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 Реконструкция РП-10 кВ предприятия по производству каучука

Студент М. А. Жирнов
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель к.т.н., О. В. Самолина
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Целью данной работы является реконструкция распределительного пункта напряжением 10 кВ (далее – РП-10 кВ) системы электроснабжения промышленного предприятия по производству каучука.

Для решения поставленной задачи, в работе выполнен в работе анализ исходных данных, на основании которого осуществлены необходимые обоснованные мероприятия по реконструкции РП-10 кВ системы электроснабжения промышленного предприятия по производству каучука.

На основе полученных результатов расчёта нагрузок потребителей, а также расчёта токов КЗ, в работе выбрана и обоснована схема электрических соединений объекта реконструкции, осуществлён выбор проводников электрических сетей, а также проведён выбор электрических аппаратов в системе электроснабжения объекта реконструкции и проверочный расчёт данных элементов всей системы электроснабжения предприятия.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия для безопасного выполнения работ с последующим их внедрением в системе электроснабжения объекта реконструкции.

Содержание

Введение 4
1 Характеристика объекта реконструкции 7
1.1 Характеристика технологического процесса на предприятии по производству каучука 7
1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения предприятия по производству каучука 11
1.3 Характеристика потребителей предприятия по производству каучука .. 15
1.4 Обоснование необходимости проведения реконструкции 22
2 Реконструкция системы электроснабжения предприятия по производству каучука 25
2.1 Расчёт электрических нагрузок 25
2.2 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов питающей ГПП .. 30
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП 33
2.4 Выбор сечения проводников 38
2.5 Расчёт токов короткого замыкания 42
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов 49
3 Охрана труда на объекте 56
3.1 Анализ вредных и опасных факторов, анализ воздействия объекта на окружающую среду, анализ возможных аварийных ситуаций 56
3.2 Техника безопасности на объекте 58
3.3 Пожарная безопасность 61
3.4 Экологическая безопасность 64
Заключение 67
Список используемых источников 70

Введение

В работе детально рассматривается реконструкция системы электроснабжения распределительного пункта напряжением 10 кВ (далее – РП-10 кВ) предприятия по производству каучука, в основе производственной деятельности которой лежит непосредственное производство и реализация синтетического и бутадиенового каучука, который применяется в последующем цикле производства готовых изделий (резины, автомобильные шины, изделия для медицинской промышленности, различные прокладки и подставки, герметические влагостойкие изделия, а также изоляционные изделия для электротехнической промышленности). Данный аспект формирует системы электроснабжения объекта реконструкции.

Известно, что системы электроснабжения современных участков и цехов предприятия по производству каучука являются важным звеном энергетики регионов и страны в целом. Они обеспечивают технологический процесс непосредственного получения синтетического и бутадиенового каучука, а также их последующую реализацию. Кроме того, на предприятии по производству каучука также выполняют непосредственное обслуживание, монтажные и ремонтные работы технологического оборудования предприятия различного рода, обеспечивая, таким образом, полный замкнутый технологический цикл на данном предприятии. Применение современных типов схем и оборудования для процесса непосредственного производства продукции предприятия по производству каучука различного рода, а также использование их при непосредственном обслуживании, проведении монтажных и ремонтных работ любой сложности и трудоёмкости весьма выгодно, так как этот фактор обеспечивает мощностями технологический процесс всего предприятия в условиях, когда невозможно или очень проблематично применение классических схемных решений и устаревшего оборудования, что делает системы электроснабжения предприятия по производству каучука практически

незаменимым инструментом в технологическом процессе всего предприятия, а также в совокупности – всей промышленности страны. Одна из таких производственных систем электроснабжения предприятия по производству каучука детально рассматривается и реконструируется в данной работе.

Целью данной работы является реконструкция РП-10 кВ системы электроснабжения производственных систем предприятия по производству каучука.

Объектом исследования в данной работе является РП-10 кВ системы электроснабжения производственных и вспомогательных технологических систем предприятия по производству каучука.

Предметом исследования являются схема электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения производственных и вспомогательных технологических систем предприятия по производству каучука, а также элементы системы электроснабжения объекта исследования: электрические сети питающей и распределительной сети, а также электрические аппараты номинальным напряжением 10 кВ, установленные на РП-10 кВ.

Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к проектируемым, реконструируемым и модернизируемым системам электроснабжения объектов промышленных предприятий (в частности – предприятий перерабатывающей промышленности), а именно: обеспечение необходимого уровня надёжности, экономичности и электробезопасности объектов и систем электроснабжения производственных и вспомогательных технологических систем, находящихся на стадии реконструкции и модернизации [1]. Актуальность исследования в работе также обусловлена и подтверждается необходимостью качественных мероприятий по проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятий отечественного промышленного и энергетического комплекса всех типов согласно действующим нормативам и основным положениям, приведённым в программе [18]. Для качественной реализации указанной основной цели

работы, в данной работе осуществляется решение следующих основных поставленных задач, в частности:

– анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для решения основных задач. На основе полученных данных анализа, проводится обоснование необходимости внедрения соответствующих решений в схеме электрических соединений объекта реконструкции;

– непосредственная реконструкция схемы электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения производственных и вспомогательных систем электроснабжения предприятия по производству каучука с конечным выбором целесообразных и оптимальных схемных технических решений на всех уровнях, а также выбор электрических сетей и аппаратов для их установки на РП-10 кВ. В связи с этим, в работе проводятся необходимые расчёты электрических нагрузок, выбор и проверка силовых трансформаторов на понизительных подстанциях, выбор компенсирующих устройств, выбор и проверка сечения проводников, расчет токов КЗ, выбор и проверка электрических аппаратов спроектированной системы электроснабжения объекта;

– разработка мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения объекта, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности, для их применений в РП-10 кВ системы электроснабжения производственных и вспомогательных цехов и участков предприятия по производству каучука.

Все расчёты и проверки, а также выбор принятых решений, в работе проводятся, исходя из нормативно – технических источников с непосредственным использованием рекомендованной технической нормативной и учебной литературы. При выполнении работы используются технические сведения и знания, полученные из типовых рабочих проектов.

Характеристика объекта реконструкции

1.1 Характеристика технологического процесса на предприятии по производству каучука

Рассматриваемая в работе система электроснабжения производственных и вспомогательных цехов и участков предприятия по производству каучука, которую питает рассматриваемый в работе РП-10 кВ, территориально расположена в промышленной зоне вне населённых пунктов и жилых кварталов.

Данные крупные промышленные объекты рекомендовано располагать вне населённых пунктов, что связано с многочисленными экологическими факторами, в частности [12]:

– прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами;

– влияние на атмосферный воздух;

– высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений;

– влияние мощных шумов на здоровье и людей и экологическую систему в целом.

В связи с развитием высоких современных технологий в стране, в свете научно-технического прогресса, введения в эксплуатацию новых мощностей в условиях острого дефицита энергоресурсов, в современном обществе возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые специализируются на производстве и реализации готовой продукции из каучука, а также обслуживании, монтаже и ремонте оборудования и установок различного типа, применяемых на предприятии для получения готовой продукции согласно технологическому процессу [16].

К таким типам продукции на предприятии по производству каучука относятся [16]:

– синтетический каучук;
– силоксановый каучук;
– бутадиеновый каучук;
– бутадиен-метилстирольный каучук;
– изобутилен-изопреновый каучук (бутилкаучук);
– этилен – пропиленовый каучук (этилен – пропиленовый сополимер)
– бутадиен-нитрильный каучук (бутадиен-акрилонитрильный сополимер);
– изопреновый каучук;
– хлоропреновый каучук;
– прочие специфические виды каучука.

Все перечисленные виды каучука, которые производит предприятие по производству каучука, а также осуществляет технологический процесс ремонта, монтажа и обслуживания технологического оборудования, разделяются на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их применения.

Реконструкция РП-10 кВ предприятия по производству каучука в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как реконструкция оборудования и схемы электрических соединений РП-10 кВ данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и непосредственным использованием современного энергосберегающего оборудования, способен частично решить вопросы с увеличением производства каучука и изделий из него различного типа в регионе и стране в целом.

Технология производства продукции на предприятии по производству каучука, соответствует основным современным положениям, требованиям и нормам [9].

Технология производства продукции на проектируемом в работе предприятии по производству каучука, включает в себя следующие основные этапы, а именно [10]:

– приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс предприятия по производству каучука;

– переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму. Данный этап включает в себя очистку (крупную и мелкую), обработку (физическую и химическую) первичного материала для подготовки производства на предприятии по производству каучука;

– непосредственное производство каучукового материала – осуществляется после обработки первичного материала на специальных производственных комплексах в соответствующих цехах и подразделениях предприятия по производству каучука. Включает в себя следующие основные этапы: приготовление смеси, полимеризация (в зависимости от вида продукта), пенообразование, кристализация, протяжка и вулканизация готового продукта;

– удаление отходов, конечная фильтрация и обезвоживание готового продукта с последующей его сушкой – производится в специализированных цехах и на участках. При этом процесс строго контролируется и автоматизируется. На конечном этапе получается готовый продукт, который по конвейерным лентам и транспортёрам поступает в склад;

– маркировка, покраска и упаковка – конечный полученный продукт требуется промаркировать и упаковать (при необходимости) для

транспортировки конечному получателю. Упаковка должна быть надёжной, механически прочной и полностью герметичной, без нарушений её целостности. Также перед непосредственным процессом упаковки, как правило, проводится дефектация полученной продукции с проверкой качества обогащения продукта, а также целостности, отсутствия механических повреждений, герметичности, маркировки и т.д. Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученные на предприятии по производству каучука продукты обогащения, направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях (особое значение при этом имеет допустимое значение влажности). Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков влажности и быть полностью автоматизирован.

Реализация готовой продукции на предприятии по производству каучука осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе предприятия по производству каучука.

Также на рассматриваемой в работе предприятии по производству каучука выполняются функции ремонта, монтажа и эксплуатации, а также модернизации оборудования и установок для собственных производственных нужд. Данный аспект позволяет значительно экономить на логистике, а также на эксплуатации, ремонте и монтаже технологического оборудования для производства каучука, что сказывается на снижении стоимости произведённой продукции и, в конечном результате, на увеличении спроса на неё и получения дополнительной прибыли. Далее в работе приводится характеристика системы электроснабжения предприятия по производству каучука, включая РП-10 кВ, который в работе является объектом реконструкции.

1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения предприятия по производству каучука

В работе, согласно заданию, необходимо привести исходную характеристику распределительного пункта РП-10 кВ и входящих в него коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе системы электроснабжения предприятия по производству каучука до проведения реконструкции.

Кроме того, актуальным и необходимым является вопрос рассмотрения всей системы электроснабжения предприятия по производству каучука в целом, чтобы проследить всю цепочку питания и распределения электроэнергии на данном предприятии.

Основой в системе электроснабжения рассматриваемой в работе предприятия по производству каучука является главная понизительная подстанция 110/10 кВ (далее – ГПП-110/10 кВ), которая питает данное предприятие через рассматриваемый в работе РП-10 кВ, а также сторонние потребители. По месту нахождения в энергосистеме ГПП-110/10 кВ является тупиковой распределительной потребительской понизительной подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения промышленного района.

Она питается от энергосистемы двумя вводами с помощью воздушных линий электропередачи напряжением 110 кВ (далее – ВЛ-110 кВ) и связана с ней перетоками мощностей.

Рассматриваемая в работе ГПП-110/10 кВ предприятия по производству каучука до проведения реконструкции, состояла из следующих элементов (графический лист 1):

– распределительное устройство 110 кВ (далее – ОРУ 110 кВ) – конструктивно выполнено открытым по двухлучевой радиальной схеме электроснабжения с ремонтной перемычкой с двумя отключёнными разъединителями, значит, в схеме ОРУ-110 кВ применяется раздельный

режим работы фидеров 110 кВ. На двух отходящих линиях в ОРУ-110 кВ установлены защитные и коммутационные аппараты новейших конструкций (графический лист 2): выключатель марки LTB-145D1/B-31,5/2000 (год выпуска – 2017 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.), разъединитель марки РГ-110/1000У1 (год выпуска – 2014 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.), трансформатор тока марки ТВТ-110 (год выпуска – 2013 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.);

– силовые трансформаторы ТМН-6300/110, обеспечивающие понижение напряжения с 110 кВ до 10 кВ с последующим его распределением в РУ-10 кВ. Оба силовых трансформатора в исходной схеме нормального режима на рассматриваемой в работе ГПП-110/10 кВ предприятия по производству каучука находятся в работе (год выпуска – 2017 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.);

– распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ) – выполнено комплектным наружной установки с использованием ячеек комплектного распределительного устройства наружной установки (далее – КРУН) по радиальной схеме электроснабжения с применением секционированной системы сборных шин с резервированием, при этом секционный выключатель высокого напряжения в нормальном режиме работы отключен, то есть в схеме предусмотрена раздельная работа системы сборных шин напряжением 10 кВ. На двух отходящих линиях в РУ-10 кВ установлены защитные и коммутационные аппараты новейших конструкций (графический лист 2): выключатель марки BB/TEL-10-20/630-У2-48 (год выпуска – 2017 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.); трансформатор тока марки ТЛО-10 (год выпуска – 2013 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.); трансформатор напряжения марки НАМИ-10 (год выпуска – 2014 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.); ограничители перенапряжений типа ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1 (год выпуска – 2017 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.).

От ГПП-110/10 кВ двумя кабельными линиями марки кабели марки АСБ-10 (3х95), получает питание распределительный пункт номинального напряжения 10 кВ РП-10 кВ, детально рассматриваемый в работе. Данный РП-10 кВ непосредственно питает потребители предприятия по производству каучука через цеховые ТП-10/0,4 кВ.

В РП-10 кВ применяются устаревшие масляные горшковые выключатели марки ВМПЭ-10-630-20, установленные в 70-х годах 20 века и выработавшие свой ресурс (год выпуска – 1977 г., год ввода в эксплуатацию – 1979 г.). Данные выключатели сняты с производства в 80-х годах 20 века как неэффективные и устаревшие. При этом в ячейках КРУН-10 кВ не устанавливаются разъединители, так как они заменены втычными контактами я ячейках КРУН, обеспечивая в ремонтном положении ячеек видимый разрыв

В составе распределительного пункта РП-10 кВ входят две секции сборных шин 10 кВ, между которыми не установлен секционный выключатель (данные секции сборных шин никак электрически ни связаны ни в нормальном, ни в послеаварийном режиме).

В схеме электрических соединений РП-10 кВ на обоих секциях сборных шин предусмотрено по восемь присоединений (всего в исходной схеме РП-10 кВ предусмотрено двенадцать присоединений).

Из них:

– два присоединения – вводные (по одному на каждую секцию сборных шин 10 кВ РП-10 кВ, предусмотрен ввод от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ кабельной линией марки АСБ-10 (3х50) с использованием двух силовых кабелей);

– шесть присоединений – линейные (по три на каждую секцию сборных шин 10 кВ РП-10 кВ, применяются для питания трёх цеховых двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ кабельной линией марки АСБ-10 (3х50) с использованием двух силовых кабелей);

– два присоединения – для присоединения измерительных трансформаторов напряжения (по одному на каждую секцию сборных шин 10 кВ РП-10 кВ);

– два присоединения – резерв.

К основным потребителям РП-10 кВ предприятия по производству каучука по характеру и типу присоединений, относятся потребители электроэнергии основных производственных и вспомогательных цехов напряжением 0,4 кВ, получающие питание от своих понизительных трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ.

Следовательно, можно сказать, что основными потребителями РП-10 кВ предприятия по производству каучука являются трансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ, обеспечивающие питание конечных потребителей на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Всего в системе электроснабжения понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ предприятия по производству каучука до реконструкции было предусмотрено три ТП-10/0,4 кВ, все из которых – двухтрансформаторные.

На данных ТП-10/0,4 кВ установлены силовые трансформаторы марки ТМ, которые реконструировались в 2018 году.

Все потребительские цеховые подстанции ТП-10/0,4 кВ выполнены с применением комплектных распределительных устройств высокого напряжения, их питание на стороне 10 кВ осуществляется кабельными линиями электропередачи марки АСБ-10 (3х50) по радиальной схеме от шин напряжением 10 кВ рассматриваемого в работе РП-10 кВ предприятия по производству каучука.

При этом для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ используется двухлучевая радиальная схема с резервированием на стороне 10 кВ [4]. В системе электроснабжения всех двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ предусмотрено резервирование устройствами АВР, установленными на секционных автоматах в сети 0,4 кВ.

От шин 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ получают питание силовые пункты (далее – СП) цехов и участков предприятия по производству каучука, которые рассматриваются детально в работе далее, как потребители РП-10 кВ.

Характеристика потребителей предприятия по производству каучука

На рассматриваемой в работе предприятии по производству каучука имеются десять производственных и вспомогательных цехов и участков, которые вносят основной вклад в процесс изготовления готовой технологической продукции (различные изделия из каучука).

Характеристика данных цехов и участков предприятия по производству каучука в работе рассматривается в виду того, что все они являются конечными потребителями объекта исследования – РП-10/0,4 кВ, питаясь от него через три цеховые ТП-10/0,4 кВ. На данном предприятии по производству каучука, согласно технологии производства, к производственным и вспомогательным цехам и участкам относятся следующие объекты [18]:

- цех подготовки первичного сырья;
- цех вулканизации и протяжки;
- фильтрационный комплекс;
- производственный цех каучука;
- цех упаковки и дефектации;
- насосная;
- электрический цех;
- механический цех;
- складской комплекс
- административно-торговый комплекс.

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

Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на предприятии по производству каучука также необходимо предусмотреть участки, которые будут заниматься обслуживанием и ремонтов техники и оборудования предприятия по производству каучука. Для данной цели на предприятии по производству каучука применяется оборудование широкопрофильных электрического и механического цехов, позволяющих полностью обеспечить весь ремонтный цикл технологических установок предприятия по производству каучука. Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции предприятия по производству каучука в реалиях современной экономики, а также удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на предприятии по производству каучука необходимо предусмотреть торгово-выставочный комплекс, который конструктивно входит в состав административно-торгового комплекса.

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на технологический процесс производства и реализации готовой продукции предприятия по производству каучука. По этой причине они также должны быть включены в реконструируемую систему электроснабжения предприятия по производству каучука [2].

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков рассматриваемого в работе предприятия по производству каучука, питающегося от реконструируемого в работе РП-10 кВ через цеховые ТП-10/0,4 кВ, приведены в таблице 1.

В таблице 1 указана фактическая мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции на предприятии по производству каучука.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков предприятия по производству каучука

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Фактическая суммарная мощность потребителей цехов (участков), кВт
1	Цех подготовки первичного сырья	900
2	Цех вулканизации и протяжки	520
3	Фильтрационный комплекс	590
4	Производственный цех каучука	1000
5	Цех упаковки и дефектации	390
6	Насосная	190
7	Электрический цех	660
8	Механический цех	930
9	Складской комплекс	200
10	Административно-торговый комплекс	150
Всего по предприятию по производству каучука		5530

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что все потребители цехов и участков предприятия по производству каучука работают на переменном напряжении 380/220 В.

Этот факт необходимо учесть в работе при проведении соответствующих расчётов и проверок [2].

Также в таблице 1 показано, что суммарная установленная фактическая мощность всех цехов и участков предприятия по производству каучука составляет 5530 кВт.

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков предприятия по производству каучука в принятом масштабе, а также с учётом их взаимного расположения и указания направления и длины линии от источника питания, в данной работе представлен на графическом листе 1.

После выполнения реконструкции, на данный план расположения оборудования переносятся принятые в работе технические решения по реконструкции РП-10 кВ.

На основании приведенных исходных данных производственных и вспомогательных цехов и участков предприятия по производству каучука, а также исходного плана расположения цехов и участков объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по реконструкции РП-10 кВ [3].

Для выполнения поставленных в работе задач, необходимо провести классификацию и систематизацию цехов и участков предприятия по производству каучука по условиям надёжности, производственной среды и условий.

Известно, что надежность электроснабжения потребителей должна соответствовать требованиям, согласно которым «электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надежности электроснабжения» [11].

Согласно этому, проводится разделение цехов и участков предприятия по производству каучука на категории надёжности.

При этом, согласно результатам анализа исходных данных, приведённых в таблице 1, в проектируемой системе электроснабжения автомобильного предприятия по производству каучука среди цехов и участков выделяются следующие основные типы, которые можно также классифицировать по следующим категориям [11]:

– основные производственные цеха и участки – I категории по надёжности электроснабжения;

– основные вспомогательные цеха и участки – II категории по надёжности электроснабжения;

– неосновные вспомогательные цеха и участки – III категории по надёжности электроснабжения.

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

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха и участки основного технологического производства предприятия по производству каучука, а именно:

– цех подготовки первичного сырья;
– цех вулканизации и протяжки;
– фильтрационный комплекс;
– производственный цех каучука;
– цех упаковки и дефектации.

К потребителям II категории относятся основные вспомогательные цеха и участки предприятия по производству каучука, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс производства.

К таким потребителям предприятия по производству каучука относится насосная.

К потребителям III категории относятся неосновные вспомогательные цеха и участки, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе производства предприятия по производству каучука.

К таким потребителям рассматриваемого в работе предприятия по производству каучука относятся:

– электрический цех;
– механический цех;
– складской комплекс;
– административно-торговый комплекс.

Результаты проведённого анализа и систематизация цехов и участков предприятия по производству каучука по категориям надёжности их потребителей (в процентном отношении) сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков предприятия по производству каучука по категориям надёжности

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка) предприятия по производству каучука	Категория надёжности по ПУЭ
1	Цех подготовки первичного сырья	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
2	Цех вулканизации и протяжки	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
3	Фильтрационный комплекс	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
4	Производственный цех каучука	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
5	Цех упаковки и дефектации	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
6	Насосная	10% – I кат.; 70% – II кат.; 20% – III кат.
7	Электрический цех	10% – II кат.; 90% – III кат.
8	Механический цех	10% – II кат.; 90% – III кат.
9	Складской комплекс	5% – II кат.; 95% – III кат.
10	Административно-торговый комплекс	100% – III кат.

По процентному соотношению приёмников соответствующей категории можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок) рассматриваемого предприятия по производству каучука.

Далее в работе необходимо охарактеризовать каждый цех (участок) предприятия по производству каучука по производственной среде, исходя из технологии производства.

Характеристика производственной среды помещений цехов и участков системы электроснабжения предприятия по производству каучука приведена в таблице 3.

Она указана для каждого участка (цеха) предприятия, исходя их факторов среды, которые преобладают в большей степени на данном объекте предприятия.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды помещений цехов и участков предприятия по производству каучука

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка) предприятия по производству каучука	Характеристика производственной среды цеха (участка) предприятия по производству каучука
1	Цех подготовки первичного сырья	Пыльная, жаркая, сухая
2	Цех вулканизации и протяжки	Жаркая, сухая
3	Фильтрационный комплекс	Пыльная, жаркая, сухая
4	Производственный цех каучука	Жаркая, сухая
5	Цех упаковки и дефектации	Жаркая, сухая
6	Насосная	Влажная
7	Электрический цех	Нормальная
8	Механический цех	Нормальная
9	Складской комплекс	Нормальная
10	Административно-торговый комплекс	Нормальная

На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков реконструируемой системы электроснабжения (далее – СЭС) предприятия по производству каучука, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха проектируемой СЭС предприятия по производству каучука), относятся к объектам с повышенной степенью опасности, что необходимо учесть при выборе марки кабелей и электрических аппаратов в работе далее, а также при внесении изменений в исходную схему электрических соединений объекта реконструкции [3].

На основании приведённых исходных данных, с учётом полученных результатов проведённого анализа, далее в работе непосредственно разрабатывается проект реконструкции СЭС РП-10 кВ предприятия по производству каучука.

Для достижения поставленной цели, далее в работе проводится обоснование необходимости проведения реконструкции РП-10 кВ СЭС предприятия по производству каучука.

Обоснование необходимости проведения реконструкции

В результате проведения анализа исходной системы электроснабжения предприятия по производству каучука было установлено, что в РП-10 кВ находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

К таким аппаратам относятся, в первую очередь, высоковольтные выключатели, так как они являются основными коммутационными и защитными аппаратами всего РП-10 кВ [4].

Выход их из строя, а также сбой или отказ работоспособности, повлечёт тяжёлые последствия не только для единичных присоединений РП-10 кВ, а и для всей системы электроснабжения предприятия по производству каучука, так как от РП-10 кВ через цеховые ТП-10/0,4 кВ получают питание потребители цехов и участков предприятия по производству каучука, которые остаются обесточенными, что недопустимо согласно требований [10].

Поэтому в РП-10 кВ СЭС предприятия по производству каучука планируется установить новые выключатели высокого напряжения, а также дополнительно предусмотреть установку современных ограничителей перенапряжения в ячейках РП-10 кВ.

В схеме электрических соединений РП-10 кВ необходимо внедрить следующие мероприятия по реконструкции:

– так как в состав исходной схемы электрических соединений распределительного пункта РП-10 кВ входят две секции сборных шин 10 кВ, между которыми не установлен секционный выключатель, следовательно, данные секции сборных шин никак электрически ни связаны ни в нормальном, ни в послеаварийном режиме. Это является грубым нарушением нормативных положений [10], потому что потребители I и II категорий надёжности, которые составляют

большинство на предприятии, полностью лишены резервирования. Для решения данной проблемы между секциями сборных шин 10 кВ в РП-10 кВ необходимо установить секционный выключатель (на одной секции сборных шин) и секционную ячейку с втычным контактом (на другой секции сборных шин РП-10 кВ). Данное мероприятие по реконструкции схемы электрических соединений РП-10 кВ также потребует дополнительных присоединений в РП-10 кВ (их количество, по сравнению с исходной схемой до проведения реконструкции, увеличится на два – до четырнадцати присоединений);

– в схеме электрических соединений РП-10 кВ на обоих секциях сборных шин необходимо предусмотреть установку измерительных трансформаторов напряжения для питания вторичных цепей коммутации РП-10 кВ и его потребителей.

Указанные в работе мероприятия по реконструкции оборудования и схемы электрических соединений РП-10 кВ предприятия по производству каучука, повысят надёжность системы электроснабжения объекта реконструкции, оптимизируют показатели энергосистемы, режим её работы, а также потребительских цеховых подстанций ТП-10/0,4 кВ и приёмников, получающих от них питание [5].

Целесообразность приведённых мероприятий по реконструкции РП-10 кВ подтверждается соответствующими расчётами и проверками, проведёнными в работе далее.

Внесённые изменения отражены в схеме электроснабжения РП-10 кВ предприятия по производству каучука после проведения мероприятий по её реконструкции (графический лист 3).

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, с детальным рассмотрением технологии и циклов производства, технических

характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта реконструкции.

Детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде, все цеха и участки системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Проведён детальный анализ оборудования системы и электроснабжения объекта реконструкции с рассмотрением исходной схемы электрических соединений предприятия по производству каучука.

Установлено, что источником питания предприятия по производству каучука является РП-10 кВ, который выступает в качестве объекта реконструкции в данной работе.

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

Поставленные основные задачи решаются в работе далее.

Реконструкция системы электроснабжения предприятия по производству каучука

Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по реконструкции схемы электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству каучука, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников. Кроме того, в связи с применением выбранной схемы электрических соединений системы электроснабжения предприятия по производству каучука, необходимо также учитывать условия резервирования на стороне 10 кВ, которые осуществлены путём дополнительного подключения нагрузки линий 10 кВ в схеме РП-10 кВ в послеаварийном режиме [6]. Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству каучука является фактическая установленная номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке. В работе проводится расчёт нагрузок цехов и участков предприятия по производству каучука, который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса [16]. Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков предприятия по производству каучука [6]:

$$P_н = P_{уст}. \quad (1)$$

$$P_{р.} = K_c P_н, \quad (2)$$

где $P_н$ – значение суммарной номинальной активной мощности цеха

(участка) предприятия по производству каучука, кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха (участка) предприятия по производству каучука.

Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ цехов и участков предприятия по производству каучука, квар [6]:

$$Q_{р.} = P_{р.} \cdot tg\varphi, \tag{3}$$

где $tg\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.

Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству каучука, кВт [6]:

$$P_{р.о} = K_{с.о} P_{н.о}, \tag{4}$$

где $K_{с.о}$ – коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) предприятия по производству каучука (справочные данные) [4];

$P_{н.о}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) предприятия по производству каучука, кВт.

При этом значение осветительной составляющей рассчитывается таким образом [6]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \tag{5}$$

где $P_{уд.о.}$ – удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) предприятия по производству каучука, кВт/м^2, [4];

F – площадь соответствующего цеха (участка), м^2.

Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) предприятия по производству каучука [6]

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

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) реконструируемой системы электроснабжения предприятия по производству каучука определяется по условиям (2) и (3), а полная мощность определяется так [6]:

$$S_{р.} = \sqrt{P_{р.}{}^2 + Q_р{}^2}. \quad (7)$$

Расчетная полная нагрузка предприятия по производству каучука, определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП.

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука на этапе реконструкции можно рассчитать таким образом [6]:

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

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

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП-110/10 кВ рассматриваемой в работе системы электроснабжения предприятия по производству каучука на этапе реконструкции можно рассчитать таким образом [7]:

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

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

По приведённым выше условиям (2) – (11) проводится расчёт нагрузок цехов и участков реконструируемой системы электроснабжения предприятия по производству каучука. Также в работе проводится предварительный расчёт потерь активной мощности в силовых трансформаторах на питающей ГПП-110/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, и суммарной нагрузки предприятия по производству каучука в целом по предприятию. Результаты расчёта осветительной электрической нагрузки цехов и участков системы электроснабжения предприятия по производству каучука в работе сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные электрические нагрузки освещения предприятия по производству каучука

№ цеха	Наименование	Осветительная нагрузка				
		F, м^2	$P_{удо}$, кВт	$P_{но}$, кВт	$K_{со}$	$P_{ро}$, кВт
1	Цех подготовки первичного сырья	15975	0,014	223,65	0,6	134,190
2	Цех вулканизации и протяжки	12925	0,014	180,95	0,6	108,570
3	Фильтрационный комплекс	21150	0,014	296,10	0,6	177,660
4	Производственный цех каучука	22670	0,014	317,38	0,6	190,428
5	Цех упаковки и дефектации	1440	0,012	17,28	0,6	10,400
6	Насосная	1920	0,012	23,04	0,6	13,824
7	Электрический цех	3890	0,014	54,46	0,6	32,676
8	Механический цех	5530	0,02	110,60	0,6	66,360
9	Складской комплекс	6314	0,014	88,396	0,6	53,038
10	Административно-торговый комплекс	11560	0,02	231,20	0,7	161,840
Всего по предприятию по производству каучука		-	-	-	-	1087,906

Результаты расчёта силовой электрической нагрузки цехов и участков системы электроснабжения предприятия по производству каучука в работе сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные силовые электрические нагрузки предприятия по производству каучука

№ цеха	Наименование	Силовая нагрузка					
		Рн, кВт	Кс	cosφ	tgφ	Рр, кВт	Qр, кВар
1	Цех подготовки первичного сырья	900	0,8	0,9	0,484	720,00	348,71
2	Цех вулканизации и протяжки	520	0,8	0,9	0,484	416,00	201,48
3	Фильтрационный комплекс	590	0,8	0,9	0,484	472,00	228,60
4	Производственный цех каучука	1000	0,8	0,9	0,484	800,00	387,46
5	Цех упаковки и дефектации	390	0,8	0,9	0,484	312,00	151,00
6	Насосная	190	0,65	0,7	1,020	123,50	126,00
7	Электрический цех	660	0,8	0,9	0,484	528,00	255,72
8	Механический цех	930	0,8	0,9	0,484	744,00	360,34
9	Складской комплекс	200	0,8	0,9	0,484	160,00	77,49
10	Административно-торговый комплекс	150	0,8	0,9	0,484	120,00	58,12
Всего по предприятию по производству каучука		5233	-	-	-	4336,75	2755,99

Результаты расчёта суммарной электрической нагрузки цехов и участков СЭС предприятия по производству каучука в работе сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта суммарной электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству каучука

№ цеха	Наименование	Суммарная расчетная нагрузка		
		P_{Σ}, кВт	Q_{Σ}, кВар	S_{Σ}, кВА
1	Цех подготовки первичного сырья	854,2	348,7	922,6
2	Цех вулканизации и протяжки	524,6	201,4	561,9
3	Фильтрационный комплекс	649,7	228,6	688,7
4	Производственный цех каучука	990,4	387,4	1063,5
5	Цех упаковки и дефектации	169,8	163,3	235,6
6	Насосная	137,3	126,0	186,3
7	Электрический цех	560,7	255,7	616,2
8	Механический цех	810,4	360,3	886,8
9	Складской комплекс	213,0	77,5	226,6
10	Административно-торговый комплекс	281,8	58,1	287,7
Всего по предприятию по производству каучуку		6613,1	3306,1	7508,8

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству каучука используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов на питающей ГПП-110/10 кВ, цеховых ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников спроектированной системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Данные задачи решаются в работе далее.

Выбор числа и мощности силовых трансформаторов питающей ГПП

С учётом принятой схемы электрических соединений системы электроснабжения РП-10 кВ предприятия по производству каучука, в результате которой в схеме электрических соединений РП-10 кВ были внедрены соответствующие мероприятия по её реконструкции, описанные и обоснованные в работе ранее, необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов на питающем ГПП-110/10 кВ с учётом нагрузки РП-10 кВ, а также дополнительной нагрузки сторонних потребителей.

С учётом этого, в работе также необходимо проверить установленные на питающей ГПП-110/10 кВ силовые трансформаторы на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

При выборе силового трансформатора для установки на питающей ГПП-110/10 кВ предприятия по производству каучука должны выполняться условия выбора и проверки, с учётом того, что рекомендуемая загрузка трансформатора должна быть не более 70% в нормальном режиме работы [7]

$$S_{ном} \geq \frac{S_{р.} + S_{ст.}}{n \cdot K_З}, \qquad (12)$$

где $S_{р.}$, $S_{ст.}$ – соответственно значение расчётной нагрузки РП-10 кВ предприятия по производству каучука и сторонних потребителей, получающих питание от питающей ГПП-110/10 кВ;

n – «количество трансформаторов, шт.» [7];

$K_з$ – «коэффициент загрузки трансформатора, о.е.» [11].

По уравнению (12) для питающей ГПП-110/10 кВ проводится выбор мощности силовых трансформаторов

$$S_{ном} \geq \frac{7508,8 + 800}{2 \cdot 0,7} = 5934,8 \text{ кВА}.$$

Предварительно в работе выбирается для установки на ГПП-110/10 кВ, которая питает РП-10 кВ предприятия по производству каучука, два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый [14].

Поэтому в работе предварительно принимается два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110 с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14]. Данный силовой трансформатор имеет две обмотки и выбран для умеренного климата.

Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП-110/10 кВ, которая питает РП-10 кВ предприятия по производству каучука, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП-110/10 кВ, которая питает РП-10 кВ предприятия по производству каучука

Тип трансформатора	$P_х$, кВт	$P_к$, кВт	$U_к$; %	$I_{х.х}$; %	$S_{ном}$, кВА	$К_{зг}$
ТМН-6300/110	3,85	33,5	7,5	0,3	6300	0,77

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в нормальном режиме» [11] определяется таким образом:

$$K_З = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (13)$$

Исходя из уравнения (13):

$$K_З = \frac{5934,8}{2 \cdot 6300} = 0,47 \leq 0,7.$$

«Условия проверки по загрузке выбранного трансформатора в нормальном режиме выполняются» [8].

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

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

Проверяется выбранный трансформатор по перегрузочной способности при аварийном отключении второго трансформатора.

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в послеаварийном режиме» [11] определяется таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на ГПП находится в эксплуатации с 2018 года, то есть, не более 5 лет [9].

Поэтому:

$$1,4 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (14)$$

Исходя из уравнения (14):

$$1,4 \cdot 6300 = 8820\ кВА \geq 5934,8\ кВА.$$

Условие проверки силового трансформатора для установки на питающей ГПП-110/10 кВ, которая питает РП-10 кВ предприятия по производству каучука в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ, полностью выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМН-6300/110, питающие нагрузку первой и второй секций сборных шин напряжением 10 кВ реконструируемого РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, удовлетворяет условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на ГПП-110/10 кВ, питающей РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Выбранные и проверенные в работе трансформаторы ГПП-110/10 кВ марки ТМН-6300/110 совпадают с ранее установленными трансформаторами на данной ГПП, следовательно, с учётом реконструкции схемы электрических соединений РП-10 кВ, они в замене не нуждаются.

Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

Ориентировочно выбор числа и мощности цеховых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, которые получают питание от РП-10 кВ, может производиться по удельной плотности нагрузки [13]:

$$\sigma_{уд} = S_{см} / F_{ц}, кВА / м^2, \qquad (15)$$

где $S_{см}$ – полная расчетная нагрузка (среднее значение) цеха, кВ·А;

$$S_{см} = K_{зг} S_p, \tag{16}$$

где $F_ц$ – площадь цеха по генплану, м^2.

Для производственного цеха предприятия по производству каучука:

$$\sigma_{уд1} = 3129{,}3/3000 = 1{,}04 \text{ кВА/м}^2. \tag{17}$$

«Проводится выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ» [16] предприятия по производству каучука с учётом выбранной схемы электрических соединений объекта реконструкции.

Мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ определяется по следующему условию [13]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р} = \frac{\Sigma P_{р.}}{N\beta_т}, \tag{18}$$

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

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

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

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

Согласно (18) для ТП-1, питающей цех подготовки первичного сырья, цех вулканизации и протяжки, а также фильтрационный комплекс

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{2028,42}{2 \cdot 0,8} = 1267,8\ кВА.$$

Исходя из полученных расчётных значений, выбирается силовой трансформатор марки ТМ-1600/10. На цеховой ТП-1 устанавливаются два силовых трансформатора марки ТМ-1600/10 [12].

Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть НН без превышения предусмотренного $\beta_{норм.т}$, определяется по формуле, квар:

$$Q_m = \sqrt{\left(N_{опт}\beta_{норм.т}S_{ном}\right)^2 - P_{р.}^2}. \quad (19)$$

Для ТП-1

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{\left(2 \cdot 0,8 \cdot 1600\right)^2 - 2028,42^2} = 1561,77\ квар.$$

Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением 0,4 кВ составит, квар:

$$Q_{НБК} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (20)$$

Если $Q_{НБК} < 0$, то установка КУ на данной подстанции не требуется.

Для ТП-1

$$Q_{\text{НБК}} = 778,79 - 1561,77 = -782,98\ квар.$$

«Для ТП-1 расчётная мощность КУ имеет отрицательное значение, следовательно, КУ на данной ТП не устанавливаются» [14].

Суммарное значение скомпенсированной РМ на ТП путём вычитания расчётных значений компенсированной реактивной мощности из суммарной реактивной нагрузки ТП

$$Q_{тп} = Q_p - Q_{НБК.ст}. \quad (21)$$

После этого пересчитывается значение нагрузки ТП после компенсации РМ.

Для ТП-1 данный расчёт не проводится, так как обосновано, что в установке компенсирующих устройств на данном ТП нет необходимости.

На других цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия по производству каучука, питающихся от РП-10 кВ, выбор и проверка силовых трансформаторов, а также устройств компенсации реактивной мощности в сети 0,38/0,22 кВ, аналогичны.

Полученные результаты, а также исходные данные для выбора, сведены в таблицу 8.

Кроме того, в таблице 8 проведена дополнительная проверка распределения цехов и участков системы электроснабжения предприятия по производству каучука, исходя из их мощности, расположения на плане предприятия и категории надёжности.

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

Участки и цеха, которые питают потребители III категорий надёжности предприятия по производству каучука, подключаются к шинам 0,4 кВ уже принятых цеховых ТП-10/0,4 кВ по возможности равномерно.

Как видно из таблицы 8, в работе предусмотрена установка трёх цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 8 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов системы электроснабжения предприятия по производству каучука

№ цеха	Наименование цеха	$P_р$+$Pp_о$, кВт	$Q_р$, кВар	$S_р$, кВА	Кол-во и марка трансформаторов
ТП-1					
1	Цех подготовки первичного сырья	854,2	348,7	922,6	2хТМ-1600/10
2	Цех вулканизации и протяжки	524,6	201,5	561,9	
3	Фильтрационный комплекс	649,7	228,6	688,7	
Всего по ТП1		2028,5	778,9	2173,2	
ТП2					
4	Производственный цех каучука	990,4	387,4	1063,5	2хТМ-1600/10
10	Административно-торговый комплекс	281,8	58,1	287,8	
Всего по ТП2		1171,2	445,5	1671,3	
ТП3					
5	Цех упаковки и дефектации	169,8	163,3	235,6	2хТМ-1600/10
6	Насосная	137,3	126,0	186,4	
7	Электрический цех	560,7	255,7	616,2	
8	Механический цех	810,4	360,3	886,9	
9	Складской комплекс	213,0	77,5	226,7	
Всего по ТП3		1891,2	982,8	2131,3	

Результаты выбора устройств компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения предприятия по производству каучука представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения предприятия по производству каучука

ТП, по плану	Марка трансформатора	Расчетные нагрузки		КРМ, квар			$S_р$, кВА
		$P_р$, кВт	$Q_р$, квар	$Q_т$, квар	$Q_{НКБ}$, квар	$Q_{КУ}$, квар	
1	ТМ-1600/10У1	2028,4	778,8	1561,8	-782,9	-	2172,8
2	ТМ-1600/10У1	1571,7	556,2	2020,7	-1464,5	-	1667,2
3	ТМ1600/10У1	1891,2	982,9	1890,2	-907,4	-	2131,3
Итого по СЭС предприятия		6013,1	2934,2	-	-	-	5971,4

Все выбранные трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности в работе показаны на графическом листе 2.

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ на предприятии по производству каучука выполняются комплектными, что является современным технологическим решением и рекомендовано требованиями [15].

Выбор сечения проводников

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 110 кВ и 10 кВ, что обусловлено реконструкцией оборудования и схемы электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Выбору и проверке в работе подлежат следующие проводники напряжением 110 кВ и 10 кВ согласно реконструированной схеме электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука [17]:

– питающая сеть 110 кВ – воздушная линия от энергосистемы до ОРУ-110 кВ питающего ГПП напряжением 110 кВ;

– питающая сеть 10 кВ – от секций сборных шин напряжением 10 кВ ГПП до шин 10 кВ РП-10 кВ предприятия по производству каучука;

– распределительная сеть 10 кВ – от секций сборных шин напряжением 10 кВ РП-10 кВ до потребительских цеховых ТП-10/0,4 кВ предприятия по производству каучука.

Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по известному выражению [14]

$$F_э = \frac{I_н}{j_э}, \qquad (22)$$

где I_{max} – «рабочий ток нормального режима кабельной линии электропередачи, А» [11];

$j_э$ – «экономически выгодная плотность тока, А/мм^2» [11].

Рабочий ток нормального режима линии определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки [14]

$$I_н = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \tag{23}$$

где $S_{р.}$ – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования [12]

$$I_{р.макс} = 1,4 \cdot I_н. \tag{24}$$

Выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы согласно [10]

$$I_{доп} \geq I_н, \tag{25}$$

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

«Также выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [10]

$$I_{доп} \geq I_a. \tag{26}$$

«Известно, что потери напряжения в линиях питающей и распределительной сети определяется так» [19]:

$$\Delta U = \frac{PR_л + QX_л}{U_н^{\ 2}} \cdot 100, \%. \qquad (27)$$

По допустимой потере напряжения воздушная линия 110 кВ не проверяется, что обусловлено экономическими критериями [11].

Поэтому в работе по данному критерию проверке подлежат только кабельные линии питающей и распределительной сети напряжением 10 кВ.

«Проводятся расчёты и выбор сечения провода питающей ВЛ-110 кВ ГПП» [4]:

$$I_p = \frac{6851,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 18\,\text{А}.$$

$$I_{р.макс.} = 1,4 \frac{6851,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 25,2\ A.$$

«Сечение провода питающей ВЛ-110 кВ» [1]

$$F_э = \frac{18}{1,1} = 16,4\,\text{мм}^2.$$

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

«Проверка ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме» полностью выполняется [4]

$$265\ \text{А} \geq 18\ \text{А}.$$

«Проверка сечения провода ВЛ-110 кВ ГПП выполняется» [4]

$$265\ \text{А} \geq 25{,}2\ \text{А}.$$

«Исходя из результатов проверок, в работе окончательно принимается провод на питающей ВЛ-110 кВ ГПП марки АС-70/11 с $I_{доп}$ = 265 А» [4].

По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий питающей (от ГПП к РП-10 кВ) и распределительной (от РП-10 кВ к цеховым ТП) сетей напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ (выбираются только по допустимому нагреву), питающих двухтрансформаторные цеховые ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука с приведением результатов выбора в форме таблицы 10.

Таблица 10 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука

Линия	$S_{р.}$, кВА	N, шт	$I_{р.}$, А	$I_{р.макс}$, А	$F_{э}$, мм	Марка кабеля	$I_{доп}$, А
Питающая сеть 10 кВ							
ГПП – РП-10 кВ (СШ1)	7508,8/2	1	217,0	303,8	135,6	АСБ-10(3х150)	314
ГПП – РП-10 кВ (СШ2)	7508,8/2	1	217,0	303,8	135,6	АСБ-10(3х150)	314
Распределительная сеть 10 кВ							
ГПП-ТП 1	1600	2	46,2	92,5	38,5	АСБ-10(3х50)	132
ГПП-ТП 2	1600	2	46,2	92,5	38,5	АСБ-10(3х50)	132
ГПП-ТП 3	1600	2	46,2	92,5	38,5	АСБ-10(3х50)	132
Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ							
ТП1-СП1	922,6	2	700,9	981,3	-	3ВВГнг-LS (4х150)	1074
ТП1-СП2	561,9	2	426,9	597,6	-	2ВВГнг-LS (4х120)	634
ТП2-СП10	287,8	1	442,7	-	-	ВВГнг-LS (4х240)	471
ТП3-СП5	235,6	2	181,2	253,7	-	ВВГнг-LS (4х95)	279
ТП3-СП6	186,4	2	141,6	198,2	-	ВВГнг-LS (4х70)	231
ТП3-СП8	886,9	1	1364,4	-	-	3ВВГнг-LS (4х240)	1413
ТП3-СП9	226,7	1	348,8	-	-	ВВГнг-LS (4х150)	358

Все выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ питающей и распределительной сетей системы электроснабжения предприятия по производству каучука удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы, а также по допустимой потере напряжения и механической прочности в выбранном классе напряжения.

Также в результате проведения расчётов и проверок установлено, что для питания реконструированной схемы РП-10 кВ с учётом требуемых условий резервирования, необходимо замерить первоначальные кабели марки АСБ-10 (3х95) на кабели марки АСБ-10 (3х150), так как в послеаварийном режиме они не соответствуют проверке по условию аварийной перегрузки.

Выбранные кабельные линии в работе показаны на предложенной разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения предприятия по производству каучука, полученной путём внедрения основных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений РП-10 кВ (графический лист 3).

Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой системе электроснабжения предприятия по производству каучука, по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 3) составляется схема замещения для данного участка сети, а также для всей схемы в целом.

Построение схемы замещения для участка сети предприятия по производству каучука проводится в работе согласно методике [12].

Так как в предложенной в работе реконструированной схеме электрических соединений РП-10 кВ каждый трансформатор цеховых ТП-10 кВ работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется раздельный

режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», по которой составляется схема замещения (рисунок 2).

Для остальных участков схемы типичных участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», результаты полученных токов КЗ будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству каучука, составленная по реконструированной схеме электроснабжения РП-10 кВ (точка К2 схемы), а также с учётом ГПП в сети 110 кВ (точка К1 схемы), в работе представлена на рисунке 1.

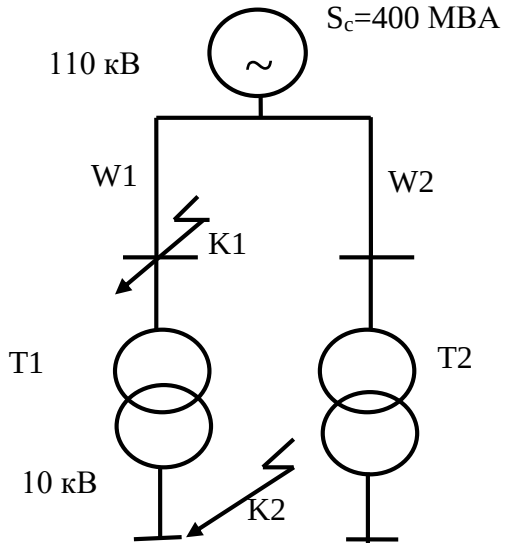

Рисунок 1 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству каучука, составленная по реконструированной схеме электроснабжения

Схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству каучука, составленная по реконструированной расчётной схеме электроснабжения рисунка 1, в работе представлена на рисунке 2. Расчёт токов КЗ проводится согласно методике [7].

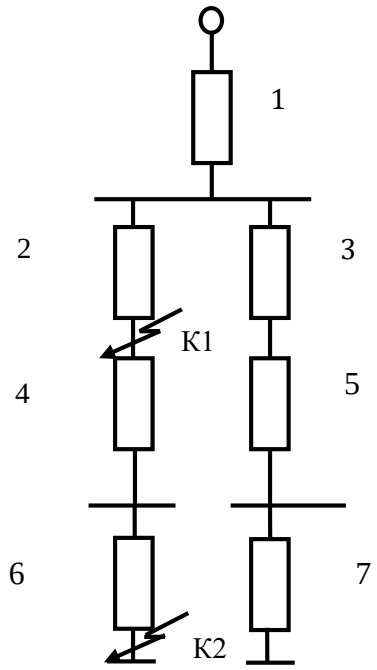

Рисунок 2 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству каучука, составленная по реконструированной схеме электроснабжения

«Выбираются базисные условия» [7]:

$$S_б = 400\ М\text{ВА}.$$

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

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

«Базисный ток» [7]

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}. \qquad (28)$$

$$I_б = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} = 2\text{кА}.$$

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

«Сопротивление энергосистемы» [7]

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_б}{S_{бс}}. \quad (29)$$

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

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ» [7]

$$X_{wl} = X_2 = X_3 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_б}{U_{ср.ст}^2}, \quad (30)$$

где «X_o – удельное сопротивление ВЛ, Ом/км» [7];

«L- суммарная длина ВЛ, км» [7].

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

«Сопротивление обмотки ВН (напряжение 110 кВ) силового трансформатора ГПП-110/10 кВ» [7]:

$$X_в = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} S_б}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (31)$$

$$X_4 = X_5 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 0,21 \text{Ом}.$$

«Сопротивление обмотки НН (напряжение 10 кВ) силового трансформатора ГПП-110/10 кВ» [7]:

$$X_{н1} = X_{н2} = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_б}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (32)$$

$$X_в = X_7 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 2,94 \text{Ом}.$$

«Полученные расчётные параметры схемы замещения наносятся на рисунок 3» [7].

«Схема замещения для точки К1 в работе представлена на рисунке 3» [7].

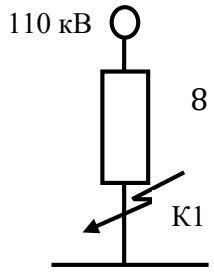

Рисунок 3 – Схема замещения для точки К1

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [7]

$$X_8 = X_1 + X_2. \tag{33}$$

$$X_8 = 1,6 + 0,006 = 1,606 \approx 1,61 \text{Ом}.$$

Ток трёхфазного КЗ в максимальном режиме для К1» [7]

$$I_{\text{по1}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{б,} \tag{34}$$

где E_c – «сверхпереходная ЭДС энергосистемы, E_c=1» [7].

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

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного КЗ для точки К2 (на шинах реконструируемого в работе РП-10 кВ), представлена на рисунке 4» [7].

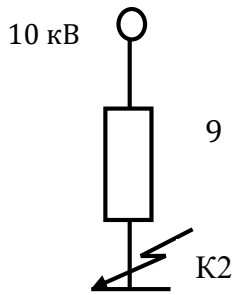

Рисунок 4 – «Схема замещения для точки К2» [7]

«Расчёт в точке К2 аналогичен расчёту для точки К1» [7]:

$$X_9 = X_8 + X_4 + X_6. \tag{35}$$

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

Ток трёхфазного КЗ в максимальном режиме для К2

$$I_{\text{по}2} = \frac{E}{X_9} \cdot I_б \cdot K_m, \tag{36}$$

где K_m – «значение коэффициента трансформации, о.е.» [7]

Значит

$$I_{\text{по}2} = \frac{1}{4,76} \cdot 22 = 4,62 \text{кА}.$$

Для К1

$$i_{\text{уд}1} = \sqrt{2} \kappa_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по}1}. \tag{37}$$

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

Для К2

$$i_{\text{уд}2} = \sqrt{2}\kappa_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по}2}. \quad (38)$$

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

Значение двухфазного тока КЗ в расчётных точках (минимальный расчётный ток КЗ для проверки чувствительности защит и электрических аппаратов) согласно [7]

$$I_{по(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{по}. \quad (39)$$

Для К1

$$I_{по(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,24 = 1,07\,кА.$$

Для К2

$$I_{по(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,62 = 4,0\,кА.$$

Полученные в работе результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в системе электроснабжения предприятия по производству каучука приведены в работе в форме таблицы 11.

Для двух расчётных точек, соответственно, применялось напряжение 110 кВ и 10 кВ, соответствующее номинальным напряжениям сети на объекте исследования (таблица 11).

Таблица 11 – Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения предприятия по производству каучука

Точка КЗ	Результаты расчёта и технические данные				
	$I_{k3}^{(3)}, кА.$	$T_A, с.$	$I_{k3}^{(2)}, кА.$	$k_{уд}, кА.$	$i_{уд}, кА.$
К1	1,24	0,025	1,07	1,7	10,25
К2	4,62	0,03	4,0	1,4	33,3

На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения предприятия по производству каучука, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ на питающем ГПП-110/10 кВ, а также в РП-10 кВ объекта реконструкции.

Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе выбору и проверке подлежат электрические аппараты напряжением 110 кВ и 10 кВ, установленные в ОРУ-110 кВ и РУ-10 кВ питающей ТПП-110/10 кВ, а также на реконструируемом РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука. В работе ОРУ-110 кВ на питающей ГПП выполнено открытым, поэтому выбор электрических аппаратов для установки в ОРУ-110 кВ будет проводится только для аппаратов наружной установки. Распределительный пункт 10 кВ РП-10 кВ от которого, в свою очередь, питаются потребительские ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки. Конструктивно он выполнен с использованием ячеек КРУН-10, в которых непосредственно используется выкатной элемент в сборе с выключателями высокого напряжения и трансформаторами тока. Ремонтное положение выкатного элемента обеспечивает видимый разрыв, поэтому в них не устанавливаются

разъединители. Ячейки поставляются с предприятия – изготовителя полностью собранными и укомплектованными, при монтаже необходимо их установить согласно проекту, сфазировать и подключить в работу [12]. Конструкция ячеек РП-10 кВ представлена в работе на графическом листе 5.

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

$$U_{уст} \leq U_{н}; \tag{40}$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_{н}. \tag{41}$$

«Кроме того, выбранные аппараты высокого напряжения подлежит следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12]. Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{п.\tau} \leq I_{отк.ном}. \tag{42}$$

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

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

$$i_{а.\tau} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \tag{43}$$

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

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

«Проверка аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \tag{44}$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \tag{45}$$

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

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^{\,2} \cdot t_T, \tag{46}$$

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

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

По приведённым условиям выбора и проверки электрических аппаратов, проводится их выбор с приведением результатов в форме следующих таблиц:

– таблица 12 – результаты проверки электрических аппаратов для установки на питающей ГПП-110/10 кВ (упрощённая форма с приведением полученных результатов);

– таблица 13 – результаты выбора и проверки выключателей высокого напряжения, которые устанавливаются в результате проведения реконструкции, на РП-10 кВ (проведено более детально, так как РП-10 кВ является объектом исследования в данной работе).

В работе выбраны современные типы и марки электрических аппаратов и оборудования.

Таблица 12 – Результаты проверки электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для установки на питающей ГПП-110/10 кВ

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Аппараты 110 кВ (ОРУ-110 кВ ГПП)	
Выключатель высокого напряжения	LTB-145D1/B-31,5/2000
Разъединитель	РГ-110/1000У1
Трансформатор тока	ТВТ-110
Трансформатор напряжения	НДКМ-110
Ограничители перенапряжений	ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1
Аппараты 10 кВ (РУ-10 кВ ГПП)	
Выключатель высокого напряжения	BB/TEL-10-20/3600-У2-48 (вводной выключатель); BB/TEL-10-20/2500-У2-48 (секционный выключатель); BB/TEL-10-20/630-У2-48 (линейный выключатель)
Предохранитель плавкий	ПК-10-16
Трансформатор тока	ТЛО-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1

Таблица 13 – Результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей 10 кВ для установки в реконструированной схеме РП-10 кВ

ТП	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
ТП-1	BB/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \le U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \le I_н$	$I_{раб.макс}$=228,4 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \le i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \le I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{пτ} \le I_{откн}$	$I_{пτ}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
ТП-2	BB/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \le U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \le I_н$	$I_{раб.макс}$=88,2 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \le i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \le I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{пτ} \le I_{откн}$	$I_{пτ}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
ТП-3	BB/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \le U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \le I_н$	$I_{раб.макс}$=221 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \le i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \le I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{пτ} \le I_{откн}$	$I_{пτ}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА

Продолжение таблицы 13

ТП	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
ТП-1	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \leq I_н$	$I_{раб.макс}$=228,4 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \leq i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \leq I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{п\tau} \leq I_{откн}$	$I_{п\tau}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
ТП-2	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \leq I_н$	$I_{раб.макс}$=88,2 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \leq i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \leq I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{п\tau} \leq I_{откн}$	$I_{п\tau}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
ТП-3	ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \leq I_н$	$I_{раб.макс}$=221 А	$I_н$ = 630 А
		$i_у \leq i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \leq I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{п\tau} \leq I_{откн}$	$I_{п\tau}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
Вводной выключатель	ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{уст} \leq U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \leq I_н$	$I_{раб.макс}$=676,9 А	$I_н$ = 1000 А
		$i_у \leq i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \leq I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{п\tau} \leq I_{откн}$	$I_{п\tau}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА
Секционный выключатель	ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{уст} \leq U_н$	$U_{уст}$ = 10 кВ	$U_н$ = 10 кВ
		$I_{раб.макс} \leq I_н$	$I_{раб.макс}$=676,9 А	$I_н$ = 1000 А
		$i_у \leq i_{пр.с}$	$i_у$=33,3 кА	$i_{пр.с}$ = 80 кА
		$B_к \leq I_T^2\ t_T$	$B_к$=68,4 кА^{2}с	$I_T^2\ t_T$ = 4000 кА^{2}с
		$I_{п\tau} \leq I_{откн}$	$I_{п\tau}$ = 16,8 *кА*	$I_{откн}$ = 20 кА

Все выбранные и проверенные в работе электрические аппараты показаны в графической части работы (лист 3).

Все они в полной мере удовлетворяют условиям выбора и проверок в системе электроснабжения.

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения данного раздела работы, исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, согласно требованиям нормативных документов, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

– исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, полученная в результате проведения реконструкции первоначальной схемы электрических соединений данного объекта исследования, и отличающейся надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

– в результате проведения расчётов и проверок установлено, что для питания реконструированной схемы РП-10 кВ с учётом требуемых условий резервирования, необходимо замерить первоначальные кабели марки АСБ-10 (3х95) на кабели марки АСБ-10 (3х150), так как в послеаварийном режиме они не соответствуют проверке по условию аварийной перегрузки;

– проведена замена выключателей высокого напряжения в ячейках РП-10 кВ, а также установка дополнительных соединений на секциях сборных шин 10 кВ РП-10 кВ с трансформаторами напряжения. Выбранные аппараты выбраны на основе полученных данных электрических нагрузок и проверены на основе результатов расчётов токов короткого замыкания.

Также в работе в системе электроснабжения предприятия по переработке каучука были получены следующие результаты:

– проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-110/10 кВ

(ТМН-6300/110) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ устанавливаются по два трансформатора марки ТМ-1600/10) на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

– осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10 (3х50) для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также провод питающей воздушной линии напряжением 110 кВ марки АС-95/16;

– проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ в соответствующих РУ на ГПП-110/10 кВ.

Выбор и проверки всего оборудования и сетей для реконструкции системы электроснабжения предприятия по производству каучука в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

Мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука обоснованы и подтверждены на основании принятия и внедрения оптимальных технических решений и полностью соответствуют требованиям [20].

Охрана труда на объекте

Анализ вредных и опасных факторов, анализ воздействия объекта на окружающую среду, анализ возможных аварийных ситуаций

«В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения объекта исследования, выделяются факторы при следующих условиях» [14]:

– «при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики)» [14];

– «при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции в системе электроснабжения» [18];

– «при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения)» [14];

– при нахождении человека вблизи заземления, с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции в системе электроснабжения объекта исследования» [14].

«Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах» [6]:

– «при коротких замыканиях» [6];

– «при прямых попаданиях молнии» [6];

– «при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгорания» [6];

– «при перегреве масла в трансформаторе» [6];

– «при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе» [6].

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

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

Воздействие объекта на окружающую среду заключается в проявлении следующих факторов:

– возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции и маслонаполненного оборудования;

– возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой;

– загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте;

– загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта (загрязнение и запылённость воздуха);

– утечка в грунт септиков и химикатов в виде стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте;

– влияние шумов на живые организмы;

– влияние высоких напряжений на биосферу.

Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть в таких случаях:

– повреждение изоляции оборудования и сетей;

– несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты;

– грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса;

– неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта;

– ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей;

– использование технологического оборудования и сетей не по назначению;

– нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте;

– прочие производственные и непроизводственные факторы.

Подводя итог, на объекте проектирования, в силу различных обстоятельств и производственных факторов, выделяются следующие виды опасностей [5]:

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

– опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;

– пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;

– экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Все данные виды опасностей должны быть учтены в работе далее при разработке комплекса мероприятий по их устранению.

3.2 Техника безопасности на объекте

Мероприятия по обеспечению электробезопасности в электроустановках многогранны и, как правило, носят следующий характер:

– профилактический;

– организационный;

– технический.

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

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

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

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

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

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

К таким средствам относятся перчатки, диэлектрические коврики и подставки, инструменты, защитные маски и очки.

Все они должны быть проверены непосредственно перед началом работ.

Кроме того, срок их эксплуатации должен быть в норме.

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

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

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

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

Известно, что работы выполняются по наряду-допуску либо по распоряжению.

В первом случае наряд – это долгосрочное задание на выполнение работ, которое не ограничивается одним рабочим днём и может быть продлён вплоть до месяца.

Как правило, наряд имеет право выдавать лицо из числа оперативно-технических работников либо инженерного персонала.

За получение наряда-допуска ответственные лица расписываются в журнале выдачи нарядов и распоряжений.

Распоряжение, в отличии от наряда-допуска, носит краткосрочный характер.

Распоряжение, как правило, выдаётся на одни рабочие сутки и, в отличии от наряда-допуска, не продлевается.

Распоряжение, также как и наряд-допуск, имеет право выдавать лицо из числа оперативно-технических работников либо инженерного персонала.

За получение распоряжения ответственные лица расписываются в журнале выдачи нарядов и распоряжений.

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

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

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

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

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

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

Затем ограждается рабочее место и вывешиваются плакаты по технике безопасности.

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

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

Допуск посторонних лиц на объект работ при этом категорически запрещён.

При этом указанные мероприятия на объекте проектирования носят обязательный характер и должны быть применены строго согласно указанных инструкций и предписаний.

Пожарная безопасность

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

– применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;

– наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);

– профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;

– работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляют на объекте силовые трансформаторы подстанции и прочее маслонаполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

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

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

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

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

Также очень важно своевременно проводить инспектирование объектов с целью профилактики пожарной безопасности.

В цеху должны быть предусмотрены пожарные извещатели и система пожарной сигнализации, которые должны предупреждать обслуживающий персонал о пожаре.

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

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

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

Известно, что системы пожаротушения бывают следующих видов, а именно:

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

Все системы пожаротушения должны обязательно быть автоматизированными.

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

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

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

Именно поэтому на объекте проектирования выбирают к использованию модульную систему пожаротушения, которая учитывает все факторы и очаги возгорания.

Экологическая безопасность

При выполнении работ на ГПП системы электроснабжения предприятия по производству каучука, необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности [5].

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

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

На объекте наибольшую опасность с экологической точки зрения представляют следующие возможные факторы [5]:

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

Экологический риск от перечисленных факторов должен быть сведён к минимуму путём внедрения качественных мероприятий, к которым относятся такие мероприятия, как-то [5]:

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

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

Экологическая безопасность на реконструированном РП-10 кВ, а также на питающем ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству каучука при нормальных стандартных условиях находится под контролем руководства согласно [17].

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

Однако при условии наступления серьезных повреждений вследствие выхода ситуации из-под контроля (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

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

Возможный экологический риск от негативного влияния ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству каучука на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, заключается в возможном загрязнении атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнении водных и земельных объектов химическими веществами и отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность

проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

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

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в реконструируемую систему системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект реконструкции РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука при соблюдении заданных требований к надежности схемы электроснабжения и качеству электроэнергии, передаваемой потребителям.

Для реализации основной цели работы, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач:

– проведён исходный анализ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, с детальным рассмотрением и анализом технологии и циклов производства, технических характеристик составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта реконструкции;

– детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки системы электроснабжения предприятия по производству каучука. На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта;

– исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована реконструируемая схема электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

– на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания, проведены выбор и проверка элементов системы электроснабжения предприятия по производству каучука;

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

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

– на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения предприятия по производству каучука.

В результате выполнения работы, обоснованы и внедрены практические мероприятия по реконструкции РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

– исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству каучука, полученная в результате проведения реконструкции первоначальной схемы электрических соединений данного объекта исследования, и отличающейся надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

– в результате проведения расчётов и проверок установлено, что для питания реконструированной схемы РП-10 кВ с учётом требуемых условий резервирования, необходимо замерить первоначальные кабели марки АСБ-10 (3х95) на кабели марки АСБ-10 (3х150), так как в послеаварийном режиме они не соответствуют проверке по условию аварийной перегрузки;

– проведена замена выключателей высокого напряжения в ячейках РП-10 кВ, а также установка дополнительных соединений на секциях сборных шин 10 кВ РП-10 кВ с трансформаторами напряжения. Выбранные аппараты выбраны на основе полученных данных

электрических нагрузок и проверены на основе результатов расчётов токов короткого замыкания.

Также в работе в системе электроснабжения предприятия по переработке каучука были получены следующие результаты:

– проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-110/10 кВ (ТМН-6300/110) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (на всех цеховых ТП-10/0,4 кВ устанавливаются по два трансформатора марки ТМ-1600/10) на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

– осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10 (3х50) для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также провод питающей воздушной линии напряжением 110 кВ марки АС-95/16;

– проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ в соответствующих РУ на ГПП-110/10 кВ.

Реконструированная система электроснабжения РП-10 кВ предприятия по производству каучука отличается надёжностью схемы электрических соединений ГПП-110/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, что позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, и, кроме того, значительно повысить показатели энергоэффективности и экономичности объекта реконструкции и его потребителей.

Результаты работы соответствуют всем требованиям основных нормативных документов.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Москва: Форум, НИЦ ИНФРА, 2018. 416 с.

2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.

4. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. Москва: Колос, 2016. 184 с.

5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). Москва: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.

6. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. Москва: Альфа-Пресс, 2015. 224 с.

7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание. Москва: Энергоатомиздат, 2017. 608 с.

8. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 316 с.

9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. Москва: ЗАО Энергосервис, 2017.

11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Москва: Альвис, 2018. 632 с.

12. Производство синтетического каучука. [Электронный ресурс]:

URL: https://dprom.online/oilngas/prakticheskaya-himiya/ (дата обращения: 20.04.2022).

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

14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.

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

16. Синтетический каучук – получение, история и виды. [Электронный ресурс]: URL: https://kauchuk.com.ua/synthetic-rubber-types-and-history/ (дата обращения: 20.04.2022).

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

18. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: https://www.twirpx.com/file/24666/ (дата обращения: 20.04.2022).

19. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

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.