

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 Автоматизация учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка»

Обучающийся

Ю.Е. Иванова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе осуществлена разработка мероприятий по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка» с проверкой основных решений по выбору основного оборудования в системе электроснабжения предприятия.

Проведён анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия. Приведена характеристика существующего учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка», выявлены существующие недостатки данной действующей системы. Установлено, что решение существующей проблемы заключается в аргументированном выборе и внедрении в систему электроснабжения предприятия новейших разработок в сфере систем учёта и контроля электроэнергии. В работе данный вопрос решён в полной мере.

Проведена реконструкция системы электроснабжения предприятия, обусловленная вводом в эксплуатацию новых производственных цехов и участков, а также необходимостью модернизации распределительного устройства высшего напряжения главной понизительной подстанции объекта проектирования.

Обоснован выбор числа и мощности трансформаторов, электрических аппаратов и проводников, а также устройств релейной защиты, заземления и молниезащиты в системе электроснабжения объекта исследования.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных	7
1.1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия, по организации учета электроэнергии	7
1.2 Обоснование внедрения мероприятий по реконструкции системы электроснабжения предприятия	11
2 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания	14
2.1 Расчёт электрических нагрузок	14
2.2 Расчёт токов короткого замыкания	16
3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов.....	26
3.1 Проверка трансформаторов главной понизительной подстанции на допустимую перегрузку	26
3.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	28
4 Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов	32
5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников.....	36
5.1 Выбор и проверка проводников	36
5.2 Выбор и проверка электрических аппаратов	39
6 Выбор устройств релейной защиты и систем учёта.....	45
6.1 Выбор устройств релейной защиты	45
6.2 Выбор устройств систем учёта	48
7 Расчёт молниезащиты и заземления.....	52
Заключение	57
Список используемых источников.....	60

Введение

Исследования в области автоматизации учета электроэнергии на предприятиях фокусируются на разработке и внедрении систем, способных точно измерять, анализировать и управлять энергопотреблением.

Известно, что применение современных технологий, таких как системы мониторинга, датчики, цифровые сети передачи данных и аналитика больших данных, позволяет автоматизировать процессы сбора данных о потреблении электроэнергии, оптимизировать расходы, выявлять и устранять потенциальные утечки или неэффективные потребители энергии. Это способствует повышению энергоэффективности предприятий, сокращению затрат на электроэнергию и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Состояние вопроса автоматизации учета электроэнергии на предприятиях России характеризуется неравномерностью принятых решений. С одной стороны, некоторые предприятия уже внедрили современные системы учета и мониторинга энергопотребления, что позволяет им эффективно управлять энергоресурсами и оптимизировать затраты.

Однако, с другой стороны, многие предприятия до сих пор используют устаревшие методы учета, основанные на ручном сборе и анализе данных, что приводит к недостаточной точности и недостаточной эффективности управления энергопотреблением.

Нередко на таких предприятиях отсутствует централизованная система мониторинга и управления энергопотреблением, что значительно затрудняет контроль за расходами и выявление потенциальных источников энергетических потерь.

Кроме того, на некоторых предприятиях существует недостаточная осведомленность о преимуществах и возможностях современных технологий в этой области, что замедляет процесс их внедрения.

С учетом значительных экономических выгод и экологических преимуществ, связанных с эффективным управлением энергопотреблением, важно продолжать работу по повышению осведомленности и стимулированию предприятий к внедрению современных систем автоматизации учета электроэнергии.

Данный вопрос исследуется в настоящей работе.

Основной целью работы является разработка мероприятий по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка» с проверкой основных решений по выбору основного оборудования в системе электроснабжения предприятия.

Объектом исследования является система автоматизации учёта электроэнергии объекта исследования.

Предметом исследования выступает комплекс технико-экономических параметров и характеристик автоматизации учёта электроэнергии системы электроснабжения объекта исследования (надёжность, безопасность, экономичность, экологичность).

Актуальность работы обусловлена требованиями надёжности, безопасности и экономической эффективности систем электроснабжения предприятий, которые достигаются с помощью передовых решений в сфере современных средств и систем автоматизации [20].

«Для достижения основной цели работы, необходимо провести следующие исследования» [20]:

- провести анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия ООО «Русская Катанка»;
- привести характеристику существующего учёта электроэнергии на предприятии, выявить существующие недостатки данной действующей системы;
- на основании проведённого анализа современных систем учёта и контроля электроэнергии, выбрать и предложить для применения на

объекте исследования новую современную систему учёта электроэнергии, лишённую недостатков существующей системы.

Помимо достижения основной цели работы, необходимо провести проверку основных решений по выбору основного оборудования в системе электроснабжения предприятия.

Данный вопрос необходимо решить в работе в рамках второстепенной задачи.

Для этого, на основе результата расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, требуется обосновать выбор числа и мощности трансформаторов, электрических аппаратов и проводников, а также устройств релейной защиты, заземления и молниезащиты в системе электроснабжения объекта исследования.

Следовательно, требуется повысить уровень автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка» с выбором и проверкой основного оборудования в системе электроснабжения предприятия.

Данные аспекты обуславливают конечный результат данной работы.

1 Анализ исходных данных

1.1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей предприятия, по организации учета электроэнергии

«На первом этапе необходимо привести краткую характеристику технологического процесса и технических условий» [10] производства продукции на рассматриваемом предприятии ООО «Русская катанка». Также приводится текущее состояние системы электроснабжения организации.

Рассматриваемая организация является динамично развивающимся литейным предприятием, находящимся в Самарской области, г. Тольятти, ул. Новозаводская, 2а [10].

На сегодняшний день организация является наиболее прибыльным литейным предприятием в Самарской области.

Основные экономические показатели металлургического предприятия ООО «Русская катанка» за последние пять лет представлены на рисунке 1 [9].

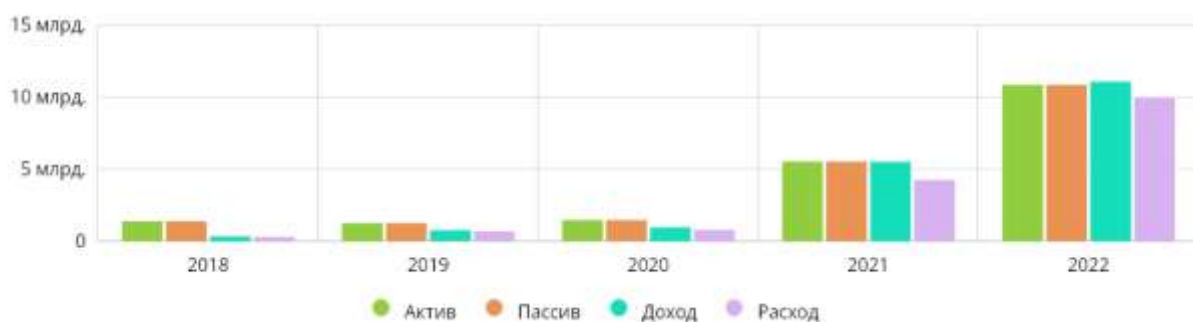


Рисунок 1 – Основные экономические показатели металлургического предприятия ООО «Русская катанка» за последние пять лет

Как видно из динамики рисунка 1, основные показатели экономической эффективности предприятия за последнюю пятилетку значительно увеличились.

Это говорит о хороших перспективах дальнейшего развития данного металлургического завода.

Установлено, что «технологический процесс на металлургическом заводе представляет собой строгую последовательность операций и этапов производства, направленных на получение готовой продукции» [10] – изделий, получаемых с помощью процесса литья чёрных и цветных металлов (сталеπροката), а также сопутствующей продукции [10].

«Согласно исходным данным на выполнение работы, приведены следующие основные этапы технологического процесса» [10] производства стали на металлургическом заводе ООО «Русская катанка» [9]:

- «подготовка ка первичного сырья;
- расплавка первичного сырья;
- прокатка (сталеπροкат);
- первичная механическая обработка;
- вторичная термическая обработка;
- тестирование и контроль качества;
- отделка и упаковка сталеπροката» [10].

Технологическая схема выплавки стали на металлургическом заводе ООО «Русская катанка» (расплавка в электропечах) представлена в работе на рисунке 2 [14].

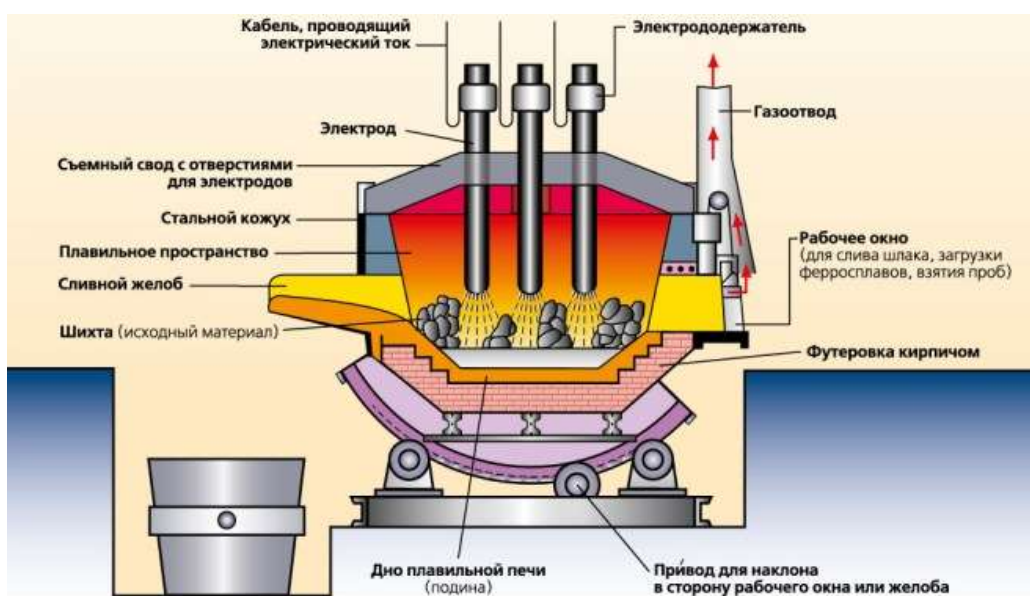


Рисунок 2 – Технологическая схема выплавки стали на металлургическом заводе ООО «Русская катанка» (расплавка в электропечах)

«Установлено, что к основным технологическим подразделениям производства сталеπροката на металлургическом заводе ООО «Русская катанка» относятся цеховые комплексы (укрупнённые модули):

- «Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14];
- «Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14];
- «Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14];
- «Цеховой комплекс контроля производства» [14]» [14].

Технические данные максимальных нагрузок существующих подразделений металлургического завода (укрупнённых модулей) представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Технические данные максимальных нагрузок существующих подразделений металлургического завода (укрупнённых модулей)

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Установленная мощность, Рм, кВт	Категория надёжности	Количество линий, шт.	Количество× мощность трансформаторов на ТП
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14]	6500,0	I	2	ТМ-4000/10
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14]	3100,0	II	2	ТМ-2000/10
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14]	2500,0	II	2	ТМ-1600/10
«Цеховой комплекс контроля производства» [14]	2000,0	II	2	ТМ-1250/10
Всего существующей нагрузки потребителей	14100,0	I, II	8	8×ТМГ

В результате анализа современных тенденций установлено, что новый производственный и вспомогательный комплекс получения сталей с применением водорода, является перспективным и современным решением, поэтому он вводится на данном металлургическом предприятии.

Также вводятся в эксплуатацию прочие вспомогательные подразделения [14].

План расположения существующих и перспективных потребителей системы электроснабжения металлургического завода ООО «Русская Катанка» (укрупнённых модулей) представлена на графическом листе 1.

Технические данные максимальных нагрузок перспективных потребителей металлургического завода (укрупнённых модулей) представлены в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Технические данные максимальных нагрузок перспективных потребителей металлургического завода (укрупнённых модулей)

Наименование подразделения (укрупнённого модуля)	Установленная мощность, Рм, кВт	Категория надёжности	Количество линий, шт.
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	2400,0	I	2
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	1800,0	II	2
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14] (с применением водорода)	1200,0	II	2
«Цеховой комплекс контроля производства» [14] (с применением водорода)	900,0	II	2
Всего перспективной нагрузки потребителей	6300,0	I, II	8

Таким образом, в работе в первую очередь необходима внедрение автоматизации учёта электроэнергии на предприятии, которое полностью отсутствует.

Приведённые задачи решаются в работе далее.

1.2 Обоснование внедрения мероприятий по реконструкции системы электроснабжения предприятия

Известно, что нормы и требования к реконструкции систем электроснабжения предприятий включают технико-экономическое обоснование, проектирование в соответствии с нормативными документами, обеспечение безопасности персонала и пользователей электроэнергии, надежности электроснабжения, экологических норм и требований, энергоэффективности, соответствия нормам и стандартам, качества выполнения работ, контроля и надзора за выполнением работ, соответствием нормам и требованиям безопасности, пуско-наладки и ввода в эксплуатацию электрических сетей и сооружений, а также передачи объекта заказчику.

Для обеспечения безопасности и надежности систем электроснабжения рекомендовано применение следующие мероприятий:

- проектирование и строительство электрических сетей и сооружений в соответствии с нормативными документами, включая правила проектирования, строительства и эксплуатации;
- использование современного оборудования и технологий, обеспечивающих высокую надежность и безопасность электроснабжения;
- регулярное техническое обслуживание и модернизация электрических сетей и сооружений;
- установка и обслуживание систем защиты и автоматики, обеспечивающих безопасную и надежную работу электрических сетей и сооружений;
- организация системы мониторинга и контроля за параметрами электроснабжения, позволяющей своевременно выявлять и устранять отказы и аварийные ситуации;

- подготовка и реализация планов действий в случае аварийных ситуаций, обеспечивающих быструю локализацию и ликвидацию последствий аварий;
- подготовка и обучение персонала, работающего с электрическими сетями и сооружениями, нормам безопасности и надежности электроснабжения;
- регулярная проверка и сертификация электрических сетей и сооружений на соответствие нормативным требованиям и стандартам безопасности и надежности;
- организация системы управления рисками в области электроснабжения, позволяющей прогнозировать и предотвращать риски аварий и отказов.

Ранее при проведении анализа исходных данных было установлено, что в системе электроснабжения объекта присутствуют некоторые проблемы, которые необходимо решить. Для этого в работе предложено «внедрить следующие мероприятия по реконструкции системы электроснабжения» [10] объекта исследования:

- внедрить мероприятия по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка», путём установки современной автоматизированной системы контроля и учёта электроэнергии в узлах данного металлургического завода;
- осуществить реконструкцию схемы внешнего электроснабжения объекта с учётом перспективной нагрузки. Для данной цели предлагается соорудить новое РУ-10 кВ, подключив его перспективную нагрузку на вторые части расщеплённых обмоток 10 кВ двух силовых трансформаторов ПС-110/10/10 кВ;
- «провести модернизацию оборудования распределительных устройств, а также системы РЗиА на питающей ПС-110/10/10 кВ;
- выполнить замену проводов марки АС на современные изолированные провода марки СИП на питающей линии 110 кВ и

отходящих линиях 10 кВ» [10].

Разработанные мероприятия учитывают и предполагают реконструкцию и модернизацию элементов системы электроснабжения предприятия.

Их конечной целью является повышение параметров и показателей надёжности, экономичности, бесперебойности подачи электроэнергии, а также безопасности на объекте исследования.

Выводы по разделу.

В работе предложено «внедрить следующие мероприятия по реконструкции системы электроснабжения» [10] объекта исследования:

- внедрить мероприятия по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка», путём установки современной автоматизированной системы контроля и учёта электроэнергии в узлах данного металлургического завода;
- осуществить реконструкцию схемы внешнего электроснабжения объекта с учётом перспективной нагрузки. Для данной цели предлагается соорудить новое РУ-10 кВ, подключив его перспективную нагрузку на вторые части расщеплённых обмоток 10 кВ двух силовых трансформаторов ПС-110/10/10 кВ;
- «провести модернизацию оборудования распределительных устройств, а также системы РЗиА на питающей ПС-110/10/10 кВ;
- выполнить замену проводов марки АС на современные изолированные провода марки СИП на питающей линии 110 кВ и отходящих линиях 10 кВ» [10].

Разработанные мероприятия учитывают и предполагают реконструкцию и модернизацию элементов системы электроснабжения предприятия.

Их конечной целью является повышение параметров и показателей надёжности, экономичности, бесперебойности подачи электроэнергии, а также безопасности на объекте исследования.

2 Расчёт электрических нагрузок и токов короткого замыкания

2.1 Расчёт электрических нагрузок

«Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия» [7] ООО «Русская катанка».

При проведении расчёта учитывается фактическая и перспективная нагрузка металлургического завода методом «коэффициента спроса» [7].

«Активная нагрузка, кВт» [7]:

$$P_p = P_n \cdot K_c, \quad (1)$$

где « P_n – номинальная (паспортная) активная нагрузка, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [7].

«Полная нагрузка, кВА» [7]:

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

«Реактивная нагрузка, квар» [7]:

$$Q_p = \sqrt{S_p^2 - P_p^2}. \quad (3)$$

«Групповые расчётные нагрузки СЭС предприятия» [7]:

$$P_{P.\Sigma} = \sum P_p, \quad (4)$$

$$Q_{P.\Sigma} = \sum Q_p, \quad (5)$$

$$S_{P.\Sigma} = \sqrt{P_{P.\Sigma}^2 + Q_{P.\Sigma}^2}. \quad (6)$$

«Групповой коэффициент мощности СЭС» [7] предприятия:

$$\cos \varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (7)$$

Для первого подразделения СЭС:

$$P_p = 6500 \cdot 0,8 = 5200 \text{ кВт},$$

$$S_p = \frac{5200}{0,94} = 5532 \text{ кВА},$$

$$Q_p = \sqrt{5532^2 - 5200^2} = 1887,6 \text{ квар}.$$

В таблице 4 представлены результаты расчёта нагрузок СЭС объекта.

Таблица 4 – Результаты расчёта нагрузок СЭС

Наименование подразделения	P_m , кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Существующая (исходная) нагрузка				
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14]	6500,0	5200,0	1887,6	5532,0
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14]	3100,0	2480,0	900,1	2638,3
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14]	2500,0	2240,0	813,1	2383,0
«Цеховой комплекс контроля производства» [14]	2000,0	1600,0	580,6	1702,1
Всего существующей нагрузки потребителей	14100,0	11520,0	4181,4	12255,4
Перспективная нагрузка				
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	2400,0	1920,0	697,0	2042,6
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	1800,0	1440,0	522,9	1532,0
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14] (с применением водорода)	1200,0	960,0	348,5	1021,3
«Цеховой комплекс контроля производства» [14] (с применением водорода)	900,0	720,0	261,4	766,0
Всего перспективной нагрузки потребителей	6300,0	5040,0	1829,8	5361,9
Всего по объекту реконструкции	20400,0	16560,0	6011,2	17617,3

2.2 Расчёт токов короткого замыкания

Целью расчёта токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка» является определение максимальных значений токов, которые могут возникнуть в электроустановке при коротком замыкании.

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия необходим для определения токов, которые могут возникнуть в случае короткого замыкания между фазами или фазами и землей.

Это важно для правильного выбора защитных устройств, аппаратуры, и для обеспечения безопасности и надёжности работы электрооборудования.

Основные задачи такого расчёта включают:

- определение максимальных токов короткого замыкания: расчёт помогает определить максимальные значения токов, которые могут возникнуть в различных частях системы электроснабжения при различных условиях короткого замыкания;
- выбор защиты и оборудования: на основе результатов расчёта производится выбор подходящих защитных устройств (предохранителей, автоматических выключателей, контакторов) и оборудования (трансформаторов), а также проводников, с учётом их номинальной мощности и класса защиты;
- оценка тепловых и механических нагрузок: расчёт токов короткого замыкания также позволяет оценить тепловые и механические нагрузки на оборудование в случае короткого замыкания, что важно для предотвращения повреждений и обеспечения безопасности работников;
- планирование и проектирование системы: результаты расчёта используются при планировании и проектировании системы электроснабжения предприятия для обеспечения её надёжной и безопасной работы;

- соблюдение нормативов и стандартов: расчёт токов короткого замыкания также необходим для проверки соответствия системы электроснабжения требованиям нормативов и стандартов безопасности.

Таким образом, целью расчёта токов короткого замыкания является обеспечение безопасной, надёжной и эффективной работы системы электроснабжения предприятия.

Расчёт токов КЗ необходим для выбора защитных устройств и определения их номинальных токов, а также для проектирования и расчёта прочности проводов и кабелей, а также прочности и надёжности электрооборудования.

Кроме того, расчёт токов КЗ необходим для проектирования и расчёта заземления и защитных проводок.

«Методика предполагает расчёт токов КЗ в трёх расчётных точках:

- на выводах силового трансформатора 110 кВ (расчётная точка К1);
- на выводах первой секции обмотки 10 кВ силового трансформатора (расчётная точка К2);
- на выводах второй секции обмотки 10 кВ силового трансформатора (расчётная точка К3)» [15].

«Исходная расчётная схема для определения токов КЗ в системе электроснабжения предприятия, представлена на рисунке 3» [15].

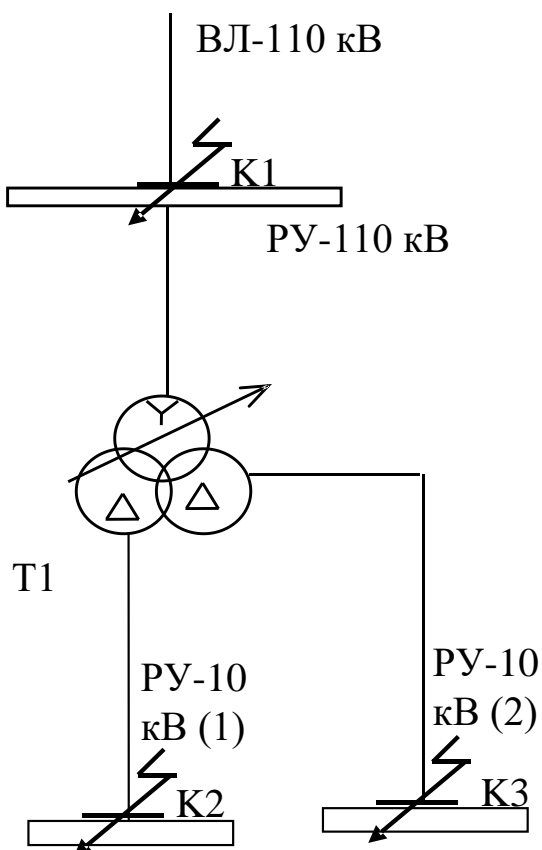


Рисунок 3 – «Расчётная схема для расчёта токов короткого замыкания» [15]

«Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети (рисунок 4)» [15].

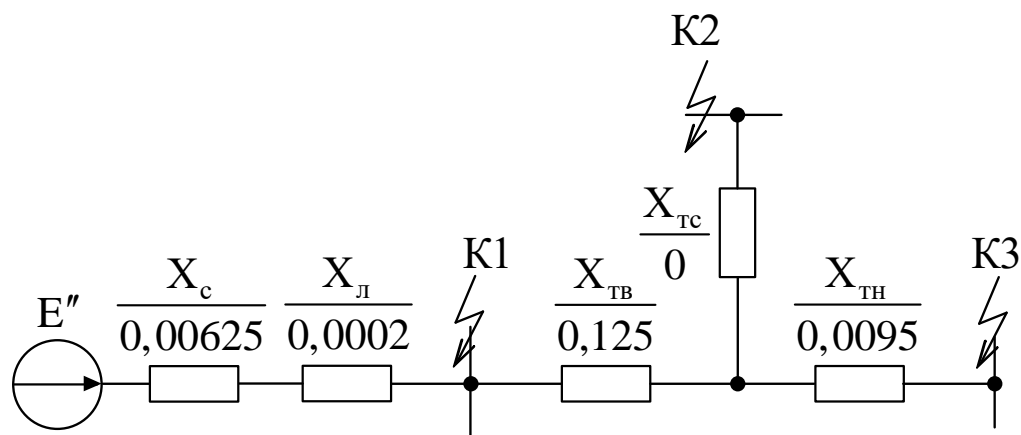


Рисунок 4 – «Схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия» [15]

«Базисная мощность» [15]:

$$S_{\sigma} = 25000 \text{ кВА} = 25 \text{ МВА.}$$

«Базисные напряжения» [15]:

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ},$$

$$U_{\sigma 2} = 11 \text{ кВ},$$

$$U_{\sigma 3} = 11 \text{ кВ}.$$

«Базисный ток» [15]:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}, \quad (8)$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,06 \text{ кА},$$

$$I_{\sigma 3} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 11} = 1,31 \text{ кА}.$$

«Сопротивление энергосистемы» [15]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\sigma}}{S_{\kappa}''}, \text{ о.е.}, \quad (9)$$

где S_{κ}'' - мощность энергосистемы.

$$x_{c*}^{\text{макс}} = \frac{25}{4000} = 0,00625 \text{ о.е.},$$

$$x_{c*}^{\text{мин}} = \frac{25}{3850} = 0,00649 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление питающей ВЛ-110 кВ» [15]:

$$x_{*l} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{b}}}{U_{\bar{b}}^2}, \text{ o.e.}, \quad (10)$$

где « x_0 , L – соответственно, индуктивное сопротивление, Ом/км, и длина ВЛ, км» [15].

«Для питающей ВЛ-110 кВ» [15]:

$$x_{*l} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{25}{115^2} = 0,0002 \text{ o.e.}$$

Трёхобмоточный трансформатор состоит из трёх обмоток, каждая из которых предназначена для своей фазы системы. Каждая обмотка имеет своё сопротивление, которое зависит от материала проводника, его длины, сечения, температуры и других факторов.

«Сопротивления обмоток трансформатора» [15]:

$$x_{*m\bar{b}} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{\text{к.вн}}, \% + U_{\text{к.вс}}, \% - U_{\text{к.сн}}, \%)}{100}, \quad (11)$$

$$x_{*m\text{с}} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{\text{к.вс}}, \% + U_{\text{к.сн}}, \% - U_{\text{к.вн}}, \%)}{100}, \quad (12)$$

$$x_{*m\text{н}} = \frac{S_{\bar{b}}}{S_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{\text{к.вн}}, \% + U_{\text{к.сн}}, \% - U_{\text{к.вс}}, \%)}{100}. \quad (13)$$

По условиям (11) – (13):

$$x_{*m\bar{b}} = \frac{25}{25} \cdot \frac{0,5 \cdot (22 + 12,5 - 9,5)}{100} = 0,125 \text{ o.e.},$$

$$x_{*m\text{с}} = \frac{25}{25} \cdot \frac{0,5 \cdot (12,5 + 9,5 - 22)}{100} = 0 \text{ o.e.},$$

$$x_{*mn} = \frac{25}{25} \cdot \frac{0,5 \cdot (22 + 9,5 - 12,5)}{100} = 0,095 \text{ о.е.}$$

«Ток трёхфазного КЗ» [15]:

$$I_K^{(3)} = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{б}. \quad (14)$$

«Суммарное (результатирующее) сопротивление» [15]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ о.е.} \quad (15)$$

«Результатирующее сопротивление к точке К1 в максимальном режиме работы ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия» [15]:

$$x_{рез.К1макс}^* = 0,00625 + 0,0002 = 0,00645 \text{ о.е.}$$

«Аналогично определяется результирующее сопротивление к точке К1 в минимальном режиме работы» [15]

$$x_{рез.К1мин}^* = 0,00649 + 0,0002 = 0,00669 \text{ о.е.}$$

«Значение тока трёхфазного КЗ в точке К1» [15]:

$$I_{К1макс}^{(3)} = \frac{1}{0,00645} \cdot 0,06 = 9,30 \text{ кА.}$$

«Значение тока трёхфазного КЗ в точке К1» [15]:

$$I_{K1_{мин}}^{(3)} = \frac{1}{0,00669} \cdot 0,06 = 8,97 \text{ кА.}$$

«Для точки К2» [15]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{тв} + x_{тс}, \text{ о.е.} \quad (16)$$

«Сопротивление к точке К2» [15]:

$$x_{рез.К2_{макс}} = 0,00625 + 0,0002 + 0,125 + 0 = 0,13145 \text{ о.е.,}$$

$$x_{рез.К2_{мин}} = 0,00649 + 0,0002 + 0,125 + 0 = 0,13169 \text{ о.е.}$$

«Значение тока трёхфазного КЗ в точке К2» [15]:

$$I_{К2_{макс}}^{(3)} = \frac{1}{0,13145} \cdot 1,31 = 5,82 \text{ кА.}$$

«Значение тока трёхфазного КЗ в точке К2» [15]:

$$I_{К2_{мин}}^{(3)} = \frac{1}{0,13169} \cdot 1,31 = 5,71 \text{ кА.}$$

«Сопротивление к точке К3» [15]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{тв} + x_{тн}, \text{ о.е.} \quad (17)$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 на ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия» [15]:

$$x_{рез.КЗ_{макс}} = 0,00625 + 0,0002 + 0,125 + 0,095 = 0,22645 \text{ о.е.},$$

$$x_{рез.КЗ_{мин}} = 0,00649 + 0,0002 + 0,125 + 0,095 = 0,22669 \text{ о.е.}$$

«Значение тока трёхфазного КЗ в точке КЗ» [15]:

$$I_{КЗ_{макс}}^{(3)} = \frac{1}{0,22645} \cdot 1,31 = 5,78 \text{ кА},$$

$$I_{КЗ_{мин}}^{(3)} = \frac{1}{0,22669} \cdot 1,31 = 5,77 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока» [15]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot \kappa_{уд} \cdot I_K^{(3)}, \text{ кА}, \quad (18)$$

где « $\kappa_{уд}$ – ударный коэффициент тока КЗ» [15].

«Расчёт ударного тока КЗ в расчётных точках схемы» [15]:

$$i_{уд1_{макс}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,30 = 23,67 \text{ кА},$$

$$i_{уд1_{мин}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,82 = 9,98 \text{ кА},$$

$$i_{уд2_{макс}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 5,71 = 9,96 \text{ кА},$$

$$i_{уд2_{мин}} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,81 = 5,56 \text{ кА},$$

$$i_{уд3_{макс}} = \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 5,78 = 10,22 \text{ кА},$$

$$i_{уд3_{мин}} = \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 5,77 = 10,20 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока КЗ» [15]:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА.} \quad (19)$$

«Расчёт двухфазного тока КЗ в расчётных точках схемы» [15]:

$$I_{K1\text{макс}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,30 = 8,05 \text{ кА,}$$

$$I_{K1\text{мин}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8,97 = 7,77 \text{ кА,}$$

$$I_{K2\text{макс}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,82 = 5,04 \text{ кА,}$$

$$I_{K2\text{мин}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,71 = 5,03 \text{ кА,}$$

$$I_{K3\text{макс}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,78 = 5,01 \text{ кА,}$$

$$I_{K3\text{мин}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 5,77 = 5,00 \text{ кА.}$$

«Результаты расчёта токов КЗ представлены в форме таблицы 5» [15].

Таблица 5 – «Результаты расчёта токов короткого замыкания» [15]

Параметр	Расчётная точка КЗ (макс/мин)		
	К1	К2	К3
$I^{(3)}$, кА	9,30/8,97	5,82/5,71	5,78/5,77
$i_{уд}$, кА	23,67/22,83	9,98/9,96	10,22/10,20
$I_K^{(2)}$, кА	8,05/7,77	5,04/5,03	5,01/5,00

«Проверяется соотношение полученных результатов расчёта токов КЗ на выводах расщеплённых обмоток напряжением 10 кВ силового трансформатора ПС-110/10/10 кВ.

Соответственно, данное значение в максимальном и минимальном режиме» [15]:

$$v_{\text{макс}} = \frac{(5,82 - 5,78)}{5,82} \cdot 100 = 0,69 \% \leq 5\%.$$

$$v_{\text{мин}} = \frac{(5,77 - 5,71)}{5,77} \cdot 100 \approx 1 \% \leq 5\%.$$

Таким образом, в работе проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах питающей ГПП-110/10/10 кВ в максимальном и минимальном режимах работы, обусловленных соответствующими положениями устройства РПН силового трансформатора данной подстанции. Полученные результаты используются в работе далее.

Выводы по разделу.

В работе получены результаты расчёта нагрузок участков и всего объекта проектирования (предприятия ООО «Русская катанка»).

Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах питающей ГПП-110/10/10 кВ в максимальном и минимальном режимах работы, обусловленных соответствующими положениями устройства РПН силового трансформатора данной подстанции.

3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

3.1 Проверка трансформаторов главной понизительной подстанции на допустимую перегрузку

Цель выбора и проверки силовых трансформаторов главной понизительной подстанции предприятия заключается в определении необходимых параметров трансформаторов для обеспечения безопасной, надежной и эффективной работы электрической сети предприятия. Эта задача включает в себя:

- определение номинальной мощности и напряжения трансформаторов, необходимых для обеспечения потребностей предприятия в электроэнергии;
- выбор типа трансформаторов, соответствующего требованиям по защите окружающей среды, надежности, эффективности и экономичности;
- проверка соответствия трансформаторов нормативным требованиям и стандартам, включая правила проектирования, строительства и эксплуатации электрических сетей и сооружений;
- проверка соответствия трансформаторов требованиям пожарной и электробезопасности;
- проверка качества производителя и соответствия продукции сертификатам и лицензиям;
- расчет тепловых и электрических нагрузок на трансформаторы, чтобы гарантировать их безопасную и надежную работу в течение всего срока службы;
- проверка соответствия трансформаторов требованиям по эксплуатации, включая условия установки, обслуживания и ремонта;
- определение необходимого количества резервных трансформаторов для обеспечения надежности электроснабжения предприятия.

Проводится проверочный расчёт мощности трансформатора ГПП предприятия ООО «Русская катанка».

«Расчётная мощность силового трансформатора» [5]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{м.зпт}}}{N \cdot K_3}, \quad (20)$$

где « $S_{\text{м.зпт}}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ПС-110/10/10 кВ» [5].

Значит:

$$25000 \text{ кВА} \geq \frac{17617,3}{2 \cdot 0,7} = 12583,8 \text{ кВА}.$$

Номинальная мощность единичного трансформатора больше расчётной.

«Исходя из полученных результатов можно предположить, что силовые трансформаторы марки ТРДН-25000/110, установленные на питающей ПС-110/10/10 кВ объекта до реконструкции, отвечают требованиям максимальной загрузки в нормальном режиме работы.

Проверка на соответствие номинальной мощности трансформатора подстанции» [5]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}}, \text{ МВА}, \quad (21)$$

$$S_{\text{ном.т}} = 25000 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р}} = 17617,3 \text{ кВА}.$$

«Проверка трансформатора на перегрузочную способность» [15]:

$$K_{3.н} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{ПС}}}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7, \quad (22)$$

$$K_{3.n} = \frac{S_{ПС}}{S_{НОМ.Т}} \leq 1,4. \quad (23)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [15]:

$$K_{3.n} = \frac{0,5 \cdot 17617,3}{25000} = 0,35 \leq 0,7.$$

«Проверка в послеаварийном режиме выполняется» [15]:

$$K_{3.n} = \frac{17617,3}{25000} = 0,70 \leq 1,4.$$

Следовательно, на ГПП предприятия ООО «Русская катанка» подтверждена правильность выбора двух силовых трансформаторов с расщеплённой обмоткой ТРДН-25000/110.

3.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Цель выбора количества и мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия ООО «Русская катанка» заключается в определении оптимального количества и мощности трансформаторов для обеспечения безопасной, надёжной и эффективной работы электрической сети цеха. Эта задача включает в себя:

- определение потребностей цеха в электроэнергии на основе анализа производственных процессов и энергопотребления оборудования;
- расчет электрических нагрузок, приходящихся на трансформаторы, учитывая фактор использования, коэффициент мощности, коэффициент силы тока и другие параметры;
- выбор количества трансформаторов, необходимого для обеспечения

надежности электроснабжения цеха, минимизируя риски отказов и аварий;

- выбор типа трансформаторов, соответствующего требованиям по защите окружающей среды, надежности, эффективности и экономичности;
- проверка соответствия трансформаторов нормативным требованиям и стандартам, включая проверку по нагрузочной способности;
- проверка выбранных трансформаторов по режиму перегрузки;
- определение необходимого количества резервных трансформаторов для обеспечения надежности электроснабжения цеха (в случае необходимости).

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ определяется их количеством, величиной активной нагрузки объектов, получающих питание от трансформаторной ТП, с учётом нормируемого значения коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции по условию» [6]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (24)$$

где « $\sum P_p$ – суммарная активная нагрузка объектов, кВт;

N – «количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [6];

β_t – нормируемое значение коэффициента активной загрузки трансформаторов подстанции» [6].

По условию (24) на примере ЦТП-1 :

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{6500}{2 \cdot 0,85} = 3823,5 \text{ кВА.}$$

«Исходя из результатов расчёта, рекомендованы к установке два силовых трансформатора ТМ-4000/10.

Проверки по условиям нормальной нагрузки и послеаварийной перегрузки выполняются» [6]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 6500}{4000} = 0,81 \leq 0,85.$$

$$K_{з.н} = \frac{6500}{4000} = 1,625 \leq 1,7.$$

Аналогично выбраны марки и типы трансформаторов для установки на остальных цеховых ТП № 2 – 7 (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты выбора трансформаторов ТП-10/0,4 кВ

Номер цеховой ТП	Количество и марка трансформаторов	$P_{p\Sigma}$, кВА
Цеховая ТП № 1	2×ТМ-4000/10	6500,0
Цеховая ТП № 2	2×ТМ-2000/10	3100,0
Цеховая ТП № 3	2×ТМ-1600/10	2500,0
Цеховая ТП № 4	2×ТМ-1250/10	2000,0
Цеховая ТП № 5	2×ТМ-1600/10	2400,0
Цеховая ТП № 6	2×ТМ-1250/10	1800,0
Цеховая ТП № 7	2×ТМ-1000/10	1200,0
Цеховая ТП № 8	2×ТМ-630/10	900,0

В работе выбраны и проверены новые трансформаторы для питания перспективной нагрузки металлургического завода.

Для решения данной задачи, предложено соорудить четыре двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ в форме КТП с двумя силовыми трансформаторами на каждой подстанции. Для реализации цели работы, приняты следующие типонаименования трансформаторов для установки на новых ЦТП-10/0,4 кВ:

- цеховая ТП № 5 – 2×ТМ-1600/10;
- цеховая ТП № 6 – 2×ТМ-1250/10;

– цеховая ТП № 7 – 2×ТМ-1000/10;

– цеховая ТП № 8 – 2×ТМ-630/10.

Все трансформаторы проверены по всем требуемым критериям.

Выводы по разделу.

Выбраны и проверены число, мощности и типономиналы силовых трансформаторов системы электроснабжения ООО «Русская Катанка».

На ГПП предприятия ООО «Русская катанка» подтверждена правильность выбора двух силовых трансформаторов с расщеплённой обмоткой ТРДН-25000/110.

Проверены и подтверждены типономиналы трансформаторов, установленных на четырёх существующих ЦТП-10/0,4 кВ предприятия.

Выбраны и проверены новые трансформаторы для питания перспективной нагрузки металлургического завода. Для решения данной задачи, предложено соорудить четыре двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ в форме КТП с двумя силовыми трансформаторами на каждой подстанции.

Выбраны и проверены следующие типономиналы трансформаторов для установки на новых ЦТП-10/0,4 кВ: 2×ТМ-1600/10, 2×ТМ-1250/10, 2×ТМ-1000/10, 2×ТМ-630/10.

4 Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов

Цель расчёта нормальных и максимальных рабочих токов заключается в определении максимальных и нормальных значений токов, которые могут проходить по электрическим сетям и оборудованию, с целью обеспечения безопасной, надёжной и эффективной работы электрической сети ООО «Русская Катанка».

Расчёт нормальных и максимальных рабочих токов имеет целью обеспечить надёжное и безопасное функционирование электрических систем и оборудования.

Основные цели и задачи такого расчёта заключаются в следующем:

- определение номинальных токов: целью расчёта нормальных токов является определение номинальных значений токов, которые должны проходить через электрические цепи в нормальном режиме работы, что позволяет выбирать подходящее оборудование с учётом его номинальной мощности и токовых характеристик;
- безопасность: расчёт нормальных токов необходим для обеспечения безопасности работников и оборудования, помогая убедиться, что номинальные токи не превышают предельно допустимые значения для используемых проводов, аппаратуры и защитных устройств;
- выбор проводов и кабелей: на основе расчёта нормальных токов выбираются соответствующие по сечению провода и кабели, что позволяет избежать перегрева и повреждений проводов в результате превышения номинальных токов;
- определение максимальных нагрузок: целью расчёта максимальных рабочих токов является определение максимальных значений токов, которые могут возникнуть в системе в результате перегрузок или коротких замыканий, что помогает оценить нагрузочную способность системы и выбрать подходящие защитные устройства;

- планирование и проектирование системы: расчёт максимальных рабочих токов необходим для планирования и проектирования системы электроснабжения, включая выбор защитных устройств, проверки трансформаторов ГПП и цеховых ТП, а также проводников;
- соблюдение стандартов и нормативов: расчёт нормальных и максимальных рабочих токов необходим для обеспечения соответствия требованиям нормативных документов и стандартов безопасности, а также для прохождения соответствующих проверок и аттестаций.

В целом, целью и задачами расчёта нормальных и максимальных рабочих токов является обеспечение надёжной, безопасной и эффективной работы электрических систем и оборудования ООО «Русская Катанка».

«Токи нормального режима» [16]:

$$I_{np} = \frac{S_{np}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (25)$$

где « n – количество линий, шт» [16].

Рабочие нормальные токи вводных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка»:

$$I_{в.нр.110} = \frac{17617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 46,2 \text{ A.}$$

$$I_{в.нр.10} = \frac{17617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 508,6 \text{ A.}$$

«Максимальный рабочий ток присоединений» [16]:

$$I_{нр.макс} = 1,4 \frac{S_{np}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (26)$$

Рабочие максимальные токи вводных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка»:

$$I_{в.пр.110\text{макс}} = 1,4 \cdot \frac{17617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 64,7 \text{ А.}$$

$$I_{в.пр.10\text{макс}} = 1,4 \cdot \frac{17617,3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 712,0 \text{ А.}$$

«Аналогично проведён расчёт токов линейных присоединений СЭС предприятия (таблица 8)» [16].

Результаты расчёта сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта токов вводных и линейных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка»

Наименование присоединения	Класс напряжения	Ток нормального режима, А	Максимальный рабочий ток, А
Ввод	110 кВ	46,2	64,7
	10 кВ	508,6	712,0
Секционные присоединения	110 кВ	-	64,7
	10 кВ	-	712,0
Линейные присоединения			
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14]	10 кВ	159,7	223,6
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14]	10 кВ	76,2	106,6
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14]	10 кВ	68,8	96,3
«Цеховой комплекс контроля производства» [14]	10 кВ	49,1	68,8
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	10 кВ	59,0	82,6
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	10 кВ	44,2	61,9
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14] (с применением водорода)	10 кВ	29,5	41,3
«Цеховой комплекс контроля производства» [14] (с применением водорода)	10 кВ	22,1	31,0

Результаты расчёта токов вводных и линейных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка» используются далее в работе при выборе и проверке:

- сечения проводников всех классов напряжения;
- основного оборудования всех классов напряжения;
- релейной защиты и автоматики питающей ГПП.

Выводы по разделу.

Проведён расчёт токов вводных и линейных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка».

Результаты расчёта планируется использовать при выборе и проверке основного оборудования и сетей в работе далее, а именно:

- сечения проводников всех классов напряжения;
- основного оборудования всех классов напряжения;
- релейной защиты и автоматики питающей ГПП.

5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

5.1 Выбор и проверка проводников

Как было установлено ранее, одной из задач работы является замена устаревших проводов марки АС на современные провода марки СИП (самонесущие изолированные провода). Провода марки СИП обладают несколькими преимуществами, которые делают их привлекательным выбором для использования в электрических системах:

- безопасность: провода СИП имеют изолированные проводники, что предотвращает возможность коротких замыканий и электрических поражений, что особенно важно для систем, где возможен контакт с людьми или другими проводящими поверхностями;
- устойчивость к воздействию окружающей среды: изоляция проводов обеспечивает защиту от влаги, пыли, химических веществ и других агрессивных воздействий окружающей среды, что позволяет использовать провода СИП в различных условиях, включая влажные или химически активные среды;
- удобство монтажа и эксплуатации: изоляция проводов СИП упрощает процесс монтажа и обслуживания, так как не требуется дополнительная изоляция и защитные меры при монтаже и подключении проводов;
- высокая надёжность: провода марки СИП обладают высокой надёжностью и долговечностью благодаря качественным материалам и технологиям производства, они обычно имеют длительный срок службы и минимальные вероятности возникновения проблем;
- широкий выбор типов и размеров: провода СИП производятся в различных типах и размерах, что позволяет выбирать подходящий вариант для конкретных требований и условий эксплуатации (включая классы напряжений до 1 кВ и выше 1 кВ);

– соответствие стандартам и нормативам: провода марки СИП соответствуют международным и национальным стандартам и нормативам безопасности, что обеспечивает их использование в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Таким образом, провода марки СИП представляют собой надёжное и безопасное решение для использования в электрических системах, обладая рядом преимуществ, которые делают их предпочтительным выбором для многих электрических сетей.

«В работе предлагается использовать в сети 110 кВ современный тип провода марки СИП-7, а в сети 10 кВ – провод марки СИП-3.

Выбор сечения по экономической плотности тока» [17]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (27)$$

где « j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [12].

«Проверка выбранного сечения провода в нормальном режиме» [17]:

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (28)$$

где « $I_{дон}$ – предельно – допустимое значение тока проводника, А» [12].

«Проверка в послеаварийном режиме работы» [17]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max}, \quad (29)$$

где « $I_{p.max}$ – максимальный ток, А» [11].

«Проверка по климатическим условиям» [17]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (30)$$

«Для линии 110 кВ принят провод марки СИП-7 1×120-110» [13]:

$$F_9 = \frac{46,2}{1,1} = 42 \text{ мм}^2.$$

$$390 \text{ A} \geq 46,2 \text{ A},$$

$$390 \text{ A} \geq 64,7 \text{ A},$$

$$120 \text{ мм}^2 = 120 \text{ мм}^2.$$

Результаты выбора сечения проводов представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора сечения проводов

Линия	$I_p, \text{ A}$	$I_{p,max}, \text{ A}$	Марка провода	$I_{доп.}, \text{ A}$
Питающая ВЛ-110 кВ				
ВЛ-110 кВ-Т1	46,2	64,7	СИП-7 1×120-110	390
ВЛ-110 кВ-Т2	46,2	64,7	СИП-7 1×120-110	390
Распределительные ВЛ-10 кВ				
Существующая (исходная) нагрузка				
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14]	159,7	223,6	СИП-3 1×150-10	450
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14]	76,2	106,6	СИП-3 1×70-10	265
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14]	68,8	96,3	СИП-3 1×70-10	265
«Цеховой комплекс контроля производства» [14]	49,1	68,8	СИП-3 1×35-10	175
Перспективная нагрузка				
«Цеховой комплекс приёма и подготовки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	59,0	82,6	СИП-3 1×50-10	240
«Цеховой комплекс расплавки первичного сырья» [14] (с применением водорода)	44,2	61,9	СИП-3 1×35-10	175
«Цеховой комплекс термической и механической обработки» [14] (с применением водорода)	29,5	41,3	СИП-3 1×25-10	160
«Цеховой комплекс контроля производства» [14] (с применением водорода)	22,1	31,0	СИП-3 1×25-10	160

Полученные результаты выбора и проверки проводников используются в работе далее.

5.2 Выбор и проверка электрических аппаратов

«В результате проведенного анализа для использования в распределительном устройстве 110 кВ ГПП-110/10/10 кВ, было принято решение выбрать современное комплектное РУ с элегазовой изоляцией (КРУЭ-110 кВ) марки ЯТЭ 110Л/2500 У2, произведенное ЗАО «ЗЭТО» (Великолукский завод электротехнического оборудования)» [8].

«Конструктивное выполнение ячейки комплектного КРУЭ-110 кВ марки ЯТЭ 110Л/2500 У2 (ЗАО «ЗЭТО»)» [8], представлено на рисунке 5.



Рисунок 5 – «Конструктивное выполнение ячейки комплектного распределительного устройства напряжением 110 кВ марки ЯТЭ 110Л/2500 У2 (ЗАО «ЗЭТО»)» [8]

«Для РУ-10 кВ было принято решение использовать вакуумное комплектное распределительное устройство с выкатным элементом КРУ-ЗЭТО-10, также произведенное ЗАО «ЗЭТО»)» [8].

«Конструктивное выполнение ячейки вакуумного комплектного распределительного устройства напряжением 10 кВ с выкатным элементом КРУ-ZETO-10 (ЗАО «ЗЭТО»)» [8] представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 – «Конструктивное выполнение ячейки вакуумного комплектного РУ-10 кВ с выкатным элементом КРУ-ZETO-10 (ЗАО «ЗЭТО»)» [8]

«В РУ-110 кВ и РУ-10 кВ приняты решения по выбору вводных выключателей следующих марок:

- РУ-110 кВ: ВГТ-110-31,5/2000 (элегазовые);
- РУ-10 кВ: ВБ-10-ПЗ-ZETO-31,5/2000 (вакуумные)» [8].

«Результаты выбора выключателей высокого напряжения» [8], представлены в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора выключателей ВН (на примере вводных присоединений) в системе ЭС предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
«Вводы 1 и 2, выключатели РУ-110 кВ: ВГТ-110-31,5/2000 (элегазовые)» [8]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 34,58 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 9,3 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 80 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 23,67 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,3^2 \cdot 3 = 259,47 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$
«Вводы 1 и 2, выключатели РУ-10 кВ: ВВ-10-ПЗ-ZЕТО-31,5/2000 (вакуумные)» [8]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 249,16 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 5,78 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,22 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,78^2 \cdot 3 = 100,23 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 = 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$

Результаты выбора разъединителей (на примере вводных присоединений) в системе ЭС предприятия, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора разъединителей (на примере вводных присоединений) в системе ЭС предприятия

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
«Разъединители РУ-110 кВ: РГ-16-110/1000 УХЛ1» [8]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 34,58 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 23,67 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,3^2 \cdot 3 = 259,47 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$

«В РУ-10 кВ питающей ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия разъединители не требуются, они заменены втычными контактами выбранных ячеек.

Для питания устройств вторичных цепей (измерения, учёт и контроль электроэнергии, релейная защита и автоматика и прочие) используются измерительные трансформаторы тока и напряжения» [15].

Их основной выбор осуществляется по потребляемой мощности в требуемом классе точности.

В работе на стороне 110 кВ выбраны элегазовые выключатели бакового типа со встроенными трансформаторами тока. Поэтому отдельно выбирать ТТ на стороне 110 кВ нет необходимости.

В работе выбираются ТТ для установки на стороне 10 кВ.

«Результаты выбора трансформаторов тока на стороне 10 кВ представлены в таблице 12» [15].

Таблица 12 – Результаты проверки ТТ на стороне 10 кВ

Тип ТН	Схема ТТ	Мощность на один ТТ, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ТОЛ-СЭЩ-10-21	«неполная звезда»	30	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{60,0}{\leq 60,0}$

«Выбор трансформаторов напряжения на сторонах 110 кВ и 10 кВ представлены в таблице 13» [15].

Таблица 13 – Результаты выбора ТН на сторонах 110 кВ и 10 кВ

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
ЗНОГ-110/УХЛ1	2	600/2	1,0	$\frac{110}{110}$	$\frac{1200,0}{\leq 1200,0}$
НАМИТ-10	2	100/2	1,0	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{\leq 200,0}$

В результате проведённого анализа литературы, для «защиты от атмосферных (внешних) и коммутационных (внутренних) перенапряжений на сторонах 110 кВ и 10 кВ, предлагается применить современные ограничители перенапряжений» [15].

Основная функция ограничителей перенапряжения – защита электрического оборудования от повреждений, которые могут быть вызваны перенапряжениями в сети. Перенапряжения могут возникать вследствие молниевых разрядов, переключений в сети или других внешних воздействий, и они могут нанести серьезный ущерб электрооборудованию, вплоть до его выхода из строя. Ограничители перенапряжения предотвращают повреждения, предоставляя путь для утечки излишнего электрического заряда в землю [18].

Они устанавливаются на вводах воздушных и кабельных линий электропередачи, а также в ячейках 10 кВ совместно с выбранными ранее вакуумными выключателями (с целью гашения перенапряжения, возникшего в результате появления «вакуумной дуги»). Таким образом, ограничители перенапряжения играют важную роль на подстанциях, обеспечивая защиту оборудования, стабильность и надёжность системы (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
«РУ-110 кВ: ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПНп-110/800/146-10-III-УХЛ1 (на примере вводного присоединения)» [18]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 34,58 \text{ А.}$	$I_{ном} = 800 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 23,67 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 146 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,3^2 \cdot 3 = 259,47 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 146^2 \cdot 3 = 63948 \text{ кА}^2\text{с.}$
«РУ-10 кВ: ограничители перенапряжения нелинейные типа ОПН-П-10/12,7/10/1,1 (на примере вводного присоединения)» [18]	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 249,16 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,22 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 12,7 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 5,78^2 \cdot 3 = 100,23 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 12,7^2 \cdot 3 = 483,87 \text{ кА}^2\text{с.}$

Выбранное оборудование представлено в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе, с целью решения основных задач, проведена полная модернизация оборудования ГПП ООО «Русская Катанка».

Установлено, что дальнейшее применение ячеек распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ нецелесообразно, в виду их полного износа, поэтому было принято решение об их полной замене на такие типы:

- в сети 110 кВ – на ячейки «с элегазовой изоляцией КРУЭ-110 кВ марки ЯТЭ 110Л/2500 У2»;
- в сети 110 кВ – на ячейки «с вакуумной изоляцией марки КРУ-ZЕТО-10».

Выбрано соответствующее оборудование для применения в данных ячейках:

- выключатели (в ячейках 110 кВ и 10 кВ);
- разъединители (в ячейках 110 кВ);
- измерительные трансформаторы тока и напряжения (в ячейках 110 кВ и 10 кВ);
- ограничители перенапряжения (в ячейках 110 кВ и 10 кВ).

Все ячейки и установленное в них оборудование проверено и соответствует всем требованиям.

6 Выбор устройств релейной защиты и систем учёта

6.1 Выбор устройств релейной защиты

Релейная защита и автоматика (далее – РЗА) играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности системы электроснабжения предприятия.

В СЭС объекта исследования, она выполняет следующие основные функции и задачи:

- обнаружение и изоляция аварийных ситуаций: релейная защита отвечает за надежное обнаружение аварийных ситуаций, таких как короткие замыкания, перегрузки, недопустимые напряжения и токи, инициируя соответствующие защитные действия для изоляции проблемы и предотвращения распространения сбоев по системе;
- управление и контроль процессов: автоматика обеспечивает управление и контроль различными процессами в системе электроснабжения, включая переключение оборудования, регулирование напряжения и частоты, а также координацию работы различных устройств;
- быстрая реакция на события: РЗА реагируют на события в системе электроснабжения мгновенно, в реальном времени, что позволяет минимизировать время простоя и уменьшить риск возникновения серьезных повреждений оборудования;
- предотвращение аварийных ситуаций: системы релейной защиты и автоматики работают для предотвращения возникновения аварийных ситуаций путем оперативного отключения или изоляции поврежденных участков системы до их устранения;
- мониторинг и диагностика: РЗА предоставляют информацию о состоянии и работе оборудования, что позволяет оперативно выявлять

- и устранять потенциальные проблемы, а также проводить диагностику и анализ событий для оптимизации работы системы;
- согласование работы устройств: релейная защита и автоматика обеспечивают согласованную работу различных устройств и компонентов системы электроснабжения, обеспечивая непрерывность и стабильность работы системы в целом.

Таким образом, релейная защита и автоматика являются неотъемлемой частью современных систем электроснабжения предприятий, обеспечивая их надежную и безопасную работу.

«Устройства РЗиА устанавливаются на выключателях питающей ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка». В связи с этим фактом, далее в работе необходимо выбрать:

- типы РЗиА для защиты питающих и отходящих линий в сетях 110 кВ и 10 кВ, а также на секционных присоединениях 10 кВ;
- типы РЗиА для защиты силовых трансформаторов с расщеплённой обмоткой;
- конкретные марки и производителей блоков РЗиА для применения на объекте» [1].

«Для защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения ГПП-110/10 кВ предприятия ООО «Русская катанка», должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита;
- защита от перегрузки;
- защита от токов короткого замыкания (максимальная токовая защита трансформатора);
- температурная защита;
- газовая защита трансформатора;
- защита от падения напряжения» [1].

«На главных понизительных подстанциях на вводных, линейных и секционных присоединениях систем электроснабжения промышленных предприятий, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита;
- защиты от токов короткого замыкания (максимальная токовая защита и токовая отсечка);
- защита от перегрузки;
- защита от снижения напряжения;
- защита от переходных процессов;
- защита от замыкания на землю» [1].

В работе предлагается принять для применения в СЭС предприятия с целью надёжной «защиты силовых трансформаторов и всех присоединений 110 и 10 кВ, современный микропроцессорный блок релейной защиты марки»[3] БЭМП РУ (производитель – АО «ЧЭАЗ») (рисунок 7).



Рисунок 7 – Блок РЗа марки БЭМП РУ (АО «ЧЭАЗ») для применения в СЭС предприятия

Такие блоки – надёжны, экономичны, легки в настройке, обслуживании и эксплуатации.

Они пригодны для защиты как линий, так и трансформаторов, являясь, таким образом, универсальными.

Самое основное преимущество данных устройств – они легко интегрируются в автоматизированную систему управления и контроля электроэнергией (АИИСКУЭ) типа SCADA, которая планируется к установке в системе электроснабжения металлургического завода (выбирается и рассматривается далее).

Таким образом, выбор блоков БЭМП РУ, для применения на питающей ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка», обоснован.

6.2 Выбор устройств систем учёта

Далее в работе проводится разработка и выбор рациональных решений по применению информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка».

Известно, что информационные системы контроля и учёта электрических параметров на трансформаторных подстанциях являются важной частью энергетической инфраструктуры.

Они предназначены для мониторинга, управления и обеспечения эффективной работы трансформаторных подстанций.

В результате проведения анализа по данной тематике, установлено, что информационные системы контроля и учёта электрических параметров на трансформаторных подстанциях должны включать следующие основные аспекты [19]:

- непосредственный мониторинг электрических (напряжение, токи, мощности, нагрузки, частота сети и прочие) и неэлектрических

(температура оборудования, давление в трансформаторах и прочие) параметров;

- контроль и учёт потребления электроэнергии;
- диагностика и обнаружение неисправностей в оборудовании;
- системы безопасности (пожарная безопасность, электробезопасность);
- система удаленного управления оборудованием;
- системы управления событиями, включающие автоматическое реагирование на непредвиденные события с целью минимизации времени простоя;
- удобство работы с данными;
- сетевая интеграция с другими системами для обеспечения единого управления энергетической инфраструктурой;
- энергосбережение и оптимизация, включающие мониторинг и управление энергопотреблением с целью оптимизации работы систем.

Такие информационные системы обеспечивают более надежное и эффективное управление трансформаторными подстанциями, а также помогают в предотвращении аварий и улучшении производительности энергетической системы.

«Решение поставленной задачи состоит во внедрении в систему электроснабжения объекта новой современной и перспективной» [19] автоматизированной информационно-измерительной системы учёта энергоресурсов (АИИСКУЭ), техническая и экономическая целесообразность которой очевидна.

«Таким образом, в результате проведённого анализа наиболее перспективных современных типов АИИСКУЭ, для применения» [19] в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в проектируемой системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка», рекомендовано использовать системы типа SCADA [19].

Известно, что SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – это системы управления и сбора данных, которые играют важную роль в мониторинге, управлении и контроле электроэнергии.

Они предоставляют операторам и инженерам возможность централизованного контроля над энергетической инфраструктурой и технологическими процессами.

В контексте управления распределительной электроэнергией, SCADA системы обеспечивают выполнение всех важнейших функций, приведённых ранее.

Системы SCADA в электроэнергетике обеспечивают эффективное управление и контроль над электроэнергией во всей энергосистеме, включая питающие подстанции, что является важным элементом обеспечения надежности и эффективности её работы.

«Рассмотрены и проанализированы основные модели (марки) АИИСКУЭ (таблица 15), на основании чего выбрана и предложена наиболее перспективная модель для применения на объекте исследования» [19].

Таблица 15 – Анализ наиболее перспективных современных моделей АИИСКУЭ на основе системы SCADA для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров на объекте проектирования

Критерий/модель (марка) системы АИИСКУЭ, производитель	УСПД 164-01М	Меркурий 230 ART	Матрица
Применяемость для поставленной задачи работы	+	+	+
Надёжность работы системы	+	+	+
Доступность, удобство использования, поддержка ПО	+	+	-
Простота монтажа, обслуживания и ремонта	+	-	-
Применяемость с другими системами учёта и контроля энергоресурсов	+	+	+
Относительно низкая стоимость	+	+	-

«Таким образом, в результате проведённого анализа наиболее перспективных современных моделей (марок) АИИСКУЭ, для применения» [19] в качестве информационной системы контроля и учёта электрических

параметров в проектируемой системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка» рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок [2].

Также преимуществом данной системы является тот факт, что выбранные ранее блоки РЗиА марки БЭМП РУ (АО «ЧЭАЗ») для применения в СЭС предприятия легко интегрируются в автоматизированную систему управления и контроля электроэнергией (АИИСКУЭ) типа SCADA, которая выбрана и предложена к установке в системе электроснабжения металлургического завода. Таким образом, выбор данной АИИСКУЭ для применения на объекте проектирования обоснован.

Выводы по разделу.

Для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка» рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок.

Для применения в СЭС предприятия выбраны блоки РЗиА марки БЭМП РУ (АО «ЧЭАЗ»), которые легко интегрируются в выбранную АИИСКУЭ. Таким образом, на предприятии обеспечивается единая информационная, измерительная и защитная система.

Данный аспект является современным перспективным решением, обеспечивающим полную автоматизацию в СЭС.

7 Расчёт молниезащиты и заземления

Молниезащита и заземление играют важную роль на главной понижающей подстанции предприятия в обеспечении безопасности электрооборудования и персонала, а также в защите от негативных последствий молниевых разрядов и электростатических разрядов.

Система молниезащиты предназначена для предотвращения повреждений, вызванных прямым ударом молнии в оборудование подстанции. Молниезащита включает в себя установку молниеотводов, которые направляют электрический разряд молнии в землю, обеспечивая безопасный путь для её отвода. Кроме прямых ударов молнии, молниезащита также защищает от перенапряжений, которые могут возникнуть в сети в результате молниевых разрядов поблизости. Эти перенапряжения могут повредить электрооборудование, поэтому система молниезащиты включает в себя различные защитные устройства, такие как разрядники, для предотвращения повреждений.

Заземление является неотъемлемой частью системы молниезащиты и также играет важную роль в обеспечении безопасности и нормальной работы электрооборудования. Заземление представляет собой систему электрических соединений с землёй, которая обеспечивает эффективный отвод электрического заряда в землю, защищая от опасных разрядов и создавая надёжный электрический контур для работы оборудования.

Правильная установка и обслуживание системы молниезащиты и заземления помогает минимизировать риск возникновения пожаров и защищает персонал и имущество от поражений током в случае молнии или других электрических событий. Таким образом, молниезащита и заземление на главной понижающей подстанции предприятия обеспечивают надёжную защиту от молнии и перенапряжений, а также обеспечивают безопасную работу электрооборудования и персонала.

«Радиус зоны защиты одиночного молниеотвода» [18]:

$$r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right), \quad (31)$$

где « h – высота молниеотвода, м;

h_x – расчетная высота, м» [18].

«Коэффициент P » [18]:

$$P = \frac{5,5}{\sqrt{h_a}}, \quad (32)$$

где « h_a – расчётная активной части молниеотвода, м» [18].

«Расчётная высота активной части» [18]:

$$h_a = h - h_x, \quad (33)$$

«Для двух молниеотводов» [18]:

$$2b_x = 4r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a}, \quad (34)$$

где « h_a – разность высот, м;

a – расстояние между молниеотводами, м» [18].

«Высота молниеотвода» [18]:

$$h_0 = h - \frac{a}{7 \cdot p}, \quad (35)$$

$$D \leq 8 \cdot p \cdot (h - h_x) = 8 \cdot p \cdot h_a. \quad (36)$$

При этом:

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33-17}} = 1,375,$$

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33-7,9}} = 1,1.$$

«Радиус зоны защиты» [18]:

$$r_X = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33-17}{33+17} \cdot 1,375 = 23,5 \text{ м},$$

$$r_X = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33-7,9}{33+7,9} \cdot 1,1 = 35,6 \text{ м}.$$

$$2b_X = 4 \cdot 23,5 \cdot \frac{7 \cdot 16 - 92,5}{14 \cdot 16 + 92,5} = 5,8 \text{ м},$$

$$2b_X = 4 \cdot 35,6 \cdot \frac{7 \cdot 25,1 - 92,5}{14 \cdot 25,1 + 92,5} = 26,7 \text{ м}.$$

«Основное условие защищаемой зоны молниеотвода выполняется» [18]:

$$D = 91 \text{ м} \leq 8 \cdot 1,375 \cdot (33 - 17) = 176 \text{ м},$$

$$D = 91 \text{ м} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (33 - 7,9) = 221 \text{ м}.$$

«Сопротивление контура заземления» [18]:

$$R_3 = \frac{A \cdot \rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{(L_2 + L_B)}, \quad (37)$$

где « S – площадь контура заземления, м^2 ;

h_2 – длина горизонтальных заземлителей, м» [18].

$$A = \frac{0,444 - 0,84 \cdot (l_B + h_T)}{\sqrt{S}}, \quad (38)$$

$$A = \left[\frac{0,444 - 0,84 \cdot (2,5 + 0,7)}{\sqrt{21600}} \right] = 0,015,$$

$$R_3 = \frac{0,015 \cdot 100}{\sqrt{21600}} + \frac{100}{(11044 + 377,5)} = 0,018 \text{ Ом.}$$

«Условие проверки контура заземления» [12]:

$$R_3 \leq R_{3.н} = 0,5 \text{ Ом.} \quad (39)$$

$$0,018 \text{ Ом} \leq 0,5 \text{ Ом.}$$

«Суммарное количество вертикальных заземлителей» [18]:

$$n_{\Pi} = \frac{L_{\Pi}}{a}, \quad (40)$$

где « a – расстояние между заземлителями, м» [18].

$$n_{\Pi} = \frac{585}{5} = 117 \text{ шт.}$$

«Напряжение прикосновения» [18]:

$$U_{пр} = I_k \cdot R_3 \cdot K_{пр}, \quad (41)$$

где « $K_{пр}$ – коэффициент прикосновения» [18].

«Коэффициент прикосновения» [18]:

$$K_{пр} = M \cdot \beta \cdot \left(\frac{a \cdot \sqrt{S}}{l_B \cdot L_T} \right)^{0,45}, \quad (42)$$

где « β – контактный коэффициент» [18].

$$\beta = \frac{R_u}{R_u + R_c}, \quad (43)$$

где « R_u – сопротивление тела человека, Ом;

R_c – сопротивление растекания тока со ступней человека, Ом» [18].

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 7500} = 0,12,$$
$$K_{np} = 0,75 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{5 \cdot \sqrt{21600}}{2,5 \cdot 11044} \right)^{0,45} = 0,02,$$

$$U_{np} = 25000 \cdot 0,018 \cdot 0,02 = 9 \text{ В}.$$

«Условие проверки контура заземления» [18]:

$$U_{np} \leq U_{np.\dot{\omega}on} = 100 \text{ В}. \quad (44)$$

$$U_{np} = 9 \text{ В} \leq U_{np.\dot{\omega}on} = 100 \text{ В}.$$

Установлено, что в контуре заземления подстанции необходимо использовать 117 вертикальных электродов, при выполнении контура заземления в форме «замкнутой сетки» по всей площади подстанции.

Выводы по разделу.

Рассчитаны и проверены системы молниезащиты и заземления ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия.

Система молниезащиты необходима для защиты основного оборудования подстанции от атмосферных перенапряжений. Определено, что для полноценной защиты подстанции необходимы шесть вертикальных молниеотводов. Установлено, что в контуре заземления подстанции необходимо использовать 117 вертикальных электродов, при выполнении контура заземления в форме «замкнутой сетки» по всей площади подстанции.

Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка» с проверкой основных решений по выбору основного оборудования.

В работе предложено «внедрить следующие мероприятия по реконструкции системы электроснабжения» [10] объекта исследования:

- внедрить мероприятия по повышению уровня автоматизации учёта электроэнергии на предприятии ООО «Русская Катанка», путём установки современной автоматизированной системы контроля и учёта электроэнергии в узлах данного металлургического завода;
- осуществить реконструкцию схемы внешнего электроснабжения объекта с учётом перспективной нагрузки. Для данной цели предлагается соорудить новое РУ-10 кВ, подключив его перспективную нагрузку на вторые части расщеплённых обмоток 10 кВ двух силовых трансформаторов ПС-110/10/10 кВ;
- «провести модернизацию оборудования распределительных устройств, а также системы РЗиА на питающей ПС-110/10/10 кВ;
- выполнить замену проводов марки АС на современные изолированные провода марки СИП на питающей линии 110 кВ и отходящих линиях 10 кВ» [10].

Разработанные мероприятия учитывают и предполагают реконструкцию и модернизацию элементов системы электроснабжения предприятия. Их конечной целью является повышение параметров и показателей надёжности, экономичности, бесперебойности подачи электроэнергии, а также безопасности на объекте исследования.

В работе получены результаты расчёта нагрузок участков и всего объекта проектирования (предприятия ООО «Русская катанка»). Проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания на шинах питающей ГПП-110/10/10 кВ в максимальном и минимальном режимах работы,

обусловленных соответствующими положениями устройства РПН силового трансформатора данной подстанции.

Выбраны и проверены число, мощности и типонаминалы силовых трансформаторов системы электроснабжения ООО «Русская Катанка». На ГПП предприятия подтверждена правильность выбора двух силовых трансформаторов с расщеплённой обмоткой ТРДН-25000/110. Проверены и подтверждены типонаминалы трансформаторов, установленных на четырёх существующих ЦТП-10/0,4 кВ предприятия. Выбраны и проверены новые трансформаторы для питания перспективной нагрузки металлургического завода. Для решения данной задачи, предложено соорудить четыре двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ в форме КТП с двумя силовыми трансформаторами на каждой подстанции. Выбраны и проверены следующие типонаминалы трансформаторов для установки на новых ЦТП-10/0,4 кВ: 2×ТМ-1600/10, 2×ТМ-1250/10, 2×ТМ-1000/10, 2×ТМ-630/10.

Проведён расчёт токов вводных и линейных присоединений ГПП ООО «Русская Катанка». Результаты расчёта использованы при выборе и проверке основного оборудования и сетей в работе далее, а именно:

- сечения проводников всех классов напряжения;
- основного оборудования всех классов напряжения;
- релейной защиты и автоматики питающей ГПП.

В работе, с целью решения основных задач, проведена полная модернизация оборудования ГПП ООО «Русская Катанка».

Установлено, что дальнейшее применение ячеек распределительных устройств напряжением 110 кВ и 10 кВ нецелесообразно, в виду их полного износа, поэтому было принято решение об их полной замене на такие типы:

- в сети 110 кВ – на ячейки «с элегазовой изоляцией КРУЭ-110 кВ марки ЯТЭ 110Л/2500 У2»;
- в сети 10 кВ – на ячейки «с вакуумной изоляцией марки КРУ-ZETO-10».

Выбрано соответствующее оборудование для применения в данных

ячейках:

- выключатели (в ячейках 110 кВ и 10 кВ);
- разъединители (в ячейках 110 кВ);
- измерительные трансформаторы тока и напряжения (в ячейках 110 кВ и 10 кВ);
- ограничители перенапряжения (в ячейках 110 кВ и 10 кВ).

Все ячейки и установленное в них оборудование проверено и соответствует всем требованиям.

Для применения в качестве информационной системы контроля и учёта электрических параметров в системе электроснабжения предприятия ООО «Русская катанка» рекомендовано использовать систему АИИСКУЭ на основе системы SCADA с использованием трёхфазного счётчика СЕ 304 с устройством сбора и передачи данных марки УСПД 164-01М отечественного производителя ТМ «Энергомера», который лучше многих аналогичных отечественных разработок.

Для применения в СЭС предприятия выбраны блоки РЗиА марки БЭМП РУ (АО «ЧЭАЗ»), которые легко интегрируются в выбранную АИИСКУЭ. Таким образом, на предприятии обеспечивается единая информационная, измерительная и защитная система. Данный аспект является современным перспективным решением, обеспечивающим полную автоматизацию в СЭС.

Рассчитаны и проверены системы молниезащиты и заземления ПС-110/10/10 кВ системы электроснабжения предприятия. Система молниезащиты необходима для защиты основного оборудования подстанции от атмосферных перенапряжений. Определено, что для полноценной защиты подстанции необходимы шесть вертикальных молниеотводов. Установлено, что в контуре заземления подстанции необходимо использовать 117 вертикальных электродов, при выполнении контура заземления в форме «замкнутой сетки» по всей площади подстанции.

Таким образом, расчётным путём подтверждены все принятые решения первого этапа работы.

Список используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
2. АИИСКУЭ промышленные ЭНЕРГОМЕРА. [Электронный ресурс]: URL: <https://energomera.nt-rt.ru/catalog/askue-promyslennye> (дата обращения: 18.02.2024).
3. Блок РЗиА марки БЭМП РУ (АО «ЧЭАЗ»). [Электронный ресурс]: URL: <https://www.cheaz.ru/assets/images/production/5-urz/1-m-rza/2-bemp-ru/fstek/bemp-fstek.pdf> (дата обращения: 18.02.2024).
4. 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: 18.02.2024).
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
7. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
8. Оборудование ЗАО «ЗЭТО». Каталог. [Электронный ресурс]: URL: https://zeto.ru/products_and_services/catalog/ (дата обращения: 18.02.2024).
9. ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «РУССКАЯ КАТАНКА» [Электронный ресурс]: URL: https://zachestnyibiznes.ru/company/ul/1126324004850_6324028991_OOO-RUSKAT (дата обращения: 18.02.2024).
10. ООО «РУСКАТ» [Электронный ресурс]: URL: <https://companium.ru/id/1126324004850-ruskat> (дата обращения: 18.02.2024).
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

13. Провод марки СИП – его виды и классификация. [Электронный ресурс]: URL: <https://elektrik-a.su/kabeli-i-provoda/silovye/provod-marki-sip-199> (дата обращения: 18.02.2024).

14. Производство стали – технология, этапы, оборудование [Электронный ресурс]: URL: <https://met-all.org/stal/proizvodstvo-stali-tehnologiya-etapy-oborudovanie.html> (дата обращения: 19.02.2024).

15. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 18.02.2024).

16. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

17. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

18. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.