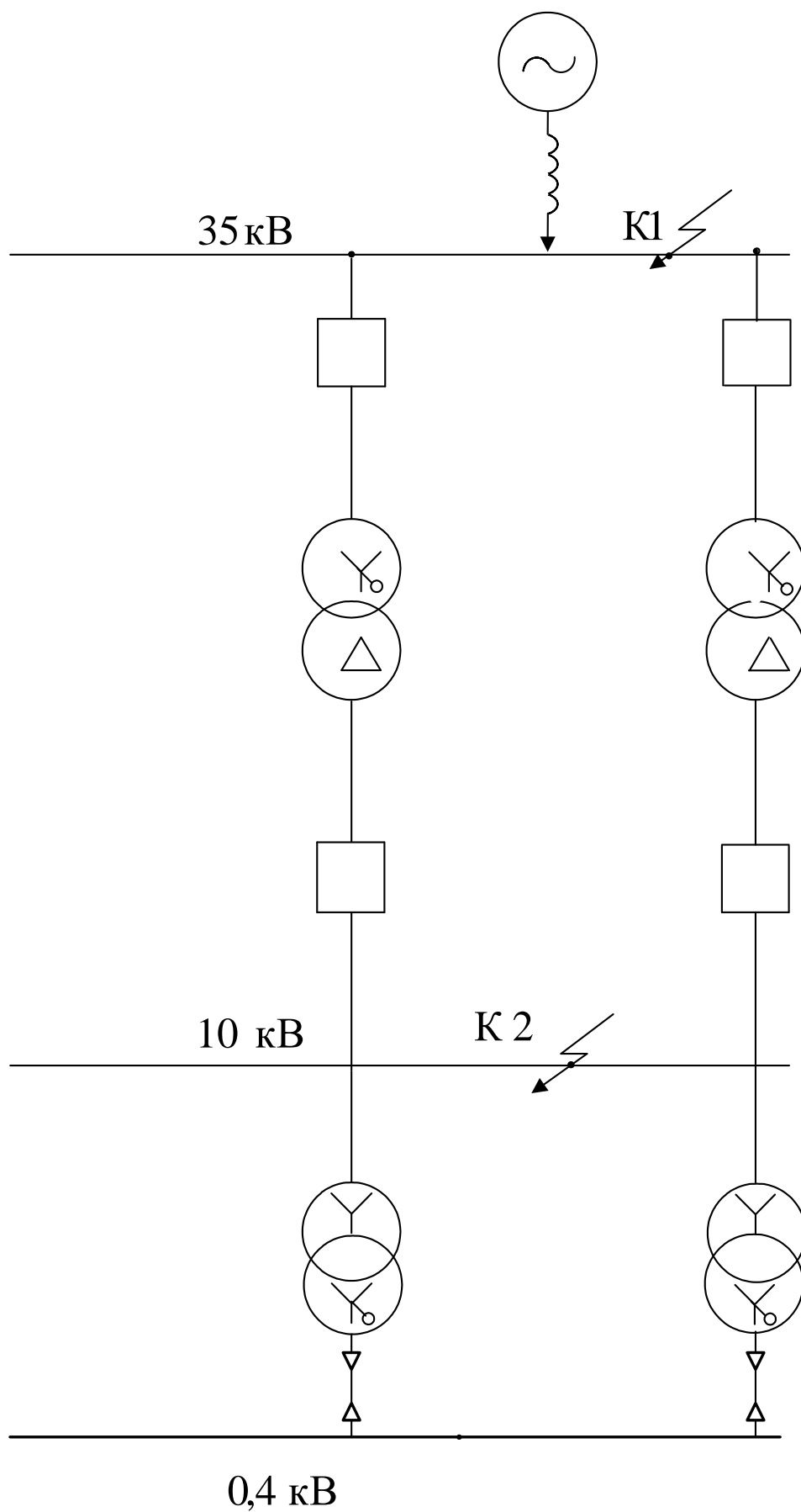


Рисунок 6 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ
ГПП-35/10 кВ внешней СЭС кирпичного завода

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода (рисунок 7).

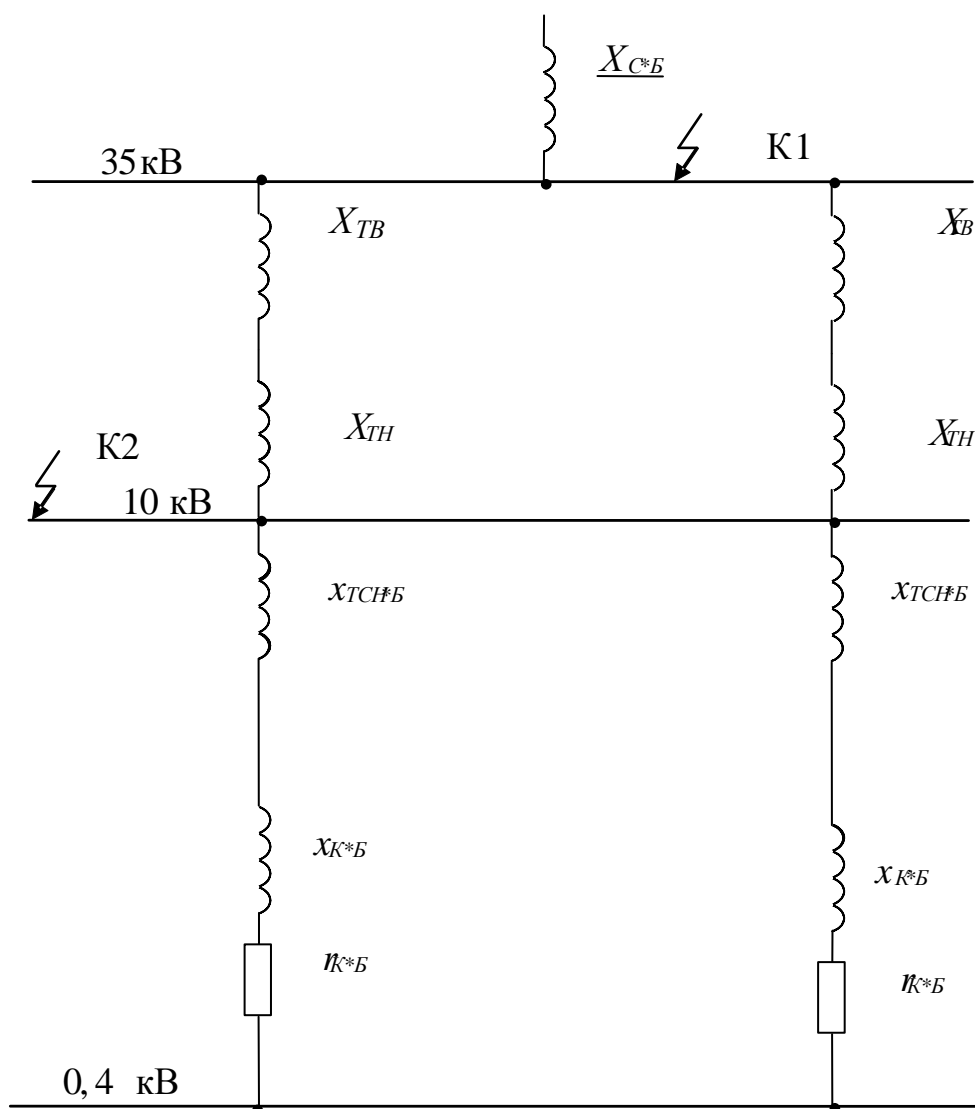


Рисунок 7 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС кирпичного завода

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12]. Далее проводится расчёт параметров схемы замещения в относительных единицах, с последующим приведением их к именованным.

«Сопротивление энергосистемы» [12]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\sigma}''}{S_{\kappa}}, \text{ o.e.}, \quad (21)$$

где « S_{κ}'' - полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [9].

По условию (21):

$$x_{c*} = \frac{100}{470} = 0,213 \text{ o.e.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ГПП-35/10 кВ проектируемой СЭС кирпичного завода с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Сопротивления к цепи КЗ, для отдельных обмоток силового двухобмоточного трансформатора ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, определяются по формуле:

$$x_{T} = \frac{u_{\kappa} \%}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\text{ном.Т}}}, \quad (22)$$

где « $S_{\text{ном.т}}$ – номинальная мощность трансформатора ГПП-35/10 кВ кирпичного завода, кВА» [18].

Значит:

$$X_{Т.В} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,268 \text{ Ом.}$$

$$X_{Т.Н} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,168 \text{ Ом.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, при приведении к базисным условиям» [12], в именованных единицах:

$$I''_{к.і} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{cm1} X_{pez\delta*}}, \text{ кА.} \quad (23)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах:

$$X_{PE3.K1} = X_C, \text{ о.е.} \quad (24)$$

Определяются результирующие сопротивления до рассматриваемой точки КЗ.

Согласно условия (24):

$$X_{PE3.K1} = 0,213 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчётной точке К1» [18], в именованных единицах по (23):

$$I''_{к1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 38,5 \cdot 0,213} = 2,357 \text{ кА.}$$

Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах, при последовательно-параллельном соединении элементов:

$$X_{\text{рез.2}} = X_{\text{рез.1}} + \frac{(X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}}) \cdot (X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}})}{2 \cdot X_{\text{ТВ}} + 2 \cdot X_{\text{ТН}}}, \text{ о.е.} \quad (25)$$

Согласно условия (25):

$$X_{\text{рез.2}} = 0,213 + \frac{1}{2}0,168 + \frac{1}{2}0,268 = 0,427 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока КЗ в расчётной точке К2» [18], в именованных единицах по (23):

$$I''_{\text{к2}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,6 \cdot 0,427} = 20,493 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [12]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{\text{уд}} \cdot I''_{\text{к}}, \text{ кА,} \quad (26)$$

где $\kappa_{\text{уд}}$ – «ударный коэффициент» [12].

«По условию (26) для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов (начального значения аperiodической составляющей тока КЗ)» [19] в именованных единицах:

– в точке К1:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,357 = 5,999 \text{ кА.}$$

– в точке К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20,49 = 52,161 \text{ кА}.$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА}. \quad (27)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (27):

– в точке К1:

$$I_{no(\min)к1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,357 = 2,040 \text{ кА}.$$

– в точке К2:

$$I_{no(\min)к2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20,49 = 17,744 \text{ кА}.$$

Полученные в работе результаты расчета токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС кирпичного завода представлены в виде таблицы 7 [17].

Таблица 7 – Результаты расчёта токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС кирпичного завода

Параметры точки КЗ	U см, кВ	X _{рез} δ *	I'', кА	I _у ³ , кА	I _к ² , кА
К ₁	115,0	0,213	2,357	5,999	2,04
К ₂	6,6	0,427	20,493	52,161	17,744

Результаты расчёта токов КЗ на шинах 35 кВ и 10 кВ внешней СЭС кирпичного завода используются в работе далее.

2.6 Выбор и проверка трансформаторов цеховых ТП

В работе все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала [17].

«Мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий, определяется так» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (28)$$

«где $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\sum P_p$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт» [12];

« N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 внутренней СЭС кирпичного завода по условию (28)» [20]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{793}{2 \cdot 0,8} = 495,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС кирпичного завода, приняты два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [12].

«На других ЦТП внутренней СЭС кирпичного завода выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 8)» [11].

Таблица 8 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов внутренней СЭС кирпичного завода

ЦТП	№ цеха	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	$S_{ном.т.р.}$, кВА	$n \times S_{ном.т.}$, кВА
ЦТП-1	1	Цех производства керамических кирпичей	I	793	495,6	2х630
ЦТП-2	2	Цех производства облицовочных кирпичей	I	1180	842,8	2х1000
ЦТП-3	3	Цех сушки и дозревания готовой продукции	I	708,7	591,9	2х630
	5	Лаборатория контроля качества	II	238,38		
	Всего по ТП-3		I, II	947,08		
ЦТП-4	4	Компрессорная	I	172,52	370,2	2х400
	6	Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	275,25		
	7	Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	144,6		
	Всего по ТП-4		I, II	592,37		
ЦТП-5	11	Насосная	I	71,9	339,6	2х400
	8	Административное здание	III	160,5		
	9	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7		
	10	Склады	III	153,28		
	Всего по ТП-5		II, III	475,38		

«Выбранные типы трансформаторов удовлетворяют требованиям и условиям выбора и проверок» [18].

2.7 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения

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

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 35 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_j = \frac{I_p}{j_j}, \quad (29)$$

где j_j – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (30)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [14].

«Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (31)$$

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

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

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (32)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС кирпичного завода в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max}, \quad (33)$$

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

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

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, мм^2. \quad (34)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода.

Питание ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи.

В работе, для большей надёжности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-35 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод из алюминиевого – магниевого сплава марки «АААС-Z» [7].

«Такой провод отличается от своих аналогов повышенной прочностью и пропускной способностью, а также высокой степенью устойчивости к гололедообразованию» [7].

Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных проводов марки АААС-Z для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-330 кВ представлены на рисунке 8.

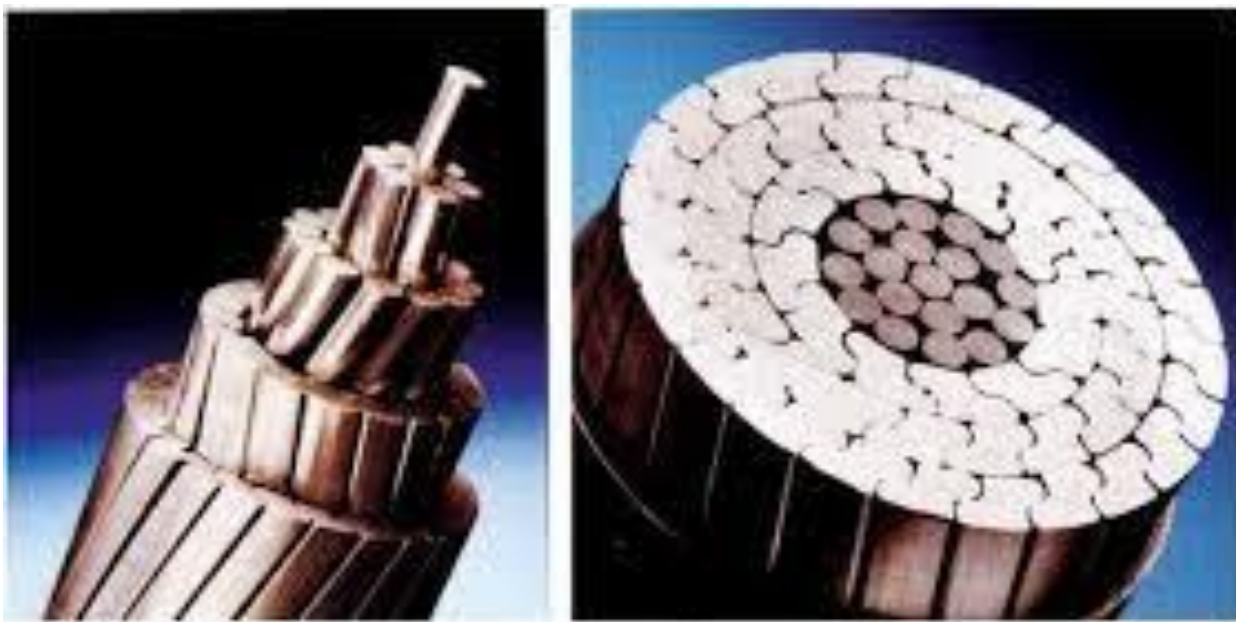


Рисунок 8 – Внешний вид и конструкция основных модификаций инновационных проводов марки AAAC-Z для применения на высоковольтных линиях напряжением 35-330 кВ

Ток нормального режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода:

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

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода:

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

Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода по условию экономической плотности тока:

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

Из ряда стандартных наименьших значений сечения новых проводов марки АААС-Z, выбирается ближайшее стандартное сечение – 148 мм².

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения кирпичного завода, выбирается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки АААС-Z148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А.

Проверка предварительно выбранного провода марки АААС-Z148-1Z для применения на питающей воздушной линии 35 кВ по току нормального режима:

$$425 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А.}$$

Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки АААС-Z148-1Z для воздушной линии 35 кВ кирпичного завода по максимальному рабочему току ПАВ режима:

$$425 \text{ А} \geq 172,4 \text{ А.}$$

Условие проверки выполняется.

«Проверка провода по механическим факторам также выполняется» [10]:

$$148 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

«По условию возникновения короны проверяются воздушные линии напряжением от 110 кВ и выше» [17]. Поэтому питающая ВЛ-35 кВ по данному условию в работе не проверяется. Окончательно для применения на питающей ВЛ-35 кВ, в работе выбран современный провод марки АААС-

Z148-1Z с сечением токоведущей жилы – 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{доп} = 425$ А.

«Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода представлены в таблице 9» [19].

Таблица 9 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода

№ ТП (линии)	n, шт.	I_p, A	$I_{p,max}, A$	$F_{э}, мм^2$	Марка силового кабеля	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	25,2	50,4	18,0	АСБл-10 (3×16)	75	2,4
ТП-2	2	39,7	79,4	28,3	АСБл-10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	32,3	64,6	23,0	АСБл-10 (3×25)	90	1,1
ТП-4	2	19,9	39,8	14,2	АСБл-10 (3×16)	75	1,9
ТП-5	2	14,3	28,6	10,2	АСБл-10 (3×16)	75	2,6
Насосная (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБл-10 (3×16)	75	2,1

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС кирпичного завода осуществляется по значению максимального рабочего тока. При этом проверка выбранной ошиновки проводится по току КЗ в зависимости от паспортной характеристики данных шин.

Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в распределительных устройствах 35 кВ и 10 кВ ГПП кирпичного завода представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-35 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС кирпичного завода

Наименование РУ ГПП	Тип и марка ошиновки	Длительный режим		Проверка по режиму КЗ $q_n \geq q_{min} \cdot мм^2$
		$I_n \geq I_{p,max}, A$	Сечение $q_n, мм^2$	
ОРУ – 35кВ	Гибкая ошиновка, выполненная проводом марки АС – 300/66	$680 \geq 172,4$	300	$300 \geq 53$
ЗРУ – 10кВ	Жёсткая ошиновка, выполненная сборными коробчатыми шинами марки А80×10	$1480 \geq 809,2$	800	$800 \geq 226$

Все выбранные проводники 35 кВ и 10 кВ для применения в СЭС кирпичного завода, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-35/10 кВ (35 кВ, 10 кВ);
- разъединители – применяются только в ОРУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-35/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-35 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

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

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

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

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (35)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (36)$$

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

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (37)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (38)$$

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

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

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (39)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (40)$$

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

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

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (41)$$

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

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

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

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

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{омк} + T_a). \quad (42)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-35/10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, высоковольтные выключатели напряжением 35 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 35 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);
- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;
- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода будут также различными.

Предварительно принимается для установки на объекте проектирования выключатели высокого напряжения новых образцов и модификаций следующих марок:

- в РУ-35 кВ – выключатели марки ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1;
- в РУ-10 кВ – выключатели марки ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (вводные) и ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные).

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, проводится по приведённым выше условиям (таблица 11).

Таблица 11 – Результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС

Наименование присоединения	Тип выключателя	Соотношение паспортных и расчетных данных						
		$\frac{U_n}{U_p}$, кВ	$\frac{I_n}{I_{p\max}}$, А	$\frac{I_{откл.ном}}{I''}$, кА	$\frac{i_{откл.ном}}{i_{кт}}$, кА	$\frac{I_{пр.с}}{I''}$, кА	$\frac{i_{пр.с}}{i_y^{(3)}}$, кА	$\frac{I_t^2 \cdot t}{B_k}$, кА·с
Вводной выключатель 35 кВ	ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	35	1250	20	38,18	20	50	1200
		35	646	4,372	10,03	4,372	13,63	22,08
Вводной и секционный выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-25/1600 У2	10	1600	25	47,73	25	64	1875
		10	1346	20,49	39,64	20,49	52,16	463
Линейные выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	10	1600	25	47,73	25	64	1875
		10	168	20,49	39,64	20,49	52,16	463

Далее проводится выбор разъединителей для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода.

В работе для установки в сети 35 кВ на ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода выбираются современные разъединители. Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

«Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, представлены в таблице 12» [15].

Таблица 12 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС

Наименование присоединения	Тип разъединителя/ привода	$\frac{U_n}{U_{уст}}$	$\frac{I_n}{I_{р.макс}}$	$\frac{I_{пр.с}}{I}$	$\frac{i_{пр.с}}{i_y}$	$\frac{I_m^2 t_T}{B_k}$
		кВ	А	кА	кА	кА ² ·с
ОРУ 35 кВ	<u>РДЗ-1-35/1000НУХЛ1</u>	35	1000	63	80	1875
	ПРГ-01 2БУХЛ1	35	646	4,37	13,6	22,1
	<u>РДЗ-2-35/1000НУХЛ1</u>					
	ПРГ-01 2БУХЛ1					

В ячейках КРУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС выбираются ограничители перенапряжения следующих типов и марок:

- для установки в РУ-35 кВ и на ВЛ-35 кВ – ОПН типа ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1;
- для установки в РУ-10 кВ и в ячейках отходящих линий 10 кВ – ОПН типа ОПН- РС/TEL 6/7,6 УХЛ1.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода.

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии.

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора новых трансформаторов напряжения для установки в РУ на ГПП-35/10 кВ СЭС

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \sum}$, ВА
НТМИ-10-66	4	36,8/4	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{9,3}$

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов тока для установки в РУ всех классов напряжения на ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора новых трансформаторов тока для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС

Наименование присоединения	Марка ТТ	Исполнение вторич. обм.	$\frac{U_n}{U_{уст}}$	$\frac{I_{ном}}{I_{р.макс}}$	$\frac{i_{дин}}{i_y}$	$(k_T I_{ном})^2 t$
			кВ	А	кА	B_k кА ² ·с
Ввод РУ 35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{800}{647}$	-	-
ВЛ-35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{202}$	-	-
Шины 10 кВ	ТПК-10-У3	10Р/10Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{1500}{1346}$	$\frac{118}{52,2}$	$\frac{7056}{463}$
Отходящие линии 10 кВ	ТПК-10-У3	0,5/Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{400}{168}$	$\frac{75}{52,2}$	$\frac{2825}{463}$

Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-35/10 кВ СЭС кирпичного завода удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

Принятые к установке электрические аппараты проектируемой системы электроснабжения кирпичного завода показаны в графической части данной работы.

Выводы по разделу.

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

Обосновано, что необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

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

- для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;

- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Расчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения кирпичного завода.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, на ГПП-35/10 кВ целесообразно установить два трансформатора ТМН-10000/35.

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС кирпичного завода (всего предусмотрено пять ЦТП). Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала

Для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода АААС-Z148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А. Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБл-10. Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС кирпичного завода. Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения кирпичного завода.

3 Анализ аварийности на ГПП кирпичного завода

Анализ аварийности на ГПП-35/10 кВ кирпичного завода выполнен на основании результатов расчёта и полученных основных осциллограмм в отечественном программном комплексе ПК «АСОНИКА-К» (предназначен для расчёта надёжности систем электроснабжения), на основании полученных технических данных в результате разработки схемы электроснабжения объекта, а также величины напряжений, токов нормального режима и токов коротких замыканий в сети 35 кВ внешнего электроснабжения объекта.

ГПП-35/10 кВ кирпичного завода обеспечивает покрытие тепловых и электрических нагрузок всех потребителей. Выдача мощности станции в энергосистему осуществляется на напряжении 35 кВ.

ГПП-35/10 кВ кирпичного завода является единственным источником электроснабжения данного предприятия.

Главная схема электрических соединений ГПП-35/10 кВ кирпичного завода выполнена на два напряжения: 35 кВ и 10 кВ.

К шинам 35 кВ ГПП-35/10 кВ кирпичного завода через цеховые трансформаторы 10/0,4 кВ кВ подключены объекты завода.

Распредустройство 35 кВ открытого типа (ОРУ) выполнено по схеме системы сборных шин, резервируемых неавтоматической ремонтной перемычкой. Ток однофазного замыкания в ремонтных схемах сети 35 кВ достигает 16 А.

От ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ кирпичного завода по радиальным схемам, обеспечивается электроснабжение потребителей завода через понижающие трансформаторные цеховые подстанции 10/0,4 кВ (всего – 3 единицы).

В ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ кирпичного завода установлены два выключателя высокого напряжения, также обеспечивающие связь ГПП-35/10 кВ кирпичного завода с шинами 35 кВ других подстанций энергосистемы.

В соответствии с [10], рассматриваемая сеть 35 кВ выполнена с компенсацией емкостных токов при помощи дугогасящих реакторов. Ранее

считалось, что такое решение, применяемое в отечественной практике, должно обеспечивать надежное электроснабжение потребителей в режиме однофазного замыкания. Зарубежный и отечественный опыт показал, что применение дугогасящих реакторов со ступенчатой компенсацией не обеспечивает необходимой надежности электроснабжения. Недостатки такой схемы: в режиме однофазных дуговых замыканий возникает смещение нейтрали и эскалация перенапряжения, применение нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН) с глубоким уровнем ограничения невозможно, при появлении перенапряжений возникают явления феррорезонанса в трансформаторах напряжения.

Итогом работ многих авторов и проведения всероссийских конференций по вопросам перенапряжения и режимов заземления нейтрали, явилось изменение пункта 1.2.16 [10], который с 1 января 2003 г. допускает заземление нейтрали через активные резисторы, т.е. в настоящее время возможно выполнение таких сетей следующим образом:

- нейтраль изолирована при токах однофазного замыкания менее 10 А;
- нейтраль заземлена через дугогасящий реактор при токах более 10 А;
- нейтраль заземлена через активный резистор;
- нейтраль заземлена через реактор и активный резистор, включенные параллельно.

Какой именно из возможных способов следует применить, в [11] строго не указано. В настоящей работе на основании анализа аварийности сети сделана попытка выбрать наиболее подходящий из возможных вариантов.

В результате моделирования процессов в сети 35 кВ на ГПП-35/10 кВ кирпичного завода, с учётом анализа всех полученных технических данных в результате проектирования, получены результаты моделирования, полученные в ПК «АСОНИКА-К» в сети 35 кВ.

При этом особое внимание уделялось случаям возникновения однофазных замыканий и переходу их в многофазные, то есть повреждениям изоляции в результате перенапряжений.

Все приведенные случаи аварийных ситуаций начинаются с однофазных замыканий. Возникающие при этом перенапряжения не моделируются ПК «АСОНИКА-К», поскольку частота дискретизации представленных осциллограмм составляет 600 Гц, что явно недостаточно для записи переходных процессов такого рода. Кроме этого, трансформаторы напряжения типа ЗНОМ – 35, установленные на шинах 35 кВ, имеют достаточно большую индуктивность и ограничивают полосу пропускания. На представленных осциллограммах видны только установившиеся значения перенапряжений на «здоровых» фазах сети, но во всех случаях началом аварийной ситуации является однофазное замыкание.

Результаты анализа моделирования аварийных отключений в сети 35 кВ ГПП-35/10 кВ кирпичного завода в ПК «АСОНИКА-К» представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты анализа моделирования аварийных отключений в сети 35 кВ ГПП-35/10 кВ в «ПК АСОНИКА-К» кирпичного завода

Вид отключения	Количество предполагаемых случаев, ед.	Количество предполагаемых случаев, %	
		от всех отключений	от однофазных КЗ, всего
Всего отключений	77	100	
Отключений ВЛ-35 кВ	68	88	
Отключение систем шин 35 кВ	5	6	
Отключение питающих линий внешней энергосистемы	4	5	
Однофазных КЗ, всего	29	38	
Однофазных КЗ, перешедших в многофазные	13	от всех отключений	от однофазных КЗ, всего
		10	45
Однофазных КЗ, отключенных вручную	16	12	55

Из полученных результатов моделирования в таблице 16 видно, что общее количество случаев возникновения однофазных замыканий в рассматриваемой сети составило 38 %, остальные повреждения являлись многофазными и были отключены устройствами релейной защиты.

Из общих 29 случаев однофазных повреждений изоляции в 16 случаях (55 %) персонал вручную определил место повреждения и отключил поврежденное присоединение, в 13 случаях (45 %) однофазные замыкания, как правило, дуговые, перешли в многофазные повреждения и были также отключены устройствами релейной защиты.

Таким образом, установлено, что в 45 % случаев возникновения однофазных замыканий преимущество сети, как сети с компенсированной нейтралью, не реализовано, то есть потребитель был аварийно отключен. Такой высокий процент объясняется высокой погрешностью и ступенчатой настройкой реактора со ступенчатым регулированием.

Для иллюстрации сказанного приведены четыре осциллограммы рисунках 9 – 12 из наиболее тяжёлых режимов, смоделированных ПК «АСОНИКА-К». На осциллограммах представлены (сверху вниз): напряжения по фазам на шинах 35 кВ ГПП, ток подпитки к.з. от одного из присоединений при многофазном повреждении.

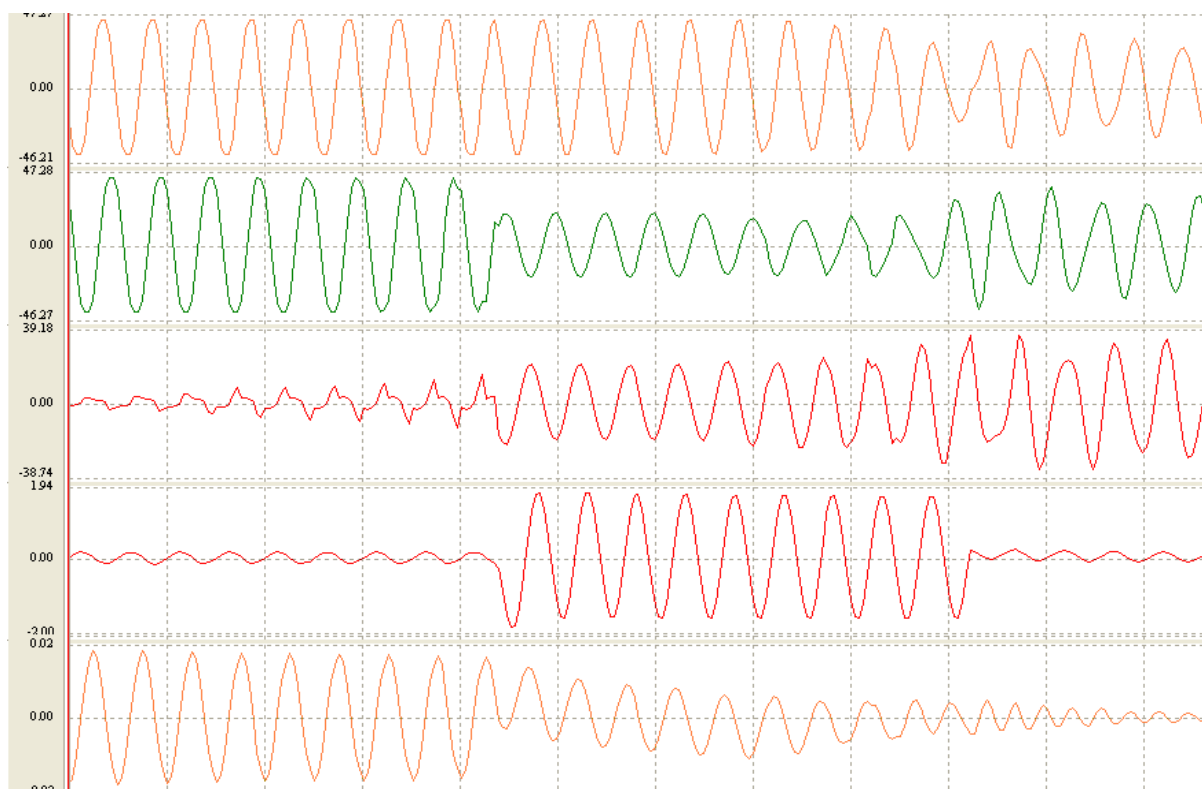


Рисунок 9 – Осциллограмма напряжений фаз А, В, С на 1 секции ГПП 35 кВ, ток двухфазного замыкания одного из присоединений

На рисунке 10 показан момент перехода однофазного дугового замыкания возникшего на фазе С (повреждения опорного изолятора третьей секции РСШ) в двухфазное и отключение третьей секции дифференциальной защитой.

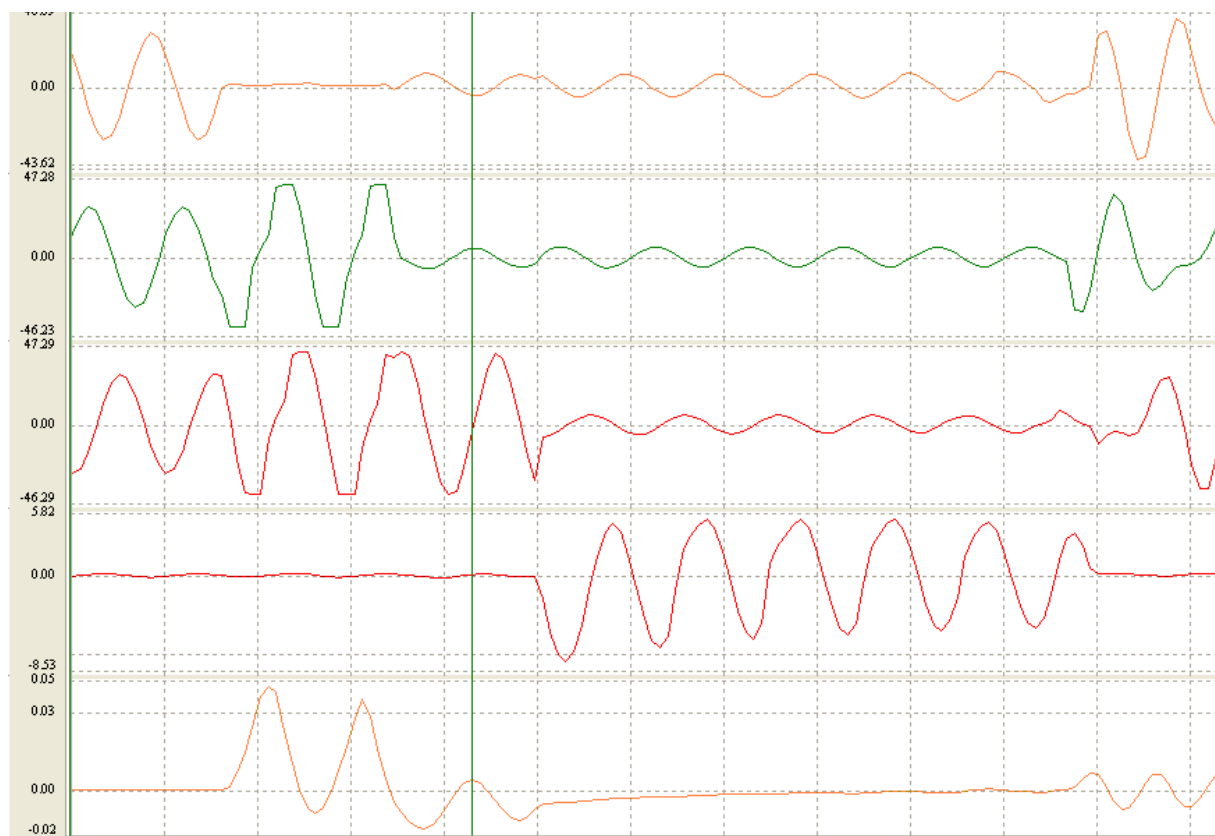


Рисунок 10 – Осциллограмма напряжений фаз А, В, С на 1 секции РСШ 35 кВ, ток трехфазного замыкания одного из присоединений

На рисунке 11 показан момент возникновения однофазного замыкания на фазе А, воздушной линии 35 кВ переход в двухфазное, а затем в трехфазное замыкание и отключение поврежденной линии релейной защитой.

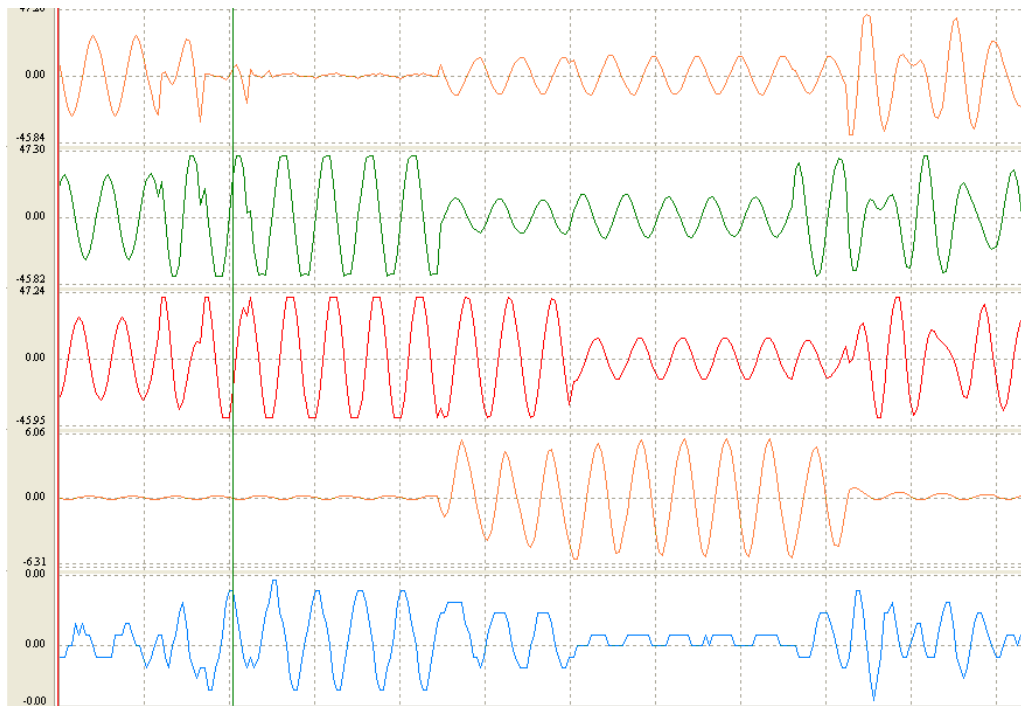


Рисунок 11 – Осциллограмма напряжений фаз А, В, С на ГПП 35 кВ, ток двухфазного и трехфазного замыкания одного из присоединений

На рисунке 12 показан момент возникновения однофазного дугового замыкания на воздушной линии 35 кВ, переход этого замыкания в двух-, а затем трехфазное с последующим отключением линии токовой отсечкой.



Рисунок 12 – Осциллограмма напряжений фаз А, В, С на 1 секции ГПП 35 кВ, ток двухфазного замыкания одного из присоединений

На рисунке 13 показан момент перехода однофазного замыкания на фазе А в двухфазное замыкание между фазами В и С на ошиновке первой секции 35 кВ с последующим отключением первой секции дифференциальной защитой шин. Этому повреждению предшествовало несколько однофазных дуговых замыканий на ВЛ-35 кВ. В результате возникшего перенапряжения, произошло двухфазное замыкание на питающей воздушной линии 35 кВ и на вводных изоляторах выключателя 35 кВ в зоне действия защиты шин.

На основании анализа полученных данных можно утверждать, что рассматриваемая сеть обеспечивает необходимую надежность электроснабжения и не требует реконструкции и внесения изменений. Таким образом, учитывая моделирование аварийности в сети 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода, можно сделать вывод, что дополнительных устройств ограничения токов системы (рабочих и токов КЗ), а также аппаратов, стабилизирующих работу системы, устанавливать в схеме нет необходимости.

Выводы по разделу.

В работе проведён анализ и моделирование аварийности в сети 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода с применением ПК «АСОНИКА-К», на основании полученных технических данных в результате разработки схемы СЭС, а также величины напряжений, токов нормального режима и токов КЗ в сети 35 кВ СЭС объекта.

На основании анализа полученных данных можно утверждать, что рассматриваемая сеть обеспечивает необходимую надежность электроснабжения и не требует реконструкции и внесения изменений. Таким образом, учитывая моделирование аварийности в сети 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода, можно сделать вывод, что дополнительных устройств ограничения токов системы (рабочих и токов КЗ), а также аппаратов, стабилизирующих работу системы, устанавливать в схеме нет необходимости.

Заключение

В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения объекта строительной промышленности на примере кирпичного завода, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

Приведено описание и анализ производственных объектов по условиям принадлежности к основному технологическому процессу.

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

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения кирпичного завода, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Обосновано, что для обеспечения питания внешней системы электроснабжения кирпичного завода, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 35 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

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

- для применения в РУ-35 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;

- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

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

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения кирпичного завода, на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТМН-10000/35).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС кирпичного завода (всего предусмотрено пять ЦТП). Все цеховые ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в цехах, относящихся к I категории надёжности. Таким образом, будет реализовано резервирование при их питании и снижение потерь мощности и напряжения со значительной экономии проводникового материала

Для питающих ВЛ-35 кВ принята марка инновационного провода АААС-Z148-1Z с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 425$ А.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБл-10.

Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС кирпичного завода.

Выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения кирпичного завода.

Проведён анализ и моделирование аварийности в сети 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода с применением ПК «АСОНИКА-К», на основании полученных технических данных в результате разработки схемы СЭС, а также величины напряжений, токов нормального режима и токов КЗ в сети 35 кВ СЭС объекта.

На основании анализа полученных данных можно утверждать, что рассматриваемая сеть обеспечивает необходимую надежность электроснабжения и не требует реконструкции и внесения изменений.

Учитывая моделирование аварийности в сети 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кирпичного завода, можно сделать вывод, что дополнительных устройств ограничения токов системы (рабочих и токов КЗ), а также аппаратов, стабилизирующих работу системы, устанавливать в схеме нет необходимости.

Таким образом, на основании проведённых расчётов и полученных результатов, установлено, что спроектированная система электроснабжения отвечает всем критериям по надёжности, бесперебойности обеспечения электроэнергией, электробезопасности и экономичности.

Список используемых источников

1. Все о кирпиче. Виды и технология производства [Электронный ресурс]: URL: <https://kirpichmaster.ru/vidy/iz-chego-delayut-kirpich.html> (дата обращения: 11.03.2023).
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 22.01.2023).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 11.03.2023).
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
6. Особенности организации предприятия производству кирпича. [Электронный ресурс]: URL: <https://kubkirpich.ru/o-kirpiche/predpriyatiya-proizvodstvu-kirpicha.html> (дата обращения: 11.03.2023).
7. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 11.03.2023).
8. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

11. Провода марки АААС-Z из алюминево-магниевого сплава. [Электронный ресурс]: URL: <https://domikelectrica.ru/linii-s-provodom-aero-z-7-preimushhestv/> (дата обращения: 11.03.2023).

12. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.

13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

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

15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

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

18. Типовые схемы РУ ПС 35-750 кВ. [Электронный ресурс]: URL: http://powersystem.info/index.php/%D0%A2%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D1%8B_%D0%A0%D0%A3_35-750_%D0%BA%D0%92 (дата обращения: 11.03.2023).

19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.

20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.