

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 системы электроснабжения корпуса «А» ТГУ

Студент

Д.М. Евстигнеев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.С. Романов

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе представлены проектные решения по реконструкции системы электроснабжения учебно-лабораторного «А» корпуса ТГУ в связи с увеличением мощности лабораторного оборудования и физическим устареванием электрооборудования.

Для правильного выбора нового электрооборудования, по строительным чертежам была сделана 3D модель корпуса, часть которой пригодилась для 3D визуализации и расчета равномерности освещения и правильности выбранных светильников. Произведен анализ и обследование существующей системы электроснабжения корпуса. На основании полученных данных разработаны меры по устранению недочетов старой системы электроснабжения, составлен список задач, которые необходимо выполнить для решения поставленной цели. Произведен расчёт силовых нагрузок с учетом увеличения мощности корпуса и дополнительных нагрузок на трансформатор. Разработана новая система внутреннего освещения, которая дает более равномерное распределение светового потока и экономию электроэнергии за счет установки светодиодных светильников. Рассчитана и выбрана установка для компенсации реактивной мощности нового лабораторного оборудования. Произведен выбор новых панелей ВРУ и новой кабельной продукции для питания корпуса. На месте старой ТП-2 принято решение установить новую блочную комплектную трансформаторную подстанцию с новым более мощным трансформатором.

Также произведен расчёт токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжений. Проверка кабельной продукции по длительному току, току термической стойкости и не возгоранию.

Данная пояснительная записка представлена на 71 страницах, содержит 14 рисунков и включает в себя 12 таблиц. Графическая часть состоит из 5 чертежей формата А1.

ABSTRACT

The title of the graduation work is “Reconstruction of the power supply system at the A campus of Togliatti State University.

The senior paper consists of an introduction, ten parts, a conclusion, the list of references including foreign sources and the graphic part on 5 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the design of a new transformer substation and the reconstruction of the power supply system of the whole campus. We touch upon the problem of campus lighting with right level of illumination for students to study which consist of 400-500 lux for study rooms and laboratories, as well as the problem of power supply of the entire campus and its grounding.

The aim of the work is to give some information about the development of design and survey works to reconstruction of the power supply system to ensure all good conditions for comfortable and safe knowledge acquisition of students using modern laboratory equipment.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: characteristics of the design object; the choice of power supply system; calculation of power loads; calculation of reactive power compensation and selection of compensating units; the choice of ASU; calculation of power transformers and their selection; selection of the type of transformer substation; calculation of short circuit currents on the HV and LV side; checking cable lines; Ground Loop Calculation.

Finally, we present the work on the successful reconstruction of the campus power supply system, as well as the replacement of the existing old transformer substation with a new block packaged transformer substation. The work done has allowed us to significantly savings on electricity, as well as significantly working capacity of electrical installations.

In conclusion we'd like to stress this work is relevant not only for the reconstruction of the TSU study campus, similar technological and constructive solutions can be used for the reconstruction of similar educational buildings throughout the Russian Federation.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта проектирования	7
1.1 Описание объекта проектирования	7
1.2 Система электроснабжения объекта проектирования.....	9
2 Выбор системы электроснабжения	17
2.1 Выбор схемы электроснабжения.....	17
2.2 Выбор системы освещения.....	19
2.3 Расчет распределения светового потока.....	20
2.4 Выбор щита ППУ	22
3 Расчет силовых нагрузок	23
4 Расчёт компенсации реактивной мощности и выбор компенсирующих установок.....	30
5 Выбор ВРУ	32
6 Расчет мощности трансформаторов и их выбор	38
7 Выбор типа трансформаторной подстанции	42
7.1 Выбор сечения кабельной линии 0,4 кВ от 2БКТП до ВРУ	46
7.2 Выбор производителя кабельной продукции.....	46
8 Расчёт токов короткого замыкания на стороне ВН и НН	48
8.1 Расчёт трехфазного КЗ в точке К1	52
8.2 Расчёт трехфазного КЗ в точке К2	53
8.3 Расчёт трехфазного КЗ в точке К3	55
9 Проверка кабельных линий.....	57
9.1 Проверка КЛ от 2БКТП до ВРУ	57
9.2 Проверка КЛ от ВРУ до ЩР и ЩО	63
10 Расчет контура заземления.....	64
Заключение	67
Список используемой литературы	68

Введение

Основной пик и темпы строительства зданий и сооружений в нашей стране как промышленного, так и жилищного фонда приходились на послевоенный советский период. Ситуация со строительством в корне изменилась в период перестройки 1985-1986 год, когда совсем прекратилось строительство новых зданий и сооружений. И до сих пор, в Самарской области, как и во всей России большинство зданий и сооружений построены в советское время. За это время здания устарели как морально, так и технически.

На конец 2017 года в российской федерации жилищный фонд составляет 37,08 млн кв.м. из которых около 90 кв.м. 2,5 % относится к категории аварийного ветхого жилья.

По данным Мэрии Самары на 1 марта 2019 года за период с 2012 по 2019 год признаны аварийными 599 домов из которых 423 здания под снос и всего 51 на реконструкцию.

С электроснабжением дела обстоят не лучше. По данным ЖКХ, в России износ сетей электроснабжения в некоторых регионах уже превысил 90%. В Тольятти износ сети электроснабжения по данным на сентябрь 2019 года составляет 27,3%. Такая же плачевная ситуация не обошла стороной и большинство зданий учебных заведений в нашей стране.

Наука неустанно движется вперед, открывая все больше нового для человечества. За последние 50 лет человечество успело впервые побывать в космосе, построить невероятно высокие и технологичные здания, сделать сверхточные операции, создать мощные, быстрые автомобили, доступные каждому и буквально иметь миниатюрную версию компьютера у себя в кармане. И на фоне такого умопомрачительного научного прогресса состояние зданий учебных заведений, где должны обучаться будущие специалисты, двигающие науку все дальше вперед, находятся в плачевном состоянии и нуждаются в их реконструкции и модернизации.

Правительство Самарской области в этом отношении тоже принимает свои шаги, например, в Самарской области утвердили государственную программу «Строительство, реконструкция и капитальный ремонт образовательных учреждений Самарской области» до 2025 года. Этому мероприятию придают высокое значение на самом высоком уровне нашего правительства.

В Тольятти находится большое количество учебных заведений, но на их фоне выделяется один, признанный во всей России. Тольяттинский Государственный Университет является опорным вузом нашей страны, но к сожалению техническое состояние большинства его корпусов с момента строительства осталось неизменным.

В 2012 году уже реконструировали один из корпусов ТГУ, но это коснулось только его внешней части и системы обогрева водостока. Внутри же ремонт не производился. Распределительные устройства, устройства защиты и состояние проводки находятся в ужасном состоянии.

В связи с ежегодным ростом потребителей электроэнергии, нагрузки на сеть электроснабжения неумолимо растут, а её качество постепенно ухудшается. Из-за износа сети могут произойти ужасные случаи, вплоть до возгорания электропроводки, а за ней и всего корпуса. Замена сети электроснабжения является актуальной и востребованной темой.

На выбор темы бакалаврской работы повлияла актуальность данной проблемы. В данной работе требуется подробнее осмотреть вопрос нашего корпуса, провести анализ и внести предложения по модернизации системы электроснабжения.

Целью бакалаврской работы является разработка проектных решений по реконструкции системы электроснабжения корпуса «ТГУ».

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Описание объекта проектирования

Тольяттинский Государственный Университет – опорный вуз Самарской области, центр инновационного и технологического развития региона, градообразующий вуз Тольятти. ТГУ [19] создан в 2001 г. на базе Тольяттинского политехнического института и Тольяттинского филиала Самарского государственного педагогического университета. В 9 институтах ТГУ по широкому спектру технических, естественно-научных, гуманитарных и экономических направлениях учатся около 16 000 студентов в Центральном и Автозаводском районах Тольятти. В центральном районе находится 11 корпусов ТГУ: А, Б и Д, Г, Е, М, И, С, Ф, Э, НИЧ и УЛК.

Корпус «А» находится в главном кампусе ТГУ в Центральном р-не г. Тольятти, расположен рядом с корпусами: Г, М, НИЧ, УЛК и рядом с центральным районным судом города Тольятти. Адрес корпуса: Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Белорусская 14А. Географические координаты корпуса: 53.499821, 49.397180, Корпус изображен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Общий вид со спутника

Корпус «А» ТГУ представляет собой прямоугольное, кирпичное, 4-х этажное здание, с плоской кровлей, с высотой потолков – 3 м и без подвального помещения. Здание корпуса построено в 1964 году. Длина корпуса 117,3 м, ширина 28,6 м и высота 14 м. Площадь застройки корпуса – 3217,6 м². Полезная площадь корпуса – 6138,8 м². Вид корпуса с фасада изображен на рисунке 2.

В 2012 году произведен внешний косметический ремонт: сделана облицовка фасада под мрамор, в едином стиле с корпусом УЛК. Произведена замена деревянных окон на пластиковые стеклопакеты, установлена система подогрева водостоков, а также архитектурное декоративное освещение.



Рисунок 2 – Корпус «А» ТГУ, вид фасада

Внутри корпуса капитальный ремонт не производился с момента постройки. Стены покрашены зеленой или бежевой акриловой краской снизу и белой сверху. Отделка потолка выполнена белой побелкой. Пол на первом и четвертом этажах выложен паркетом, находящимся там с момента постройки корпуса. На втором и третьем этажах произведена замена напольного покрытия.

На первом этаже корпуса находятся: пункт охраны, гардероб, буфет, преподавательская, кабинет электриков, 2 электрощитовые, 6 лекционных аудиторий, одна из которых имеет панорамное остекление, выходящим на сквер перед главным корпусом 14 лабораторий, в состав которых входят лаборатории секции сварки, находящиеся в пристройке «А» корпуса ТГУ.

На втором этаже расположились преподавательская, две препаративных, кабинет директора центра медицинской химии, НИЛ «медицинская химия низкомолекулярных ингибиторов киназ», студенческий клуб, 8 лабораторий и 3 лекционные аудитории.

На третьем этаже находится кабинет кафедры центра медицинской химии и кабинет кафедры пищевых технологий и товароведения продовольственных товаров, кабинет заведующей кафедры, НИЛ «функциональные гетероциклические соединения», методический кабинет, 3 препаративных кабинета, 5 лекционных аудиторий и 4 лаборатории.

На четвертом этаже находятся: кабинет кафедры машин и аппаратов химических производств и предприятий строительных материалов, кабинет службы безопасности, 3 преподавательских, 3 учебно-методических кабинета, компьютерный класс, 6 лабораторий и 9 лекционных аудиторий.

В здании корпуса находятся 55 учебных, 25 административных и 5 подсобных помещений, а также 8 санузлов.

1.2 Система электроснабжения объекта проектирования

Электропитание корпуса осуществляется от силового трансформатора ТМ-630/6/0,4 [22], находящегося в трансформаторной подстанции ТП-2. Трансформатор ТМ-630/6/0,4 – трехфазный масляный двухобмоточный трансформатор, понижающий напряжение первичной обмотки 6 кВ до напряжения вторичной обмотки 0,4 кВ.

Максимальный ток 910 А;

Мощность 630 кВА;

Материал обмотки – алюминий;

Материал изоляции пластин – жаростойкая пленка;

Ток холостого хода – 1,7 %;

Напряжение короткого замыкания – 5,5 %.

Электропитание к трансформаторной подстанции ТП-2 поступает от трансформаторной подстанции ТП-1 кабелем АСБ-6 сечением $3 \times 150 \text{ мм}^2$. ТП-2 изображена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Общий вид ТП-2 с улицы

В роли силового выключателя для подключения вводного кабеля к шине используется высоковольтный выключатель ВН-16 с номинальным током 400 А. Коммутация силового трансформатора ТМ-630/6/0,4 осуществляется выключателем высоковольтным ВН-16 с номинальным током 400 А. Защита трансформатора от сверхтоков и токов КЗ выполнена путем установки высоковольтного предохранителя ПК-6-100 с плавкой вставкой со стороны высокого напряжения. Коммутация резервного трансформатора ТМ-630/6/0,4 осуществляется выключателем

высоковольтным ВН-16 с номинальным током 400 А. Защита резервного трансформатора от сверхтоков и токов КЗ выполнена путем установки высоковольтного предохранителя ПК-6 с плавкой вставкой со стороны высокого напряжения. Трансформаторная подстанция

В трансформаторной подстанции ТП-2 находится 11 панелей ЗРУ. Электропитание «А» корпуса осуществляется от третьей панели.

От трансформаторной подстанции в электрощитовую корпуса, в траншеи, под землей, идут 2 трехжильных кабеля АВВГ с сечением жилы в 240 мм^2 . Один из кабелей находится в отключенном состоянии.

В электрощитовой кабели приходят на силовой ящик с рубильником ЯБПВУ-400-УЗ, с номинальным током 400 А и эксплуатацией в районах с умеренным климатом с категорией размещения 3 (в закрытых помещениях с естественной вентиляцией, кабелем АПРТО с сечением жилы $3 \times 150 \text{ мм}^2$, после чего кабели приходят на первую панель ВРУ с двумя рубильниками ПД-2, с номинальным током 400 А, где происходит переключение между рабочим и резервным вводом, от которого, через автоматические выключатели А-3134, с номинальным током 200 А и А-3144, с номинальным током 500 А, кабелем ВВГ с сечением жилы $3 \times 120 \text{ мм}^2$ идут на силовые шины ВРУ. Панели ВРУ и панель наружного освещения и обогрева водостоков изображены на рисунке 4. Между автоматическими выключателями А-3134, А-3144 и силовыми шинами ВРУ, через трехфазные измерительные трансформаторы тока установлены 2 счетчика электроэнергии «Меркурий» 230 ART-03 PQRSIDN.. Соединение секций шин выполнено автоматическим выключателем А-3144. Подключение панелей ВРУ к секции шин осуществляется через автоматические выключатели типа: А-3124 и А-3134 и А-3144. Схема соединений изображена на рисунке 5. Электропроводка в панелях ВРУ осуществлена кабелем: АПР сечением $3 \times 25 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$, АПР сечением $3 \times 35 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$, АПРТО сечением $4 \times 6 \text{ мм}^2$, ВВГ сечением $4 \times 10 \text{ мм}^2$, ВВГ сечением $4 \times 10 \text{ мм}^2$, АПРТО сечением $3 \times 120 + 1 \times 50$

мм², АВВГ сечением 4x35 мм², АПРТО сечением 4x35 мм² и АПРТО сечением 3x120 + 1x50 мм².



1, 2 – 1, 2, 3 и 4 секции ВРУ; панель наружного освещения и обогрева водостоков; 3 – вторая секция ВРУ внутри/

Рисунок 4 – Общий вид ВРУ

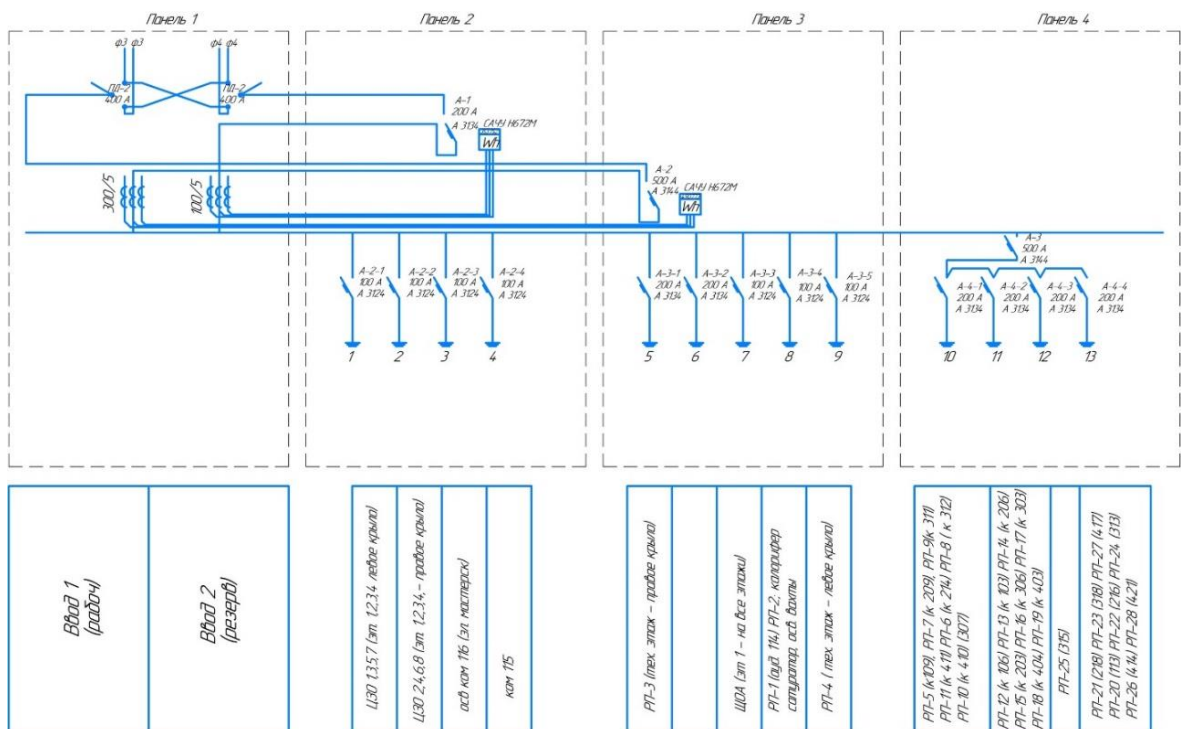


Рисунок 5 – Однолинейная схема соединения панелей ВРУ

Сеть радиальная, режим работы нейтрали - глухозаземлённая, система – TN-C.

Напряжение с 13 выходов от панелей ВРУ распределяется по щитам освещения, расположенным на каждом этаже.

На первом этаже находится 3 щита освещения ЩО1.1 – ЩО1.3, так же небольшой щит вместе с термореле находится у входа в корпус со стороны помещения, на втором этаже находится 7 щитов освещения ЩО2.1 – ЩО2.7, на третьем этаже 5 щитов освещения ЩО3.1 – ЩО3.5 и на 4 этаже 3 щита освещения ЩО4.1 – ЩО4.3.

Электропроводка второго и третьего этажа выполнена кабелями ВВГ 3х1,5 мм² и ВВГ 3х2,5 мм². Ввод в ЩО выполнен кабелем ВВГ 3х6 + ПВ1 1х4 мм², ПВ1 3х6 + ПВ3 1х10 мм², ПВ3 5х10 мм², ВВГ 3х6 + ПВ1 1х6 мм², ПВ1 4х6 мм² и ПВ1 4х16 мм².

Электропроводка первого и четвертого этажа выполнена кабелями АППВ 2х2,5 мм², АППВ 2х4 мм², ВВГ 3х1,5 мм² и ВВГ 2х4 мм². Ввод в ЩО выполнен кабелем АПРТО 3х35 + 1х16 мм², АПВ 4х4 мм², АПВ 3х35 + 1х16 мм², АПРТО 3х16 + 1х10 мм² и АПРТО 3х16 + 1х10 мм².

На первом и четвертом этажах в щитах освещения установлено морально и технически устаревшее оборудование (автоматические выключатели 1960-х годов выпуска.), не способные в должной мере обеспечить защиту участка или вообще не сработать во время короткого замыкания. На втором и третьем этажах проводилась частичная реконструкция системы электроснабжения, установлена более современная система защиты, появилась защита от дифференциальных токов утечки. Внешний вид оборудования изображен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Устаревшие автоматы, новые автоматы

Внутреннее освещение корпуса выполнено с помощью 655 светильников семи разных типов. Освещение коридора первого этажа выполнено 24 светильниками ЛПО 01-2x36-012, 5 светильниками ЛПО 01-1x36-001/011, расположенными в гардеробной зоне и 5 светильниками ЛПО46-2x36-004 Luxe, расположенных при входе и возле буфета. Освещение коридора второго этажа выполнено 17 светильниками ЛПО 01-2x36-012. Освещение коридора третьего этажа выполнено 14 светильниками ЛПО 01-2x36-012. Освещение коридора четвертого этажа выполнено 10 светильниками ЛПО 01-1x36-001/011 и 2 светильниками ЩОД 2x40. Освещение лестничных клеток выполнено 8 светильниками ЛСПО 01-2x58. В аудиториях и лабораторных, в среднем, установлено от 6 до 8 светильников ЛПО 01-2x36-012. В аудитории 125, с панорамным остеклением, установлено 42 светильника ЛПО 01-2x36-012. В аудитории 118 установлено 9 светильников АРМСТРОНГ СТАНДАРТ 36 Вт. В санузлах установлено по 3 лампы накаливания.

Освещение фасада выполнено прожекторами производства «Световые технологии» [19], марки UMA 1000H и UMA 400H, мощностью 1000 Вт и 400 Вт, цоколь 2G11, IP66. Данные светильники устанавливаются:

– гр. 1Н ЩНО - UMA 1000H - на отметке +17.000 фасад 1-27;

– гр. 2Н ЩНО - UMA 400H - на отметке +7.000 фасад А-Г.

Сеть освещения гр. 1Н ЩНО выполнена кабелем марки ВВГнг-LS сеч. $5 \times 2,5 \text{ мм}^2$ по кровле открыто в металлорукаве, в помещениях – скрыто в штробе. Каждый из светильников данной группы подключается к одной из фазных жил, жилы РЕ и N – общие. Светильники подключаются к фазам поочередно так, чтобы нагрузка была симметричной.

Сеть освещения фасада получает электропитание и управление от щита управления наружным освещением ЩНО.

1.3 Задачи ВКР

Проведено инструментальное обследование корпуса, произведен суточный замер качества электроэнергии в электрощитовой на первом и втором вводе. Произведен анализ качества электроэнергии по ГОСТ 32144-2013 [4]. По данным обследования выявлено постоянное превышение гармоник по трем фазам на первом и втором вводах. Суммарный коэффициент искривления на первом вводе: 3,3 % по напряжению, 33,4 % по току; на втором вводе 3,2 % по напряжению и 56 % по току. Так же выявлен перекося фаз (неравномерное распределение нагрузки по фазам) на первом вводе 32,3 %, на втором вводе 90,3 %, что пагубно влияет на электропотребителей и по ГОСТ 32144-2013 не должен превышать 15 %.

Обследование «А» корпуса ТГУ [24] показало техническое и моральное устаревание силового оборудования трансформаторной подстанции, питающей корпус, морально и технически устаревшие системы защиты и распределения электроэнергии. Использование алюминиевой проводки, способ соединения проводов и их изоляция в распаячной коробке и

использование защитной аппаратуры с уставками, выше рабочих – причины возможного возникновения пожара.

С увеличением количества электроприемников, находящихся в «А» корпусе ТГУ, возрастет мощность и защитное оборудование может не справиться с проходящей через него нагрузкой и может выйти из строя или не сработать. В связи с чем требуется обслуживание и полная замена системы электроснабжения корпуса в срочном порядке.

Замена системы освещения повысит уровень энергосбережения и уровень комфорта для создания правильной рабочей среды ГОСТ Р 55710-2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений» [8], а современное защитное оборудование поможет избежать несчастных случаев.

В связи с выше перечисленным, необходимо произвести полную реконструкцию системы электроснабжения корпуса. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- произвести расчёт и выбор системы внутреннего освещения корпуса;
- осуществить расчёт силовых нагрузок с учётом увеличения мощностей;
- выполнить выбор и расчёт новых силовых трансформаторов для трансформаторной подстанции ТП-2;
- произвести расчёт токов коротких замыканий на стороне высокого и низкого напряжения;
- произвести расчёт и выбор современного ВРУ;
- произвести расчёт и выбор современных защитных аппаратов и кабельной продукции;
- произвести выбор и расчёт электрощитового оборудования.

Вывод: произведен визуальный осмотр объекта и существующей системы электроснабжения, выявлены недостатки и сформированы задачи для их устранения.

2 Выбор системы электроснабжения

2.1 Выбор схемы электроснабжения

От правильного выбора категорий приёмников электроэнергии по степени бесперебойного питания для конкретного технологического производства во многом зависит выбор надёжной схемы электроснабжения, обеспечивающей в условиях эксплуатации минимальные затраты. В отношении обеспечения надёжности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории:

Электроприемники I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей. Электроприемники II категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недовыпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта. Электроприемники III категории – все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий.

Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров имеют первую (I) категорию электроприемников по надёжности электроснабжения для электроприемников противопожарных устройств и охранной сигнализации, и вторую (II) категорию электроприемников по надёжности электроснабжения для комплекса остальных электроприемников.

Вследствие чего питание корпуса осуществлено двумя трансформаторами, а для эвакуационного освещения, охранной сигнализации и иных ответственных потребителей проектом предусмотрен щит с автоматическим вводом резерва (АВР). Кроме того, в соответствии с требованиями СП 6.13130.2013 [21] для питания систем противопожарной защиты требуется установка отдельного щита – панель противопожарных устройств (ППУ).

По структуре схемы электрических сетей могут быть радиальными, магистральными и смешанными.

При расположении нагрузок в различных направлениях от центра питания целесообразно применять радиальную схему передачи и распределения электроэнергии. Они могут быть применены для нагрузок любой категории надежности.

Магистральные схемы целесообразно применять для питания силовых и осветительных нагрузок, распределенных относительно равномерно по площади учреждения, а также для питания группы электроприемников, принадлежащих одной технологической линии. При магистральных схемах одна питающая магистраль обслуживает несколько распределительных шкафов и крупные электроприемники.

Наибольшее применение имеют смешанные схемы, сочетающие в себе элементы радиальных и магистральных схем и пригодные для любой категории надежности электроснабжения. От главных питающих магистралей и их ответвлений электроприемники питаются через распределительные шкафы или шинопроводы.

В случае электроснабжения корпуса «А» ТГУ, предпочтительнее применить смешанную схему электроснабжения. Так, как помимо силовых и осветительных нагрузок, для которых идеально подходит магистральная схема электроснабжения, в корпусе «А» ТГУ электроснабжение каждого этажа участка сварки и МДО выполнено радиальным способом.

Согласно ПУЭ [18], сети для обеспечения электроснабжения административных, жилых, общественных и бытовых зданий подразделяются на: питающие, распределительные и групповые.

Питающая сеть – сеть от распределительного устройства подстанции до ВРУ, выполнена по магистральной схеме. Она включает в себя четыре кабеля АВБШвнг(А), для питания ВРУ-1 и ВРУ-2.

Распределительная сеть – сеть от ВРУ до распределительных пунктов и щитков, реализована по смешанной схеме электрических сетей. Освещение,

корпус сварки и участок МДО выполнены магистральным способом, а сеть, питающая розеточные группы реализована по радиальной схеме.

Групповая сеть – сеть от щитков и распределительных пунктов до светильников, штепсельных розеток и других электроприемников, выполнена по радиальной схеме, кабелем ВВГнг(А)-LS.

По главе 1.7 ПУЭ [18], для электроустановок напряжением до 1 кВ есть три основных системы заземления: система TN – C – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем ее протяжении; система TN – S – система TN, в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем ее протяжении; система TN – C – S – система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания.

Питающая сеть выполнена системой TN – C с общим PEN проводником. Питающие и распределительные сети, в свою очередь, реализованы по схеме TN – S. В корпусе электрощитовой по стене проложена металлическая полоса, являющаяся главной заземляющей шиной.

2.2 Выбор системы освещения

Учебно-лабораторный «А» корпус ТГУ является одним из отличительных корпусов университета. В нем проводится множество лекций с участием приезжих лекторов и находится большое количество лабораторий, усовершенствующихся каждый год. Потому важность правильного и грамотного освещения очень важна в данном корпусе.

Необходимо не только выбрать хорошего поставщика светового оборудования, но и правильно рассчитать мощность и распределение светового потока.

В России хорошо зарекомендовали себя такие производители осветительного оборудования, как Jazzway, Фокус и Светлый город. Сравним

технические характеристики светильников, их стоимость и заслуги компании, принято решение сделать систему освещения на светильниках производства ООО «Фокус» [14]. Для освещения учебных и лабораторных аудиторий и административных помещений принят к использованию светильник СПО 36 Вт с матовым стеклом с световым потоком в 4500 лм, вид климатического исполнения УХЛЗ. Для освещения коридоров СПО 40 Вт с матовым стеклом с световым потоком в 4600 лм, вид климатического исполнения УХЛЗ.

Для системы аварийного освещения и освещения путей эвакуации выбраны светильники ЖКХ 8 Вт с световым потоком в 800 лм, вид климатического исполнения УХЛЗ.

Для аварийного освещения и системы пожаротушения задействованы вышеперечисленные светильники, запитанные от панели ППУ.

2.3 Расчет распределения светового потока

Для проверки правильности выбранного светового оборудования произведем расчет в программе для создания системы освещения и расчета освещенности DIALux evo 9.

Для расчета выберем одну из аудиторий корпуса. Выберем 125 аудиторию, которая имеет панорамное остекление с двух сторон аудитории и является одной из важных частей корпуса, где часто ведутся лекции и семинары и где правильно подобранное освещение имеет большое значение.

Составим 3D модель аудитории используя чертежи корпуса и заранее начерченный чертеж всего корпуса в программе ArchiCAD 22. Согласно плана в аудиторию добавлены парты, двери, окна и тому подобное. В результате получена 3D модель расчётного помещения, изображенная на рисунке 7.



Рисунок 7 – 3D модель расчётного помещения

Для расчёта распределения светового потока в 3D модель помещения загружены светильники, выбранные в пункте 2.1.

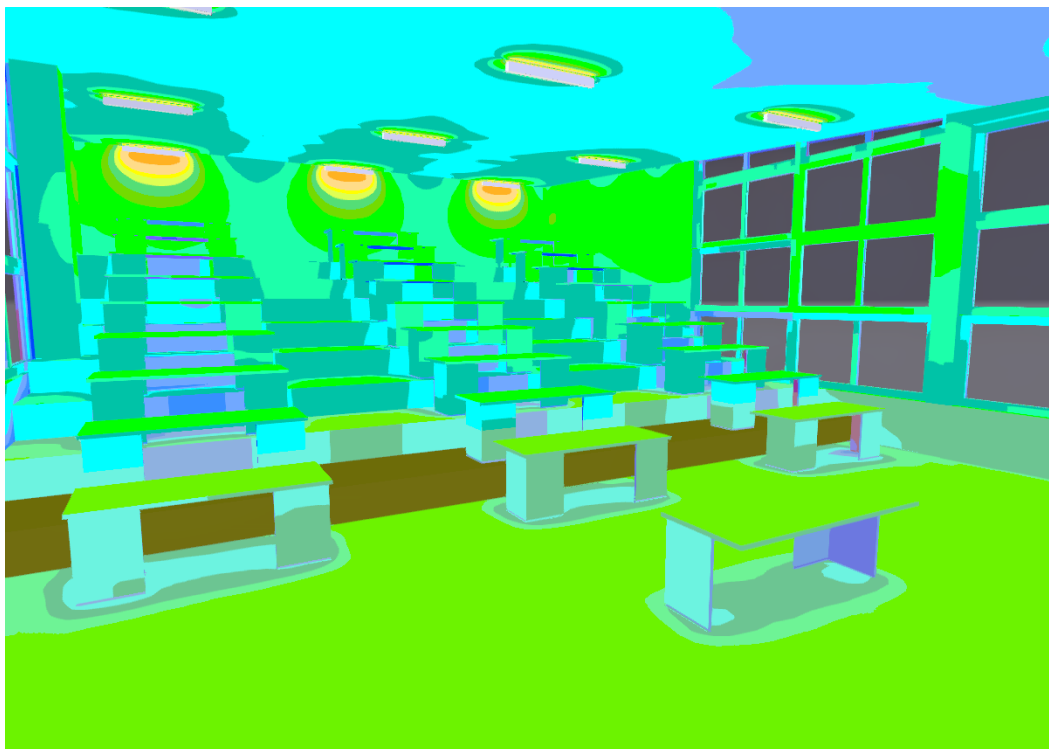


Рисунок 8 – Распределение светового потока в аудитории

Программа DIALux evo 9 производит расчёт освещенности и распределения светового потока. Распределение светового потока в аудитории изображено на рисунке 8.

2.4 Выбор щита ППУ

Так, как учреждения образования, воспитания и подготовки кадров имеют первую категорию электроприемников по надежности электроснабжения для электроприемников противопожарных устройств и охранной сигнализации, то питание электроприемников I-й категории по надежности электроснабжения решено выполнить от самостоятельного щита (панели) с устройством АВР.

Установку отдельной панели ППУ необходимо выполнить в электрощитовом помещении здания. Питание панели ППУ предусмотреть от двух вводных (вводной) панелей ГРЩ, получающих питание от разных выходов ВРУ-1. Две кабельные линии питания панели ППУ подключить до отключающих аппаратов ГРЩ.

Проанализировав рынок, удалось найти единственного поставщика щитов ППУ с большим количеством сертификатов, продукции и реальных объектов, на которых произведена установка оборудования от данного производителя. Этой компанией является фирма из Санкт-Петербурга ООО «НИКом» [11]. К исполнению выбран щит ППУ ЩУ-П-400 IP54 (АВР).

На вводе установлены выключатели нагрузки $I_{ном} = 63\text{А}$; Напряжение питающей сети $U_{пит} = 400\text{В}$; Один выход $U_{вых} = 400\text{В}$, $I_{вых} = 63\text{А}$; корпус металлический, окрашен в красный цвет в соответствии с ГОСТ, IP54, $t_{кспл.} = 30^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$. Установлена система автоматического ввода резерва (АВР) на 63 А, с индикацией рабочего ввода.

Вывод: для электроснабжения корпуса выбрана смешанная схема электроснабжения. Так же произведен выбор системы освещения и щита ППУ.

3 Расчет силовых нагрузок

Расчет силовых нагрузок «А» корпуса ТГУ производится при помощи свода правил «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» СП 256.1325800.2016 [19]. Воспользуемся пунктом 7.2 «Нагрузки общественных зданий».

Расчетную электрическую нагрузку рабочего освещения $P_{p.o}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{y.o} n, \quad (1)$$

где $K_{c.o}$ – расчетный коэффициент спроса для расчетов нагрузок рабочего освещения, следует принимать равным 1;

$P_{y.o}$ – установленная мощность светильника, принимаемая 0,04 кВт;

n – число светильников.

Расчетную реактивную нагрузку освещения Q_p , кВАр, определяется по формуле:

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

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Рабочий ток каждой линии, питающих розетки I_p , А, определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_{p.o}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}, \quad (3)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, принимается равным 0,95.

Расчетную электрическую нагрузку линий, питающих розетки $P_{p.p}$, кВт, определяется по формуле:

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

где $K_{c.p}$ – расчетный коэффициент спроса, принимается равным 0,2...0,4;

$P_{y.p}$ – установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники);

n – число розеток.

Расчетную реактивную нагрузку линий, питающих розетки Q_p , кВАр, определяется по формуле:

$$Q_p = P_{p.p} \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Рабочий ток каждой линии, питающих розетки I_p , А, определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_{p.p}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}, \quad (6)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, принимается равным 0,9.

Производим распределение потребителей электроэнергии на три основные группы: группа освещения, группа учебных аудиторий и кабинетов корпуса и группа лабораторий. Принято решение на каждом этаже сделать по одному щиту освещения (ЩО) и по одному распределительному щиту ЩР для групп учебных аудиторий и лабораторий.

Далее производим расчет активной мощности щита P_p , кВт по формуле:

$$P_p = K_{c.щ} P_{y.щ}, \quad (7)$$

где $K_{c.щ}$ – расчетный коэффициент спроса, следует принимать равным

$K_{c.щ} = 0,4$ для ЩР и $K_{c.щ} = 0,6$ для ЩО;

$P_{y,щ}$ – суммарная установленная мощность всех потребителей щита.

Расчетную реактивную нагрузку щита Q_p , кВАр, определяется по формуле:

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Рабочий ток щита I_p , А, определяется по формуле:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos \varphi}, \quad (9)$$

где $\cos \varphi$ – коэффициент мощности, принимается равным 0,9.

Все произведенные расчеты нагрузок сводятся в таблицы 1 – 3.

Таблица 1 – Расчет нагрузок системы освещения

Кабинет	п, шт.	$P_{p.o}$, кВт	$K_{c.o}$	$P_{p.o}$, кВт	$P_{сум}$, кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	S_p , кВт	Q_p , кВАр	I_p , А
кабинет 101	8	0,04	1	0,32	8	0,95	0,33	0,3	0,34	0,51
кабинет 102	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 104	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 106	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 107	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 108	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 109	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 110	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 111	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 112	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 113	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 114	4	0,04	1	0,16		0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 115	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 116	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 117	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 118	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 119	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 120	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13

Продолжение таблицы 1

кабинет 123	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 124	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 125	20	0,04	1	0,8		0,95	0,33	0,76	0,76	1,28
коридор	35	0,04	1	1,4		0,95	0,33	1,33	1,33	2,24
лестница	1	0,04	1	0,04		0,95	0,33	0,04	0,04	0,06
кабинет 202	4	0,04	1	0,16		0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 203	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 204	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 205	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 206	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 207	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 208	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 209	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 212	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 213	4	0,04	1	0,16	5,16	0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 214	4	0,04	1	0,16		0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 215	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 216	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 218	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 218а	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 220	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 222	4	0,04	1	0,16		0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
коридор	20	0,04	1	0,8		0,95	0,33	0,76	0,76	1,28
лестница	1	0,04	1	0,04		0,95	0,33	0,04	0,04	0,06
кабинет 302	12	0,04	1	0,48		0,95	0,33	0,46	0,46	0,77
кабинет 303	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 304	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 305	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 306	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 307	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 308	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 309	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 310	8	0,04	1	0,32	5,28	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 311	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 312	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 313	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 314	4	0,04	1	0,16		0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 315	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 316	2	0,04	1	0,08		0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 318	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
коридор	15	0,04	1	0,6		0,95	0,33	0,57	0,57	0,96
лестница	1	0,04	1	0,04		0,95	0,33	0,04	0,04	0,06
кабинет 401	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 401а	4	0,04	1	0,16	5,68	0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 402	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 403	8	0,04	1	0,32		0,95	0,33	0,3	0,3	0,51

Продолжение таблицы 1

кабинет 404	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 405	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 406	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 408	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 409	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 411	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 412	2	0,04	1	0,08	0,95	0,33	0,08	0,08	0,13
кабинет 413	4	0,04	1	0,16	0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 414	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 415	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 416	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 417	4	0,04	1	0,16	0,95	0,33	0,15	0,15	0,26
кабинет 419	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
кабинет 423	8	0,04	1	0,32	0,95	0,33	0,3	0,3	0,51
коридор	15	0,04	1	0,6	0,95	0,33	0,57	0,57	0,96
лестница	1	0,04	1	0,04	0,95	0,33	0,04	0,04	0,06

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок линий

Кабинет	п, шт.	Р _{у.р} , кВт	Кс.р	Р _{р.р} , кВт	Р _{сум} , кВт	cos φ	tg φ	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А
кабинет 101	1	7,15	0,2	1,43	29,9	0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 102	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 104	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 106	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 107	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 108	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 109	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 110	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 111	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 112	1	7,15	0,2	1,43		0,9	0,48	0,69	1,59	2,41
кабинет 113	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 114	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 115	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 116	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 117	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 118	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 119	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 120	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 123	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 124	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 125	8	0,06	0,4	0,19	0,9	0,48	0,09	0,21	0,32	
кабинет 202	4	0,06	0,4	0,1	31,38	0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 203	10	1,6	0,2	3,2		0,9	0,48	1,54	3,56	5,4

Продолжение таблицы 2

кабинет 204	6	1,8	0,2	2,16		0,9	0,48	1,04	2,4	3,65
кабинет 205	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 206	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 207	8	1,6	0,2	2,56		0,9	0,48	1,23	2,84	4,32
кабинет 208	10	1,4	0,2	2,8		0,9	0,48	1,34	3,11	4,73
кабинет 209	8	1,7	0,2	2,72		0,9	0,48	1,31	3,02	4,59
кабинет 212	10	0,75	0,4	3		0,9	0,48	1,44	3,33	5,06
кабинет 213	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 214	6	0,75	0,4	1,8		0,9	0,48	0,86	2	3,04
кабинет 215	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 216	10	1,6	0,2	3,2		0,9	0,48	1,54	3,56	5,4
кабинет 218	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 218a	7	1,8	0,2	2,52		0,9	0,48	1,21	2,8	4,25
кабинет 220	8	1,7	0,2	2,72		0,9	0,48	1,31	3,02	4,59
кабинет 222	6	0,75	0,4	1,8		0,9	0,48	0,86	2	3,04
кабинет 302	12	0,75	0,4	3,6		0,9	0,48	1,73	4	6,08
кабинет 303	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 304	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 305	12	0,75	0,4	3,6		0,9	0,48	1,73	4	6,08
кабинет 306	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 307	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 308	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 309	9	1,8	0,2	3,24		0,9	0,48	1,56	3,6	5,47
кабинет 310	10	1,7	0,2	3,4	27,88	0,9	0,48	1,63	3,78	5,74
кабинет 311	12	1,4	0,2	3,36		0,9	0,48	1,61	3,73	5,67
кабинет 312	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 313	10	1,6	0,2	3,2		0,9	0,48	1,54	3,56	5,4
кабинет 314	6	0,75	0,4	1,8		0,9	0,48	0,86	2	3,04
кабинет 315	8	0,06	0,4	0,19		0,9	0,48	0,09	0,21	0,32
кабинет 316	8	0,06	0,4	0,19		0,9	0,48	0,09	0,21	0,32
кабинет 318	8	1,5	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 401	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 401a	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 402	7	2	0,2	2,8		0,9	0,48	1,34	3,11	4,73
кабинет 403	9	1,8	0,2	3,24		0,9	0,48	1,56	3,6	5,47
кабинет 404	8	1,6	0,2	2,56		0,9	0,48	1,23	2,84	4,32
кабинет 405	12	0,75	0,4	3,6		0,9	0,48	1,73	4	6,08
кабинет 406	12	0,75	0,4	3,6		0,9	0,48	1,73	4	6,08
кабинет 408	12	0,06	0,4	0,29	51,15	0,9	0,48	0,14	0,32	0,49
кабинет 409	10	1,6	0,2	3,2		0,9	0,48	1,54	3,56	5,4
кабинет 411	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 412	8	0,75	0,4	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 413	12	0,75	0,4	3,6		0,9	0,48	1,73	4	6,08
кабинет 414	8	2	0,2	3,2		0,9	0,48	1,54	3,56	5,4
кабинет 415	24	0,75	0,4	7,2		0,9	0,48	3,46	8	12,15
кабинет 416	9	1,6	0,2	2,88		0,9	0,48	1,38	3,2	4,86

Продолжение таблицы 2

кабинет 417	12	1	0,2	2,4		0,9	0,48	1,15	2,67	4,05
кабинет 419	4	0,06	0,4	0,1		0,9	0,48	0,05	0,11	0,17
кабинет 423	8	1,8	0,2	2,88		0,9	0,48	1,38	3,2	4,86

Таблица 3 – Расчет нагрузок щитов

Щит	Р _{у.щ} , кВт	Кс.щ	Р _р , кВт	Р _{сум} , кВт	cos φ	tg φ	S _р , кВт	Q _р , кВАр	I _р , А
ЩР1.1	14,434	0,4	5,7736	21,544	0,9	0,48	6,42	5,2	9,75
ЩР1.2	27,426	0,4	10,9704		0,9	0,48	12,19	9,87	18,52
ЩО1	8	0,6	4,8		0,9	0,48	5,33	4,32	8,1
ЩР2.1	25,11	0,4	10,044	21,924	0,9	0,48	11,16	9,04	16,96
ЩР2.2	21,96	0,4	8,784		0,9	0,48	9,76	7,91	14,83
ЩО2	5,16	0,6	3,096		0,9	0,48	3,44	2,79	5,23
ЩР3.1	21,51	0,4	8,604	19,896	0,9	0,48	9,56	7,74	14,52
ЩР3.2	20,31	0,4	8,124		0,9	0,48	9,03	7,31	13,71
ЩО3	5,28	0,6	3,168		0,9	0,48	3,52	2,85	5,35
ЩР4.1	24,09	0,4	9,636	23,868	0,9	0,48	10,71	8,67	16,27
ЩР4.2	27,06	0,4	10,824		0,9	0,48	12,03	9,74	18,27
ЩО4	5,68	0,6	3,408		0,9	0,48	3,79	3,07	5,75

Полученные данные пригодятся для расчета токов короткого замыкания на стороне высокого и низкого напряжения, выбора нового трансформатора, кабельной продукции и панелей ВРУ.

Вывод: произведен полный расчет силовых нагрузок корпуса «А» ТГУ.

4 Расчёт компенсации реактивной мощности и выбор компенсирующих установок

В связи с появлением в корпусе установки микродугового оксидирования (МДО) с нагрузкой $P_p=150$ кВт и расчётным током $I_p=239,2$ А, в результате которой вырабатывается большое количество реактивной мощности, что в свою очередь плохо влияет на качество электроэнергии передаваемой по линиям к электрооборудованию, принято решение о установке компенсирующего устройства, а именно комплектной конденсаторной установке (ККУ).

Принято решение о компенсации реактивной мощности установки микродугового оксидирования (МДО) путём подключения ко второму вводу ВРУ-2.

Расчет мощности компенсирующего устройства на шине ВРУ производится по формуле:

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_p \cdot (tg \varphi - tg \varphi_k), \quad (10)$$

где $Q_{к.р}$ - расчетная мощность КУ, кВАр;

α - коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$ естественным способом, принимается $\alpha = 0,9$;

P_p - расчетная активная мощность установки, кВт;

$tg\varphi, tg\varphi_k$ - коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсацию реактивной мощности производим до получения коэффициента мощности $\cos\varphi_k = 0,95$ ($tg\varphi_k = 0,43$).

По формуле 10 произведем расчет мощности компенсирующего устройства:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 150 \cdot (605,9 - 0,43) = 81,75 \text{ кВАр}$$

По полученным данным, произведен поиск и выбор ККУ, удовлетворяющих условиям. Рассмотрены два основных конкурента - УКРМ-0,4-100-25 УЗ от производства «Элком-энерго» и АКУ-0,4-100-25 УЗ от производителя «Хомов электро».

Выбор сделан в пользу АКУ-0,4-100-25УЗ IP31 мощностью 100 кВАр, обеспечивающая величину коэффициента мощности на уровне $\cos\varphi = 0,95$ от производителя ООО «Хомов электро» [1] в связи с более широким выбором продукции, чем у конкурента и большим количеством реализованных проектов для фирм глобального уровня, таких как «Росэнерго» и «Лукойл-Пермь». Данная компания имеет множество деклараций и сертификатов о соответствии с ГОСТ на свою продукцию. В настоящее время компания разработала и поставила системы компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник различной степени сложности более чем на 150 объектов энергетики и строительства в Москве, Нижневартовске, Сургуте, Когалыме, Уфе, а также в страны ближнего зарубежья: Туркменистан, Беларусь и Казахстан.

Выбор оборудования сделан на основании данных качеств: конденсаторные установки АКУ 0,4 комплектуются из отдельных конденсаторов серии DWCAP (MA/C) производства компании RTR ENERGIA (Испания). В конденсаторах RTR ENERGIA, используемых для сборки АКУ 0,4, применена полипропиленовая самовосстанавливающаяся металлизированная пленка. Возможность автоматического регулирования реактивной мощности конденсаторной установки. Степень защиты – IP31.

ККУ устанавливается в помещении электрощитовой на месте существующего ВРУ после его демонтажа и подключается к новому ВРУ посредством кабельной перемычки.

Вывод: произведен расчет и выбор компенсирующей установки.

5 Выбор ВРУ

Вводно-распределительные устройства ВРУ предназначены для приема, распределения и учета электроэнергии в сетях 380/220 В трехфазного переменного тока частоты 50 Гц, а также для защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях. Вводно-распределительные устройства комплектуются из панелей одностороннего обслуживания и могут быть однопанельными и многопанельными.

Для выбора вводно-распределительного устройства необходимо учесть несколько моментов: линия питания от трансформаторной подстанции до вводно-распределительного устройства должна быть минимальной, ремонтпригодной и удобной в эксплуатации.

Согласно ПУЭ, п.7.1.30 [18], ВРУ должно устанавливаться в специально предназначенных для этих помещений с температурой окружающего воздуха не ниже +5°C.

Для проведения расчёта комплектующих панели необходимо учитывать суммарный расчётный ток электроприемников, значение которого не должно превышать ток самого вводно-распределительного устройства.

В связи с появлением в корпусе установки микродугового окисления (МДО), в результате которой вырабатывается большое количество реактивной мощности, что в свою очередь плохо влияет на качество электроэнергии передаваемой по линиям к электрооборудованию, принято решение участок установки микродугового окисления, совместно с ККУ запитать через отдельное ВРУ. Следовательно, в корпусе подлежит к установке две панели ВРУ: первая панель ВРУ-1 будет питать основные группы: группу освещения, группу учебных аудиторий и кабинетов корпуса и группу лабораторий, а вторая панель ВРУ-2 будет питать систему подогрева водостока, участок установки микродугового окисления и ККУ.

Так, как для рассмотрения вариантов вводно-распределительного устройства применяются ВРУ с плавкой вставкой, для выбора по защитному оборудованию следует использовать данную формулу:

$$I_{н.ВРУ} \geq I_p, \quad (11)$$

где $I_{н.ВРУ}$ - номинальный ток ВРУ, А.

Проанализировав рынок и сравнив отличия ВРУ импортного производства от нашего, принято решение сделать выбор в сторону отечественного производителя электрощитового оборудования «Стандарт-Энерго». Волгоградское предприятие имеет множество сертификатов и дипломов, в числе которых такие как «Legrand», «ИЭК» и «Контактор». Продукция производимая данной компанией проходит многочисленные испытания и разработана в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51732 «Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий» [6], также все панели ВРУ соответствуют ТУ 3434-001-95246270-2006 и ГОСТ Р 51321.1-2007 [5].

К применению выбраны два ВРУ-1-13-20 УХЛ4. ВРУ-1-13-20 представляет собой металлическую конструкцию напольного исполнения. Металлический корпус имеет съемные боковые панели, что позволяет рядом размещать несколько ВРУ без боковых зазоров. Это способствует минимизации длины соединительных проводов и повышению удобства эксплуатации.

ВРУ комплектуется из панелей одностороннего обслуживания. Доступ в ВРУ обеспечивается через одностворчатую дверь. ВРУ могут быть однопанельными, либо многопанельными. На двери установлен замок, который закрывается ключом.

Способ учета электроэнергии выполнен счетчиками "Меркурий 230 ART-03 PQRSIDN", установленными в РУ 0,4 кВ ТП-2, в точке присоединения к шинам 0,4 кВ. Присоединение счётчиков выполнено через

трансформаторы тока с классом точности не ниже 0,5S. Так что установка дополнительных аппаратов учета электроэнергии не целесообразна.

Ввод/вывод кабелей осуществляется снизу. Дополнительные отверстия для выводов внешних проводников должны выполняться в корпусе по месту и диаметрами согласно сечениям подключаемых внешних кабелей и проводов. Вводно-распределительные устройства ВРУ-1-13-20 изготавливаются в соответствии с требованиями ТУ 3430-001-65664886-2017; климатическое исполнение – УХЛ4 по ГОСТ 15150-69.

Основные технические характеристики:

- номинальное рабочее напряжение (U_c): ~380 В. Допустимые колебания от номинального значения +10 %; -15 % (от 0,85 до 1,1);
- номинальное напряжение изоляции (U_i): ~660 В;
- ожидаемый ток короткого замыкания на вводе ВРУ ≤ 10 кА;
- класс защиты от поражения электрическим током по ГОСТ Р МЭК 536-94: I;
- степень защиты по ГОСТ 14254-96 [2]: IP31;
- вид системы заземления: TN-C-S;
- ошиновка изделия выдерживает без повреждений ударный ток короткого замыкания 10 кА.

Характеристики ВРУ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики ВРУ

Номер ВРУ	Кол-во вводов	Наименование ввода	Мощность Р, кВт	Номинальный ток I, А	ВРУ, тип
ВРУ-1	2	подогрев водостока	150	235,2	ВРУ1-13-20 УХЛ4
		МДО			
ВРУ-2	2	учебные аудитории	87,2	139,1	ВРУ1-13-20 УХЛ4
		лаборатории			

Комплектация ВРУ-1:

- к установке выбраны предохранители (FU1...6) плавкие наполненные ППН-37 с номинальным током плавкой вставки 160 А.;
- трансформатор тока (ТА1...6) - Т-0,66 100/5 кл 0,5;
- амперметр (А) - Э42702 100/5 А;
- вводной аппарат (S) - ПЦ-4-400;
- предохранитель (FU) - ППН-37 ;
- авт. выключатель (SF) - ВА47-29 1р С6;
- лампа (HL) – Е27.

Комплектация ВРУ-2:

- к установке выбраны предохранители (FU1...6) плавкие наполненные ППН-37 с номинальным током плавкой вставки 250 А.;
- трансформатор тока (ТА1...6) - Т-0,66 250/5 кл 0;
- амперметр (А) - Э42702 100/5 А;
- вводной аппарат (S) - ПЦ-4-400;
- предохранитель (FU) - ППН-37 ;
- авт. выключатель (SF) - ВА47-29 1р С6;
- лампа (HL) – Е27.

5.1 Выбор кабельной продукции 0,4 кВ

Кабельная продукция в общественных помещениях должна иметь два основных момента – это не поддерживать горение и иметь малое дымообразование и не выделять химически опасных веществ.

К применению выбраны кабели ВВГнг(А)-LS от производителя ООО «Дмитров-Кабель» [13]. На заводе «Дмитров-Кабель» постоянно внедряются новейшие технологии, активно повышается конкурентоспособность продукции за счет улучшения качества и снижения себестоимости. На предприятии установлено самое современное оборудование ведущих производителей мира, таких как: «Lesmo» (Италия), «Rosendahl» (Австрия), контрольно-измерительное оборудование ведущих

производителей Sikora, Zumbach (Швейцария) и т.д. ООО «Дмитров-Кабель» имеет огромное количество сертификатов, уже применяется по всей России, легкодоступен и высоко держит планку качества в течении всего времени.

Маркировка ВВГнг(А)-LS имеет следующее значение:

- В – изоляция из ПВХ пластиката;
- В – оболочка из поливинилхлоридного пластиката;
- Г – отсутствие защитного покрова;
- нг – не распространяет горение при групповой прокладке;
- (А) – класс пожарной безопасности категория А;
- LS – с пониженным дымо- и газовыделением (low smoke).

5.2 Способ прокладки кабельной линии

От секций шин ВРУ в помещении электрощитовой кабели выходят по металлическим лоткам и лестницам. Далее из помещения электрощитовой по первому этажу, на металлических лотках, кабели распределяются до ввода в стояки. Стояки для прокладки новых кабельных линий выбираются напротив уже существующих для того, чтобы можно было заменить систему электроснабжения на этажах постепенно.

Для распределения электроэнергии от панелей ВРУ до потребителей принято решение использовать распределительные щиты. Для установки в роли щита освещения и щита распределительного выбраны одинаковые щиты на 24 модуля в металлическом корпусе с замком от компании ИЕК [17]. Корпус изображен на рисунке 9.

ИЕК GROUP — один из ведущих российских поставщиков и производителей светотехнического и электротехнического оборудования под брендом ИЕК®, оборудования промышленной автоматизации ONI® и продукции для IT технологий ИТК®. Обладая современной научно-производственной базой, компания в первую очередь инвестирует в развитие производства на территории России и стремится максимально реализовать

собственный производственный потенциал, способствуя развитию электротехнической отрасли в целом.

Корпус выбран ЩРН-243-0 У2 IP54. Данный корпус имеет достаточно высокий уровень защиты, закрывающаяся металлическая крышка позволит оградить доступ только для квалифицированного персонала и преобладает сравнительно невысокой стоимостью по отношению с другими фирмами.



Рисунок 9 – Корпус металлический распределительный ЩРН-243-0 У2

Корпус выбран ЩРН-243-0 У2 IP54. Данный корпус имеет достаточно высокий уровень защиты, закрывающаяся металлическая крышка позволит оградить доступ только для квалифицированного персонала и преобладает сравнительно невысокой стоимостью по отношению с другими фирмами.

Вывод: произведен выбор панелей ВРУ, а также кабельной продукции и способ её прокладки от ВРУ до распределительных щитов.

6 Расчет мощности трансформаторов и их выбор

В связи с увлечением мощностей лабораторного оборудования корпуса, возрастанием нагрузки на систему электропитания корпуса, увеличением нагрузки на трансформаторную подстанцию ТП-2 в связи с частичным подключением нагрузки от нового бассейна на территории ТГУ, а так же из-за морально и физически устаревшей аппаратуры, резерв мощности которой давно исчерпал себя, принято решение о замене устаревшей трансформаторной подстанции на новую блочную комплектную трансформаторную подстанцию с новым, более мощным трансформатором.

На территории расположения старой ТП будут установлены два трансформатора, так как данная ТП питает потребителей I и II категории электроприемников по надежности электроснабжения.

Существует две разновидности питания общественного здания от двух трансформаторов. В первом случае в нормальном режиме работы, нагрузки распределены равномерно по обоим трансформаторам, а вся нагрузка переходит на один исправный трансформатор в случае перехода основного трансформатора в аварийный режим. Во втором случае в нормальном режиме работы питание корпуса осуществляется с одного трансформатора, а второй трансформатор является резервным при возникновении аварийного режима. В любом из этих случаев кабели запитаны от двух трансформаторов.

В данном случае выбран первый способ питания корпуса, где в нормальном режиме работы нагрузки распределены равномерно по обоим трансформаторам. На основании ПУЭ [18], перегрузка одного трансформатора не должна превышать значения – 140 % в режиме перегрузки. В связи с этим коэффициент загрузки для двух трансформаторной подстанции не должен превышать значения $K_3=0,7$.

При проектировании трансформаторной подстанции предусматривают резерв по мощности, так как может увеличиваться нагрузка за счет установки нового, более мощного оборудования или постройки новых корпусов или

зданий. По мимо установки нового лабораторного оборудования в «А» корпусе ТГУ, планируется постройка нового бассейнового комплекса, питание которого частично ложится на ТП-2.

Исходя из всего вышеперечисленного предусматривается резерв по мощности в объеме 50 % от полной мощности на шинах ТП:

$$S_{\text{зап.}} = S_p \cdot 1,5, \quad (12)$$
$$S_{\text{зап.}} = 780 \cdot 1,5 = 1170 \text{ кВА.}$$

Определяется расчетная мощность трансформатора:

$$S_{\text{р.тр}} = \frac{S_{\text{зап.}}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (13)$$

где K_3 - коэффициент загрузки равный 0,7 при использовании двух трансформаторов,

N_T - число трансформаторов.

$$S_{\text{р.тр}} = \frac{1170}{0,7 \cdot 2} = 835,71 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученного значения $S_{\text{р.тр}}$ по шкале мощностей силовых трансформаторов выбирается трансформатор мощностью 1000 кВА.

Фактический коэффициент загрузки для силового трансформатора мощностью 1000 кВА:

$$K_{\text{з.тр}} = \frac{S_{\text{зап.}}}{N_T \cdot S_{\text{ном.тр}}}, \quad (14)$$

где $S_{\text{ном.тр}}$ - номинальная мощность трансформатора,

N_T - число трансформаторов.

$$K_{\text{з.тр}} = \frac{1170}{2 \cdot 1000} = 0,58$$

Так как $K_{з.тр} \leq 0,7$, то выбранный трансформатор удовлетворяет данным условиям.

Таким образом, для установки на двух трансформаторной подстанции ТП-2 выбран трансформатор типа ТМГ – 1000/6/0,4 [23] в количестве двух штук. Силовой трансформатор изображен на рисунке 9. Паспортные данные трансформатора приведены в таблице 5.



Рисунок 10 – Внешний вид силового трансформатора типа
ТМГ – 1000/6/0,4 кВА

Таблица 5 – Паспортные данные и параметры выбранных трансформаторов

Тип	$S_{\text{ном}}$, кВА	$U_{\text{ном}}$, кВ		Потери, кВ		$U_{\text{кз}}$, %	$I_{\text{хх}}$, %	Сопротивление, мОм		
		ВН	ВН	$\Delta P_{\text{хх}}$	$\Delta P_{\text{кз}}$			R_{T}	X_{T}	Z_{T}
ТМГ – 1000/6/0,4	1000	6	0,4	1,9	12,2	5,5	1,7	1,7	8,6	8,8

Проанализировав выбор поставщиков силового электрооборудования, выбран наиболее хороший и близкий по расположению поставщик. Исходя из габаритов и цены на доставку силового трансформатора принято решение искать максимально близкого к объекту поставщика. К приобретению выбран трансформатор ТМГ – 1000/6/0,4, производства одного из крупнейших разработчиков и производителей электротехнического оборудования в России и странах СНГ – ООО «Тольяттинский Трансформатор» [15].

Вывод: произведен расчет и выбор трансформатора для новой трансформаторной подстанции.

7 Выбор типа трансформаторной подстанции

В связи с морально и физически устаревшим оборудованием трансформаторной подстанции ТП-2, расширением корпуса ТП-2 для трансформатора, а также в связи с заменой трансформатора на новый, принято решение заменить всю трансформаторную подстанцию на новую блочную комплектную трансформаторную подстанцию.

Комплектные трансформаторные подстанции получили широкое применение в наше время. Все элементы БКТП производят на одном предприятии и в виде отдельных ячеек, что упрощает транспортировку и монтаж самого электрооборудования уже на территории и подключение его к питающим сетям.

Блочные комплектные трансформаторные подстанции включают в себя четыре основных элемента:

- корпус трансформаторной подстанции;
- устройство ввода высокого напряжения;
- трансформатор;
- распределительное устройство низкого напряжения.

Произведем анализ рынка и поиск поставщиков БКТП, удовлетворяющих условиям:

- корпус БКТП выполнен из бетона;
- мощность трансформатора соответствует заранее рассчитанному и составляет 1000 кВА;
- климатическое исполнение БКТП типа У1 или УХЛ1.

По данным условиям выбраны два наиболее подходящих производителя - «Нева-Электротех» и «Энергомонтаж».

Обе компании довольно хорошо зарекомендовали себя на рынке по изготовлению силового электрооборудования. Все оборудование проходит детальные испытания и наладку в строгих заводских условиях. Имеются множества сертификатов качества и гарантий на производство и поставку.

Продукция обеих компаний отвечает всем современным нормам и качествам безопасности.

Произведя более тщательный анализ, принято решение выбрать оборудование у завода «Энергомонтаж» [10]. Такое решение было принято в связи с тем, что хоть и компания «Энергомонтаж» – довольно молодая компания, относительно других компаний, она имеет достаточно приличную скорость роста. За 13 лет компанией «Энергомонтаж» было выполнено более 9400 заказов, из которых более 45 государственных компаний стали их постоянными покупателями.

Также одним из основных факторов выбора данной компании является её расположение. Завод «Энергомонтаж» является Самарским заводом и стоимость доставки КТП существенно ниже других поставщиков, что играет значительную роль при выборе БКТП.

Параметры оборудования, произведенного на данном заводе полностью соответствуют заявленным требованиям. По климатическому исполнению БКТП по ГОСТ 15150 [3] может быть выполнена как типа У1, так и УХЛ1, что выше, чем у конкурента. Гарантия на оборудование 3 года. Степень защиты сооружения по ГОСТ 14254 [2] – IP23.

На основании всего выше изложенного, принято решение установить территории ТГУ комплектную трансформаторную подстанцию блочного исполнения 2 БКТП 1000 кВА, производства «Энергомонтаж». 2БКТП состоит из двух железобетонных блоков с приямками. Устройство со стороны высокого напряжения реализовано на камерах КСО-393М шириной 500 мм. Устройство со стороны напряжения 0,4 кВ реализовано на панелях ЩО-70. Предусмотрено устройство АВР 0,4 кВ. В 2БКТП может быть выполнено до 36 отходящих линий на токи до 250 А. Внешнее исполнение 2БКТП изображено на рисунке 10.

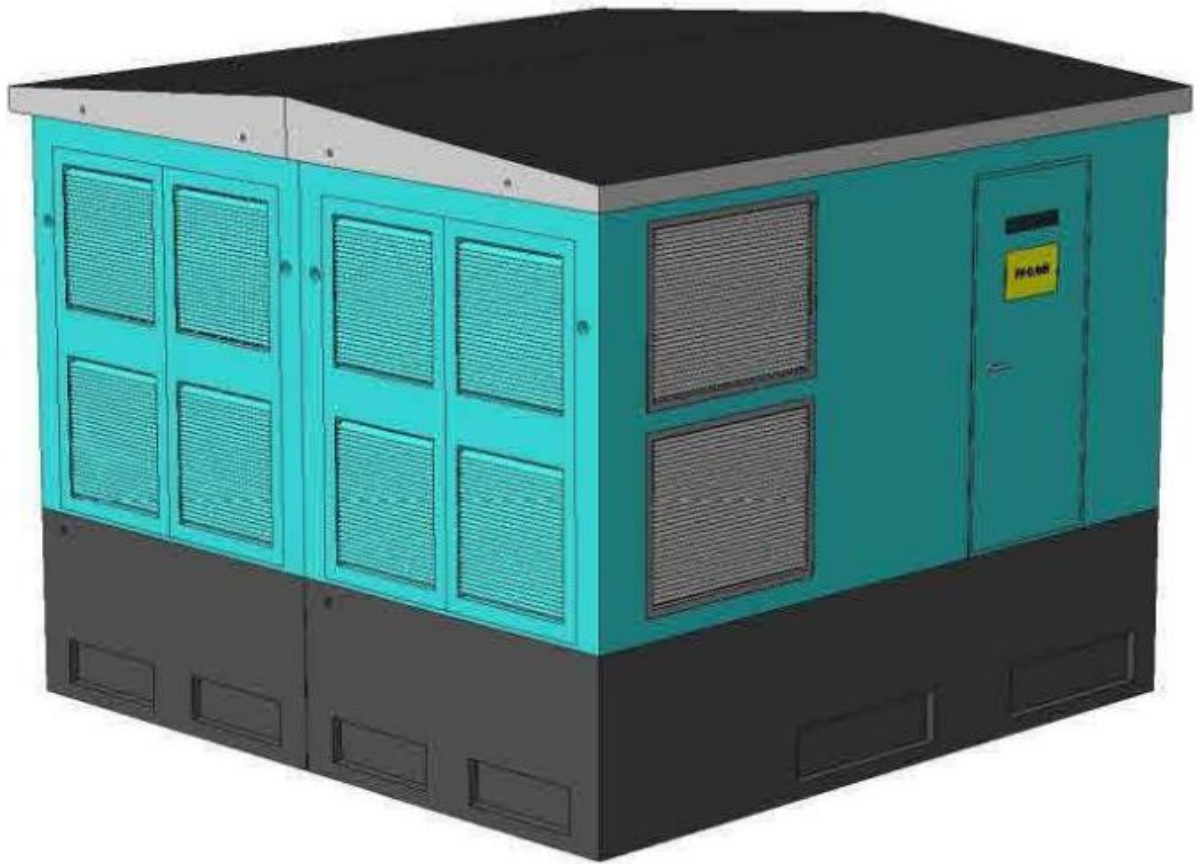


Рисунок 11 – Внешний вид 2БКТП

В качестве распределительного устройства высокого напряжения применяются камеры сборные одностороннего обслуживания КСО — 393М, предназначенные для комплектования распределительных устройств напряжением 6 или 10 кВ трехфазного переменного тока частотой 50 Гц сетей с изолированной или заземленной через дугогасительный реактор нейтралью.

Параметры оборудования приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Параметры КСО – 393М

$U_{\text{ном}}$, кВ	$U_{\text{наиб.раб}}$, кВ	$I_{\text{н.гл.цеи}}$, А	$I_{\text{н.шин}}$, А	$I_{\text{н.откл}}$, кА	$i_{\text{дин}}$, кА	$I_{\text{г}}$, кА	$t_{\text{г}}$, с
6	630	630	630	20	51	20	3

В качестве распределительного устройства низкого напряжения выбраны распределительные щиты типа ЩО-70. На панелях установлены трехполюсные разъединители, трехполюсные автоматические выключатели, измерительные приборы, подключенные через трансформаторы тока, а также устройство АВР, которое входит в состав РУ-НН. Типы выключателей – автоматические, с моторным приводом. Параметры оборудования сведены аналогично в таблицу 7.

Таблица 7 – Параметры ЩО-70

$U_{\text{ном}}$, кВ	Род тока	f , Гц	$I_{\text{ном.ввод}}$, А	$I_{\text{ном.вых}}$, А	$i_{\text{дин}}$, кА	I_{T} , кА	t_{T} , с
0,4	переменный	50	400-2500	100-1000	51	20	3

Установка БКТП проводится по следующему плану:

- подготовка котлована и фундаментной плиты, причем конструкция, толщина фундамента и марка бетона определяются проектом, в зависимости от типа грунта. Поверхность плиты шлифуется, выполняется внешний контур заземления подстанции;
- установка кабельных сооружений, установка маслосборников;
- установка бетонного основания – эта операция производится без силового трансформатора;
- установка оболочки БКТП, крепление с элементами кабельных сооружений, установка лестниц к дверям и рабочим люкам;
- установка маслоприемников для засыпки гравием в проемы пола трансформаторных отсеков;
- сборка переходных узлов между блоками БКТП, монтаж соединений контура заземления соединительными стальными полосами, подключение блоков БКТП к внешнему контуру заземления;
- установка силовых трансформаторов, их фиксация и заземление;
- монтаж освещения в БКТП;

– соединение вторичных цепей, внутренних силовых кабельных линий.

Ввод и подключение внешней кабельной сети, при этом проход внешнего силового кабеля сквозь наружное перекрытие бетонной оболочки заделывается цементным составом и гидроизолируется.

7.1 Выбор сечения кабельной линии 0,4 кВ от 2БКТП до ВРУ

Для обеспечения питания «А» корпуса ТГУ необходимо выбрать силовые кабели. От проектируемой блочной комплектной трансформаторной подстанции до панелей ВРУ для прокладки в земле в трубе выбраны кабеля АВБШвнг(А) на напряжение 1 кВ, четырехжильные, с сечением жил в 95 и 120 мм² в количестве 4-х штук (2 по 95 мм² и 2 по 150 мм², по одному на каждый ввод ВРУ). Выбранный кабель расшифровывается, как:

- А – алюминиевая жила;
- В – изоляция из ПВХ пластиката;
- Б – Броня из двух стальных оцинкованных лент;
- Шв – защитный шланг из ПВХ пластиката;
- нг – пониженная пожарная опасность;
- (А) – класс пожарной опасности.

Питающие линии принято проложить под землей, на глубине не менее 700 мм от планировочной отметки земли согласно ПУЭ. Прокладка кабелей осуществить в трубах двустенных ДКС 110 мм [16]. Расстояние между взаиморезервируемыми кабелями принято не менее 1,0 м согласно требований технического циркуляра №16-2007 от 13.09.2007 "О прокладке взаиморезервирующих кабелей в траншеях" [25].

7.2 Выбор производителя кабельной продукции

Произведя анализ рынка было выбрано несколько компаний по производству кабельной продукции, из которых, была выбрана только одна

компания – АО «Самарская кабельная компания» [12] (АО СКК) – продолжающая традиции знаменитого Куйбышевского завода кабелей связи и уже перешагнула свой полувековой рубеж.

Следуя тенденциям бурно развивающегося рынка, цеха пополнились технологическим оборудованием ведущих европейских фирм, таких как «Rosendahl», «Camp», «Caballe», «Niehoff» и др.. Постоянный контроль качества на всех этапах производства, начиная от закупки материалов и заканчивая жесткими критериями при испытаниях конечного продукта, сводит возможность поставки в адрес потребителя несоответствующей продукции практически к нулю.

Для проведения испытаний производимой кабельной продукции и используемых материалов на АО СКК создан испытательный центр, аккредитованный в системе сертификации ГОСТ Р.

Вывод: произведен выбор типа новой трансформаторной подстанции, а также расчет и выбор кабельной продукции для прокладки от новой ТП до панелей ВРУ.

8 Расчёт токов короткого замыкания на стороне ВН и НН

Для правильного выбора аппаратов защиты, кабельной продукции и заземляющих устройств, а также для предотвращения и избежание различных аварийных ситуаций, и поломок автоматики и оборудования на участке ТП и в корпусе университета - необходимо выполнить расчёт токов коротких замыканий.

Для проведения расчета необходимо по однолинейной схеме составить принципиальную схему, которая включает в себя: энергосистему, воздушную линию 6 кВ, силовой трансформатор, находящийся в трансформаторной подстанции, кабельную линию 0,4 кВ и шину ВРУ. Выбирается точка короткого замыкания (КЗ) на шине ВРУ.

На рисунке 12 представлена принципиальная схема ТП-2.

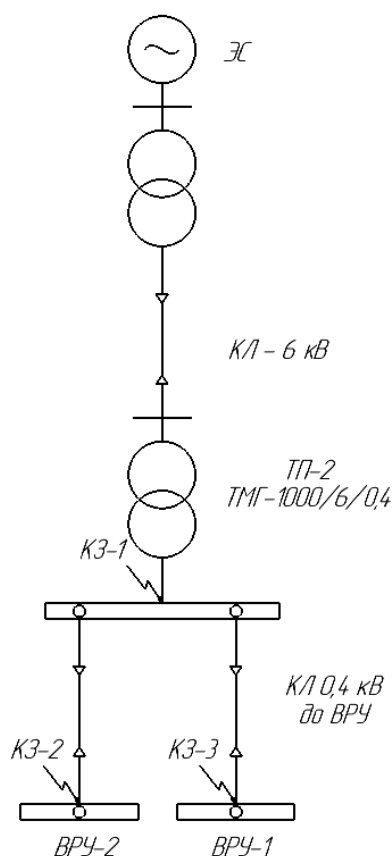


Рисунок 12 – Принципиальная схема для расчёта токов КЗ

По принципиальной схеме составляется схема замещения. Схема замещения для ТП-2 представлена на рисунке 13.

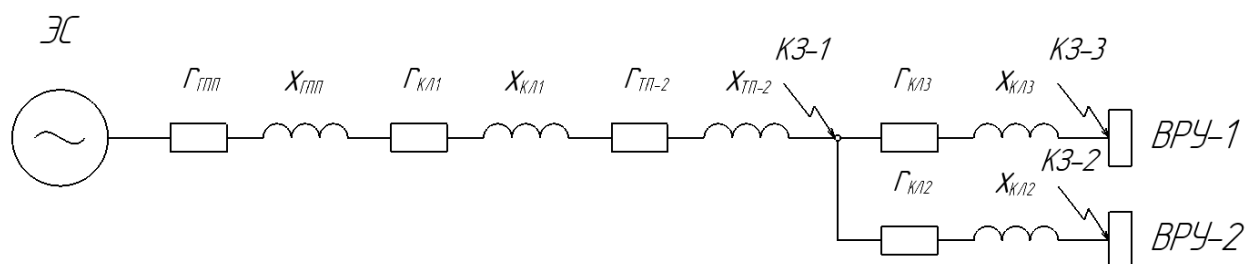


Рисунок 13 – Схема замещения ТП-2

Исходные данные для полноценного расчёта сведены в таблицы 8 и 9.

Таблица 8 – Исходные данные для расчёта токов КЗ на стороне ВН

Линия 6 кВ				Трансформатор ГПП			
$S_{б}, \text{МВА}$	$L_{кл1}, \text{м}$	$r_{0кл1}, \text{Ом/км}$	$x_{0кл1}, \text{Ом/км}$	$S_{н}, \text{МВА}$	$U_{кз}, \%$	$\Delta P_{хх}, \text{МВ}$	$\Delta P_{кз}, \text{МВ}$
100	2560	0,13	0,071	10	7,5	0,011	0,065

Таблица 9 – Исходные данные для расчёта токов КЗ на стороне НН

Линия 0,4 кВ							Трансформатор ТП-2					
$L_{кл2}, \text{м}$	$L_{кл3}, \text{м}$	$U_{б}, \text{кВ}$	$r_{0кл2}, \text{Ом/км}$	$r_{0кл3}, \text{Ом/км}$	$x_{0кл2}, \text{Ом/км}$	$x_{0кл3}, \text{Ом/км}$	$S_{н}, \text{кВА}$	$R_{т}, \text{МОм}$	$X_{т}, \text{МОм}$	$Z_{т}, \text{МОм}$	$U_{кз}, \%$	$\Delta P_{кз}, \text{кВ}$
129	132	0,4	0,06	0,06	0,21	0,34	1000	1,7	8,6	8,8	5,5	12,2

Расчет токов короткого замыкания ведется в именованных единицах.

Произведем расчет сопротивления системы:

$$X_C = \frac{U_6^2}{S_6} = 0,016 \text{ Ом.} \quad (15)$$

Сопротивления силового трансформатора ГПП:

$$r_{\text{ГПП}} = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{U_6^2}{S_{\text{н}}^2}, \quad (16)$$

$$Z_{\text{ГПП}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_6^2}{100 \cdot S_{\text{н}}}, \quad (17)$$

$$x_{\text{ГПП}} = \sqrt{Z_{\text{ГПП}}^2 - r_{\text{ГПП}}^2}, \quad (18)$$

где $U_{\text{кз}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора;

U_6 – базисное напряжение;

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение линии;

$S_{\text{н}}$ – номинальная мощность трансформатора;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – потери в трансформаторе при коротком замыкании.

Для расчета активного и индуктивного сопротивления кабельной линии 6 кВ используем формулы:

$$r_{\text{КЛ1}} = r_0 \cdot l \cdot \frac{U_6^2}{U_{\text{н}}^2}, \quad (19)$$

$$x_{\text{КЛ1}} = x_0 \cdot l \cdot \frac{U_6^2}{U_{\text{н}}^2}, \quad (20)$$

где r_0 – удельное активное сопротивление проводника;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление проводника;

l – длина линии.

Для расчета полного, активного и реактивного сопротивлений трансформатора, используются формулы:

$$Z_{\text{ТП}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_6^2}{100 \cdot S_{\text{н}}}, \quad (21)$$

$$r_{\text{ТП}} = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{U_6^2}{S_{\text{н}}^2}, \quad (22)$$

$$x_{\text{ТП}} = \sqrt{Z_{\text{ТП}}^2 - r_{\text{ТП}}^2}. \quad (23)$$

Для расчета активного и индуктивного сопротивлений кабельных линий, в схеме замещения понадобятся формулы:

$$r_K = r_0 \cdot l, \quad (24)$$

$$x_K = x_0 \cdot l. \quad (25)$$

Результаты расчетов сводятся в таблицу 10.

Таблица 10 - Результаты расчетов сопротивлений

Объект	r , мОм	x , мОм
ГПП	0,10	1,19
кабельная линия 1	0,81	1,48
трансформаторная подстанция	1,95	8,58
кабельная линия 2	7,74	27,09
кабельная линия 3	7,92	44,88

По полученным данным составляем упрощенную схему замещения, а также рассчитываем суммарные сопротивления. Упрощенная схема замещения представлена на рисунке 14.

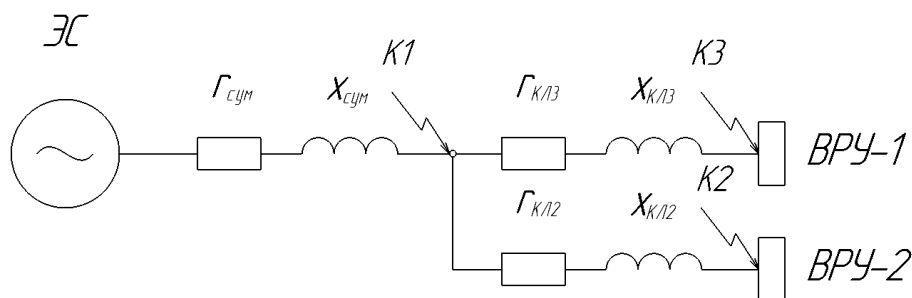


Рисунок 14 – Упрощенная схема замещения

Далее, для удобства дальнейших расчётов, рассчитаем суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К1.

$$r_{сум} = r_{ГПТ} + r_{КЛ1} + r_{ТП-2} = (0,1 + 0,81 + 1,95) = 2,86 \text{ мОм},$$

$$x_{сум} = x_{С} + x_{ГПТ} + x_{КЛ1} + x_{ТП-2} = (1,6 + 1,19 + 1,48 + 8,58) = 12,85 \text{ мОм}.$$

Суммарное активное сопротивление до точки К1 составило 2,86 мОм, а индуктивное 12,85 мОм.

8.1 Расчёт трехфазного КЗ в точке К1

По ранее произведенным расчётам получили значения активного и индуктивного сопротивления до точки К1. Произведем поиск полного суммарного сопротивления до точки К1 по формуле:

$$Z_{кЗ} = \sqrt{x_{сум}^2 + r_{сум}^2}, \tag{26}$$

$$Z_{кЗ} = \sqrt{12,85^2 + 2,86^2} = 13,16 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_K = \frac{U_6}{(\sqrt{3} \cdot Z_{K3})}, \quad (27)$$

$$I_K = \frac{0,4}{(\sqrt{3} \cdot 0,01316)} = 17,55 \text{ кА.}$$

Для нахождения ударного тока короткого замыкания используем следующую формулу:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{уд}, \quad (28)$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент.

Для определения ударного коэффициента необходимо найти соотношение постоянной времени T_a , определяемой по формуле:

$$T_a = \frac{x_{сум}}{r_{сум}}, \quad (29)$$

$$T_a = \frac{12,85}{2,86} = 4,49.$$

Следовательно, ударный коэффициент $K_{уд} = 1,47$.

Рассчитаем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 17,55 \cdot 1,47 = 36,48 \text{ кА.}$$

Таким образом ударный ток в точке К1 составил 36,48 кА.

8.2 Расчёт трехфазного КЗ в точке К2

Рассчитаем суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К2.

$$r_{сум} = r_{сум} + r_{KL2} = (2,86 + 7,74) = 10,6 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{сум}} = x_{\text{сум}} + x_{K/I2} = (12,85 + 27,09) = 39,94 \text{ мОм}$$

Произведем поиск полного сопротивления до точки К2 по формуле:

$$Z_{K3} = \sqrt{x_{\text{сум}}^2 + r_{\text{сум}}^2}, \quad (26)$$

$$Z_{K3} = \sqrt{39,94^2 + 10,6^2} = 41,32 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_K = \frac{U_6}{(\sqrt{3} \cdot Z_{K3})}, \quad (27)$$

$$I_K = \frac{0,4}{(\sqrt{3} \cdot 0,04132)} = 5,59 \text{ кА.}$$

Находим соотношение постоянной времени T_a , определяемой по формуле:

$$T_a = \frac{x_{\text{сум}}}{r_{\text{сум}}}, \quad (29)$$

$$T_a = \frac{39,94}{10,6} = 3,77.$$

Следовательно, ударный коэффициент $K_{уд} = 1,4$

Рассчитаем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{уд}, \quad (28)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,59 \cdot 1,4 = 11,07 \text{ кА.}$$

Таким образом ударный ток в точке К2 составил 11,07 кА.

8.3 Расчёт трехфазного КЗ в точке К3

Рассчитаем суммарное активное и индуктивное сопротивление до точки К2.

$$r_{\text{сум}} = r_{\text{сум}} + r_{\text{КЛЗ}} = (2,86 + 7,92) = 10,78 \text{ мОм}$$

$$x_{\text{сум}} = x_{\text{сум}} + x_{\text{КЛЗ}} = (12,85 + 44,88) = 57,73 \text{ мОм}$$

Произведем поиск полного сопротивления до точки К2 по формуле:

$$Z_{\text{КЗ}} = \sqrt{x_{\text{сум}}^2 + r_{\text{сум}}^2}, \quad (26)$$

$$Z_{\text{КЗ}} = \sqrt{x_{\text{сум}}^2 + r_{\text{сум}}^2} = \sqrt{57,73^2 + 10,78^2} = 58,73 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного короткого замыкания рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{К}} = \frac{U_{\text{б}}}{(\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ}})}, \quad (27)$$

$$I_{\text{К}} = \frac{0,4}{(\sqrt{3} \cdot 0,05873)} = 3,93 \text{ кА.}$$

Находим соотношение постоянной времени T_a , определяемой по формуле:

$$T_a = \frac{x_{\text{сум}}}{r_{\text{сум}}}, \quad (29)$$

$$T_a = \frac{57,73}{10,78} = 5,35.$$

Следовательно, ударный коэффициент $K_{\text{уд}} = 1,53$.

Рассчитаем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot K_{уд}, \quad (28)$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,93 \cdot 1,53 = 8,5 \text{ кА.}$$

Результаты расчетов токов короткого замыкания сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Результаты расчетов токов короткого замыкания

Точка КЗ	R_K , мОм	X_K , мОм	Z_K , мОм	I_K , кА	$K_{уд}$	$i_{уд}$, кА
К1	2,86	12,85	13,16	17,55	1,47	36,48
К2	10,6	9,94	41,32	5,59	1,4	11,07
К3	10,78	57,73	58,7	3,93	1,53	8,5

Благодаря полученным данным о расчёте тока короткого замыкания на стороне высокого и низкого напряжения сможем произвести проверку кабельных линий.

Вывод: произведен расчет токов трехфазных коротких замыканий в трех точках на стороне высокого и низкого напряжения. Полученные данные пригодятся для правильного выбора аппаратов защиты, кабельной продукции и заземляющих устройств.

9 Проверка кабельных линий

9.1 Проверка КЛ от 2БКТП до ВРУ

На основании полученных данных в ходе расчёта, производится проверка кабельных линий, проложенных от трансформаторной подстанции до панелей ВРУ корпуса «А» ТГУ.

Кабель АВБШвнг(А)-1-4х95 обладает следующими характеристиками: $r_0=0,34$ Ом/км; $x_0=0,06$ Ом/км; $I_{д.д.}=175$ А; $Q_{д.д.}=70^\circ\text{C}$; $Q_{кз.кз.}=250^\circ\text{C}$.

Далее кабельную линию необходимо проверить на нагрев по длительно допустимому току, потери напряжения, термической стойкости и не возгоранию. Выбранная кабельная линия должна соответствовать следующим условиям:

$$I_p \leq I_{д.д.}$$

$$\Delta U\% \leq 5\%$$

$$I_k < I_{терм}$$

$$Q_{кз} < Q$$

Значение максимального рабочего рассчитано ранее и равно $I_p = 139,1$ А.

$$139,1 \text{ А} \leq 175 \text{ А}$$

Условие выполняется.

Выполним расчет потерь напряжения в кабельной линии по формуле:

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_p \cdot (r_0 + \operatorname{tg}\varphi \cdot x_0) \cdot l}{n_{\text{каб}} \cdot U_{\text{ном}}^2} \right) \cdot 100, \quad (30)$$

$$\Delta U\% = \left(\frac{87200 \cdot (0,34 + 0,48 \cdot 0,06) \cdot 0,132}{2 \cdot 380^2} \right) \cdot 100 = 1,47\%,$$

$$\Delta U\% = 1,47 \leq 5\%,$$

где P_p – расчетная активная мощность, кВт;

l_l – длина линии, км;

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$n_{\text{пар}}$ – число параллельных кабелей в линии.

Условие выполняется.

Произведем проверку кабельной линии на термическую стойкость, которая производится на основании ГОСТ Р 52736-2007 «Методы расчёта электродинамического и термического действия тока короткого замыкания» [7]. Принимаются значения постоянной времени цепи КЗ и полное время отключение выключателя. Допустимый ток по термической стойкости для кабельной линии определяется формулой:

$$I_{\text{терм}} = \frac{S \cdot C_T}{\sqrt{(t_{\text{откл}} + T_a)}}, \quad (31)$$

$$I_{\text{терм}} = \frac{95 \cdot 90}{\sqrt{0,16 + 0,02}} = 20152,5 \text{ A} = 20,1 \text{ кА.}$$

$$3,93 \text{ кА} < 20,1 \text{ кА,}$$

где S – сечение кабеля, мм²;

C_T – коэффициент равный 90 Ас/мм² при напряжении 0,4 кВ (Согласно ГОСТ 52736-2007);

$t_{\text{откл}}$ – полное время отключение выключателя, с;

T_a – значение постоянной времени цепи КЗ для системы, с.

Условие выполняется.

Произведем проверку кабельной линии на не возгорание. Расчёт выполняется, опираясь на нормативную документацию – «Расчёт кабелей на не возгорание; Циркуляр № Ц-02-98 (Э)» [26]. Для расчёта данного пункта,

необходимо значение первоначальной температуры жилы до и после короткого замыкания. Значение температуры кабельной жилы до КЗ, рассчитывается согласно формуле:

$$Q_H = Q_0 + (Q_{дд} - Q_{окр}) \cdot \left(\frac{I_H}{I_{д,д} \cdot K_n} \right)^2, \quad (32)$$

$$Q_H = 20 + 70 - 15 \cdot \left(\frac{139,1}{175 \cdot 0,9} \right)^2 = 76,75^\circ\text{C},$$

где Q_0 – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, 20°C ;

$Q_{дд}$ – расчётное значение длительно-допустимой температуры жилы, 70°C ;

$Q_{окр}$ – значение расчётной температуры окружающей среды, 15°C ;

I_H – расчетный ток линии в нормальном режиме;

$I_{д,д}$ – длительно допустимый ток кабельной линии;

K_n – коэффициент учета условий охлаждения при параллельной прокладке кабелей.

Значение температуры кабельной жилы после КЗ, рассчитывается по формуле х:

$$Q_K = Q_H \cdot e^K + a \cdot (e^K - 1), \quad (33)$$

$$Q_K = 76,75 \cdot e^{0,034} + 228 \cdot (e^{0,034} - 1) = 87,29^\circ\text{C},$$

$$87,29^\circ\text{C} < 350^\circ\text{C}$$

где a – величина обратная коэффициенту электрического сопротивления при 0°C , равная 228;

K – коэффициент, определяемый по формуле (34);

b – постоянная характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная 45,65 для алюминиевых жил.

Найдем коэффициент К по формуле:

$$K = \frac{b \cdot B_k}{S^2}, \quad (34)$$
$$K = \frac{6,68 \cdot 45,65}{95^2} = 0,034$$

В связи с произведенными расчетами кабель АВШвнг(А)-1-4х95 полностью удовлетворяет всем условиям проверки.

Произведем проверку кабеля АВШвнг(А)-1-4х150 обладает следующими характеристиками: $r_0=0,27$ Ом/км; $x_0=0,06$ Ом/км; $I_{д.д.}=260$ А; $Q_{дд}=70^\circ\text{C}$; $Q_{кз}=350^\circ\text{C}$.

Выбранная кабельная линия должна соответствовать следующим условиям:

$$I_p \leq I_{д.д.}$$
$$\Delta U\% \leq 5\%$$
$$I_k < I_{терм}$$
$$Q_{кз} < Q$$

Значение максимального рабочего рассчитано ранее и равно $I_p = 235,2$ А.

$$235,2 \text{ А} \leq 260 \text{ А}$$

Условие выполняется.

Выполним расчет потерь напряжения в кабельной линии по формуле:

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_p \cdot (r_o + \text{tg}\varphi \cdot x_o) \cdot l}{n_{каб} \cdot U_{НОМ}^2} \right) \cdot 100, \quad (30)$$

$$\Delta U\% = \left(\frac{150000 \cdot (0,21 + 0,48 \cdot 0,06) \cdot 0,129}{2 \cdot 380^2} \right) \cdot 100 = 1,59\%,$$

$$\Delta U\% = 1,59 \leq 5\%,$$

где P_p – расчетная активная мощность, кВт;

l_l – длина линии, км;

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$n_{\text{пар}}$ – число параллельных кабелей в линии.

Условие выполняется.

Произведем проверку кабельной линии на термическую стойкость. Допустимый ток по термической стойкости для кабельной линии определяется формулой:

$$I_{\text{терм}} = \frac{S \cdot C_T}{\sqrt{(t_{\text{откл}} + T_a)}}, \quad (31)$$

$$I_{\text{терм}} = \frac{150 \cdot 90}{\sqrt{0,16 + 0,02}} = 31819,8 \text{ А} = 31,8 \text{ кА},$$

$$5,59 \text{ кА} < 3,8 \text{ кА},$$

где S – сечение кабеля, мм²;

C_T – коэффициент равный 90 Ас/мм² при напряжении 0,4 кВ (Согласно ГОСТ 52736-2007);

$t_{\text{откл}}$ – полное время отключение выключателя, с;

T_a – значение постоянной времени цепи КЗ для системы, с.

Условие выполняется.

Произведем проверку кабельной линии на не возгорание. Значение температуры кабельной жилы до КЗ, рассчитывается согласно формуле:

$$Q_H = Q_0 + (Q_{\text{дд}} - Q_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_H}{I_{\text{д,д}} \cdot K_n} \right)^2, \quad (32)$$

$$Q_n = 20 + 70 - 15 \cdot \left(\frac{235,2}{260 \cdot 0,9} \right) = 74,92^\circ\text{C},$$

где Q_0 – фактическая температура окружающей среды во время КЗ, 20°C ;

$Q_{\text{дд}}$ – расчётное значение длительно-допустимой температуры жилы, 70°C ;

$Q_{\text{окр}}$ – значение расчётной температуры окружающей среды, 15°C ;

I_n – расчётный ток линии в нормальном режиме;

$I_{\text{д.д}}$ – длительно допустимый ток кабельной линии;

K_n – коэффициент учета условий охлаждения при параллельной прокладке кабелей.

Значение температуры кабельной жилы после КЗ, рассчитывается по формуле х:

$$Q_k = Q_n \cdot e^k + a \cdot (e^k - 1), \quad (33)$$

$$Q_k = 74,92 \cdot e^{0,034} + 228 \cdot (e^{0,034} - 1) = 85,39^\circ\text{C},$$

$$85,39^\circ\text{C} < 350^\circ\text{C},$$

где a – величина обратная коэффициенту электрического сопротивления при 0°C , равная 228;

K – коэффициент, определяемый по формуле (34);

b – постоянная характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, равная 45,65 для алюминиевых жил.

В связи с произведенными расчетами кабель АВБШвнг(А)-1-4х150 полностью удовлетворяет всем условиям проверки.

9.2 Проверка КЛ от ВРУ до ЩР и ЩО

Произведем расчёт и выбор сечения кабелей при помощи ранее полученных данных из таблицы 3. Кабельную линию необходимо проверить на нагрев по длительно допустимому току и потерю напряжения. Кабельные линии должны соответствовать следующим условиям:

$$I_p \leq I_{д.д.}$$

$$\Delta U\% \leq 5\%$$

Выполним расчет потерь напряжения в кабельной линии по формуле:

$$\Delta U\% = \left(\frac{P_p \cdot (r_o + \operatorname{tg}\varphi \cdot x_o) \cdot l}{n_{\text{каб}} \cdot U_{\text{ном}}^2} \right) \cdot 100. \quad (30)$$

Результаты расчета кабелей и их сечение сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчёта

Щит	l, м	Pp, кВт	Ip, А	I _{д.д.} , А	S, мм ²	Марка кабеля	ΔU%
ЩР1.1	43,2	5,7736	9,75	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,190243
ЩР1.2	28,4	10,9704	18,52	42	5×6	ВВГнг(А)-LS	0,169006
ЩО1	25,1	4,8	8,1	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,091895
ЩР2.1	46,8	10,044	16,96	42	5×6	ВВГнг(А)-LS	0,254984
ЩР2.2	32	8,784	14,83	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,214398
ЩО2	28,7	3,096	5,23	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,067774
ЩР3.1	50,4	8,604	14,52	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,330757
ЩР3.2	35,6	8,124	13,71	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,220596
ЩО3	32,3	3,168	5,35	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,078049
ЩР4.1	54	9,636	16,27	42	5×6	ВВГнг(А)-LS	0,282261
ЩР4.2	39,2	10,824	18,27	42	5×6	ВВГнг(А)-LS	0,230163
ЩО4	35,9	3,408	5,75	33	5×4	ВВГнг(А)-LS	0,093319

Вывод: произведена проверка кабельных линий и исходя из данных, полученных в ходе расчета видно, что все кабели удовлетворяют условиям.

10 Расчет контура заземления

Расчет контура заземления ведется, опираясь на ПУЭ [18]. Согласно требованиям главы 1.7, все нетоковедущие части электроустановок, не находящиеся под напряжением, необходимо заземлить. В качестве искусственного заземлителя используется наружный контур заземления, состоящий из вертикальных и горизонтальных электродов.

Вертикальные электроды расположим по периметру здания с внешней стороны, на расстоянии 1 метр. В качестве вертикальных заземлителей выступают стальные стержни диаметром $D = 18$ мм из стали длиной $L = 3$ м, которые погружаются в грунт методом ввертывания. Располагаются вертикальные электроды на расстоянии не ближе 2-3 м друг от друга. Верхние концы электродов располагаем на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали, что и вертикальные электроды. Функцию горизонтального электрода выполняет стальная полоса сечением 5x40 мм. Расчетный ток замыкания на землю определим по формуле:

$$I_p = \frac{U_\phi}{R_0 + R_k}, \quad (31)$$
$$I_p = \frac{220}{4 + 4} = 27,5 \text{ A},$$

где $U_\phi = 220$ В - фазное напряжение;

$R_0 = 4$ Ом – сопротивление замыкания нейтрали;

$R_k = 4$ Ом – сопротивление корпуса электроустановки.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок до 1 кВ не должно превышать 4 Ом, поэтому расчетное сопротивление $R_3 = 4$ Ом. Сопротивление искусственного заземлителя при отсутствии естественных заземлителей принимаем равным допустимому сопротивлению заземляющего устройства $R_{И} = R_3 = 4$ Ом.

Определим расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей по формулам:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{уд} \cdot K_{\text{пг}}, \quad (32)$$

$$\rho_{\Gamma} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{\text{В}} = \rho_{уд} \cdot K_{\text{пв}}, \quad (33)$$

$$\rho_{\text{В}} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\rho_{уд} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – удельное сопротивление грунта;

$K_{\text{пг}} = 2$ и $K_{\text{пв}} = 1,4$ – повышающие коэффициенты для горизонтальных и вертикальных электродов.

Следующим шагом рассчитаем сопротивление растеканию вертикального и горизонтального электрода стержневого типа по формулам:

$$R_{\text{В}} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{В}}}{L} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot t_{\text{В}} + L}{4 \cdot t_{\text{В}} - L} \right), \quad (34)$$

$$R_{\text{В}} = \frac{0,366 \cdot 140}{3} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,018} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 43,4 \text{ Ом},$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\Gamma}}{L} \cdot \lg \frac{2 \cdot L}{b \cdot t_{\Gamma}}, \quad (35)$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366 \cdot 200}{338} \cdot \lg \frac{2 \cdot 215}{0,05 \cdot 0,7} = 0,88 \text{ Ом},$$

где L – длина заземлителя, м;

d – внешний диаметр заземлителя, м;

b – ширина полосы заземлителя, м;

$t_{\text{В}}$ – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м;

t_{Γ} – расстояние от поверхности земли до заземлителя, м.

Следующим шагом необходимо найти суммарное сопротивление электродов по формулам:

$$R_{\text{В.сум}} = \frac{R_{\text{В}}}{K_{\text{нв}} \cdot n}, \quad (36)$$

$$R_{в.сум} = \frac{43,4}{0,74 \cdot 3} = 19,5 \text{ Ом},$$

$$R_{г.сум} = \frac{R_{г}}{K_{ип}}, \quad (37)$$

$$R_{г.сум} = \frac{0,88}{0,56} = 1,57 \text{ Ом},$$

где $K_{ив}$ – коэффициент использования вертикальных электродов, при количестве вертикальных электродов 12 шт. принимается равным 0,74;

$K_{ип}$ – коэффициент использования горизонтальных электродов, при количестве вертикальных электродов 12 шт. принимается равным 0,56.

Зная суммарное сопротивление вертикальных и горизонтальных заземлителей, можно рассчитать полное сопротивление заземляющего контура по формуле:

$$R_3 = \frac{R_{в.сум} \cdot R_{г.сум}}{R_{в.сум} + R_{г.сум}}, \quad (38)$$

$$R_3 = \frac{19,5 \cdot 1,57}{19,5 + 1,57} = 1,45 \text{ Ом}.$$

Последним этапом является проверка заземляющего контура на соответствие требованиям главы 1.7 ПУЭ [18]. Согласно требованиям главы 1.7 ПУЭ полное сопротивление заземляющего контура не должно превышать значения 4 Ом.

$$1,45 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$$

Вывод: произведен расчет контура заземления. По результатам расчета видно, что сопротивления заземляющего контура соответствует требованиям главы 1.7 ПУЭ [18].

Заключение

Итогом выполнения выпускной квалификационной работы является полностью реконструированная система электроснабжения «А» корпуса ТГУ. Произведён расчёт силовых нагрузок корпуса. Общая нагрузка составила 237,2 кВт. Принято решение сделать систему освещения на светильниках производства ООО «Фокус». Для новой лабораторной установки МДО выбрана АКУ-0,4-100-25 УЗ от производителя «Хомов электро». Для потребителей I-й категории по надёжности электроснабжения выбран щит ППУ производства «НИКом».

Также на основе расчётов нагрузок, выбраны силовые трансформаторы типа ТМГ-1000/6/0,4 в количестве двух штук от Тольяттинского производителя – «Тольяттинский Трансформатор». Так же была выбрана новая блочная комплектная трансформаторная подстанция БКТП-2 от Самарского завода «Энергомонтаж». Выбор самарской компании позволил достаточно сэкономить на доставке и обслуживании.

Произведен расчёт токов коротких замыканий, для полноценного выбора основного электрооборудования предприятия. Основываясь на данный расчёт, произведен выбор ВРУ для всех цехов и сооружений от компании «Стандарт – Энерго». Для электроснабжения корпуса выбраны кабели марки АВБШвнг(А) поставщиком которой выбрана одна из старейших, но современных компаний – «Самарская кабельная компания».

Произведен расчёт, выбор и проверка кабельной продукции для прокладывания от БКТП-2 до ВРУ и от ВРУ до распределительных щитов. Поставщиком кабельной продукции выбран завод АО «Самарская кабельная компания».

Так же произведен расчёт контура заземления. Внешнее заземляющее устройство состоит из контура длиной 338 м и 12 вертикальных электродов вокруг здания, расположенных на расстоянии не меньше 3 м друг от друга. Сопротивление заземляющего устройства 1,45 Ом.

Список используемой литературы

1. Byron G Byraiah, P.E. Member IEEE, Life Member Beta, Gamma, Sigma. Electrical Engineering. WBDG February 2016. 7 p.
2. Jake Moran. Energy use in commercial buildings. U.S. Energy Information Administration. September 2018. 3 p.
3. Kassymkhan I. Khamidullin. The Power Supply of Public Buildings of the Leningrad Region Based on Alternative Energy Sources. Conference Paper · January 2019. 24 p.
4. Keelan Potts, Mikolaj Harding. Electrical and lighting requirements – public buildings. Electrical life study October 2018. 11 p.
5. Umair Li, Keagan Benson, Troy Mccall. Cu and Al cables for placing in buildings. TF-cable publishing platform. November 2017. 6 p.
6. АКУ-0,4-100-25У3 производства ООО «Хомов электро» [Электронный ресурс]: URL: <https://khomovelectro.ru/catalog/kondesatornye-ustanovki/kondensatornye-ustanovki-aku-0-4.html> (дата обращения 18.05.2020).
7. ГОСТ 14254-96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP). Введен 1997-01-01. М.: Стандартиформ, 2008. 36 с.
8. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Введен 1971-01-01. М.: Стандартиформ, 2006. 60 с.
9. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен 2014-07-01. М.: Стандартиформ, 2014. 19 с.
10. ГОСТ Р 51321.1-2007 (МЭК 60439-1:2004) Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические

требования и методы испытаний. Введен 2009-01-01. М.: Стандартиформ 2009. 82 с.

11. ГОСТ Р 51732-2001 Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия. Введен 2002-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 44 с.

12. ГОСТ Р 52736-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания. Введен 2008-07-01. М.: Стандартиформ, 2007. 44 с.

13. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. Введен 2014-07-01. М.: Стандартиформ, 2016. 19 с.

14. Каталог продукции «Световые технологии» [Электронный ресурс]: URL: http://www.trevis-vvk.com/assets/files/2017/svetovye-tehnologii/LT_Catalog_2017-ilovepdf-compressed.pdf (дата обращения 18.05.2020).

15. Каталог продукции блочных комплектных трансформаторных подстанций на 1000 кВА от завода «Энергомонтаж» [Электронный ресурс]: URL: <https://samara.em031.ru/catalog/detail/2bktp-1000-kva/> (дата обращения 18.05.2020).

16. Каталог продукции и щита ППУ от компании ООО «НИКом» [Электронный ресурс]: URL: <http://nicom.su/development/GRSH/PPU> (дата обращения 18.05.2020).

17. Каталог продукции кабельной продукции от компании АО «Самарская кабельная компания» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.samaracable.ru/cgi-bin/cat/frame.cgi> (дата обращения 18.05.2020).

18. Каталог продукции кабельной продукции от компании ООО «Дмитров-Кабель» [Электронный ресурс]: URL: <https://dmitrovkabel.ru/product/> (дата обращения 18.05.2020).

19. Каталог продукции светильников группы ООО «Фокус» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ledsvet.ru/svetodiodnie-svetilniki-optom/> (дата обращения 18.05.2020).

20. Каталог продукции силовых трансформаторов на напряжение 6-10 кВ от производителя ООО «Тольяттинский Трансформатор» [Электронный ресурс]: URL: https://transformator.com.ru/ttproduction/transform/tr_10kv.php (дата обращения 18.05.2020).

21. Каталог продукции труб электротехнических компании АО «ДКС» [Электронный ресурс]: URL: <https://www.dkc.ru/ru/catalog/91/> (дата обращения 18.05.2020).

22. Каталог электрощитовой продукции от компании IEK GROUP [Электронный ресурс]: URL: https://www.iek.ru/products/catalog/shkafy_boksy_i_prinadlezhnosti_k_nim/korpusa_metallicheskie_modulnye/korpusa_metallicheskie_raspredelitelnye/shchity_raspredelitelnye/shchrn_ip54/korpus_metallicheskiy_raspredelitelnyy_shchrn_24z_0_u2_ip54_iek (дата обращения 18.05.2020).

23. Правила устройства электроустановок, 7-е издание: утв. Министерством энергетики Рос. Федерации. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2004. [Электронный ресурс]: URL: <http://etp-perm.ru/el/pue> (дата обращения 18.05.2020).

24. Сайт Тольяттинского государственного университета [Электронный ресурс]: URL: https://www.tltsu.ru/about_the_university/ (дата обращения 18.05.2020).

25. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Введен 2017-03-02. М.: Стандартинформ, 2017. 125 с.

26. СП 6.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Электрооборудование. Требования пожарной безопасности. Введен 2013-02-25. М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013. 6 с.

27. Технические характеристики силового масляного трансформатора ТМ-630/6/0,4 [Электронный ресурс]: URL: <http://transform74.ru/tr/transformatory-tm/630-6-04/> (дата обращения 18.05.2020).

28. Технические характеристики силового масляного трансформатора ТМГ – 1000/6/0,4 [Электронный ресурс]: URL: <http://tmtorg.ru/transformator-tmg-1000604-uun-0-u1-minsk.html> (дата обращения 18.05.2020).

29. Технический отчет № 15-16 проверки (испытаний) электроустановки на объекте: Здание лабораторного корпуса ХИМ-БИО (лит.А5).

30. Технический циркуляр № 16/2007 «О прокладке взаиморезервирующих кабелей в траншеях». Введен 14.09.2007. 2 с.

31. Циркуляр № Ц-02-98 (Э). О проверке кабелей на возгорание при воздействии тока короткого замыкания. Введен 16.03.98. М.: РАО ЕЭС России, 1998. 14 с.