

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Реконструкция системы электроснабжения общежития N 1 ТГУ

Студент	<u>А.В. Скворцов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>О.В. Самолина</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.В. Кириллова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В.Вахнина _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2019

АННОТАЦИЯ

Темой нижеизложенной выпускной квалификационной работы является реконструкция электрической части общежития.

В ходе ознакомления с технической частью электроснабжения общежития был составлен перечень основных задач:

- разработать проект по силовому питанию бытовых потребителей с созданием типовых решений для последующего применения вновь разрабатываемых и реконструируемых общежитиях;

- разработать проект по питанию осветительных приборов;

- разработать проект аварийного освещения для увеличения безопасности жильцов общежития во время нештатных ситуаций;

Для решения поставленных задач, в дипломной работе произведен расчет силовой части, составлен светотехнический проект в программе «DIALux». На основании его были рассчитаны мощности потребляемые системой освещения, рассчитаны токи магистральных кабелей, а так же выбраны и проверены кабели внешнего снабжения.

Пояснительная записка состоит из семи разделов, введения, заключения и списка используемых источников. Материал данной работы представлен на 49 страницах, включая 13 рисунков и 4 таблицы, а так же графическую часть, представленную на 6 чертежах формата А1.

ABSTRACT

The topic of the given graduation project is the reconstruction of the power supply system for the 400-bed dormitory at Togliatti State University. The senior thesis is devoted to the issue of residential power supply.

The object of the thesis is a residential dormitory of Togliatti State University. We start with the statement of the problem by analyzing the current power supply networks, and then logically pass over to the creation of engineering documentation.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are description of the power supply, the calculation of the power electrical part, the calculation of the main and external power supply circuits, as well as the calculation of earthing, electrical calculation of lighting, in which we compared different types of lamps. All 6 parts look toward improving safety and reducing the number of emergency situations.

This senior thesis consists of an explanatory note on 49 pages, introduction, including 13 figures, 4 tables, the list of 30 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

In conclusion we'd like to stress that the functioning of any electrical system requires timely repairing and reconstruction of obsolete elements.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1.Описание объекта электроснабжения	7
2. Расчет параметров силового электроснабжения потребителей	17
2.1 Выбор схемы электроснабжения.....	17
2.2 Разделение потребителей на группы	18
2.3 Расчёт электрических нагрузок	19
3. Электротехнический расчет освещения	23
3.1 Выбор типа светильников	23
3.2 Светотехнический расчёт	24
3.3 Разделение потребителей по группам.....	27
3.4 Выбор способов и мест прокладки кабелей	28
3.5 Расчёт электрических нагрузок цепей освещения.....	29
4 Расчет параметров сети электроснабжения эвакуационного освещения... 32	
4.1 Общие требования к аварийному освещению	32
4.2 Расчёт электрических нагрузок эвакуационного освещения	32
5 Расчет параметров магистральных цепей34	
5.1 Компоновка ВРУ	34
6. Выбор кабелей внешнего электроснабжения.....	37
6.1 Расчёт силы тока	37
6.2 Проверка кабельных линий на термическую стойкость.....	37
6.3 Проверка кабельных линий на не возгорание.....	38
6.4 Проверка кабельных линий на потери напряжения	39
7. Заземление, молниезащита, система уравнивания потенциалов41	
7.1 Заземление	41
7.2 Молниезащита	43
7.3 Система уравнивания потенциалов.....	43
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	47

ВВЕДЕНИЕ

Наступают времена, когда все большее влияние на экономическую ситуацию в стране оказывает динамично развивающиеся инфраструктура, транспорт и сельское хозяйство. Наш народ, оправившись от мрачных последствий перестройки, с новыми силами приступил к освоению ранее недоступных ему горизонтов, смело постигая науку, развивая технику и совершенствуя общественное самосознание.

Создание энергетической системы связано с необходимостью передачи большого количества электрической энергии от мест производства до потребителя. Существуют два основных направления, позволяющих расширить возможности энергетической системы:

Во-первых – качественный: он предполагает модернизацию существующих узлов и линий для повышения их пропускной способности.

Во-вторых, количественный – постройка новых объектов электросетевой инфраструктуры.

Работа в том, или ином направлении зависит от конкретных особенностей сети рассматриваемого региона. Решение о строительстве или модернизации сегмента сети является сугубо индивидуальным для конкретных условий и требует тщательного обоснования, что связано, в частности, с высокой стоимостью электро-сетевых объектов.

Энергетическую систему условно можно разделить на три части: места генерации электрической энергии, линии передачи электрической энергии, места сосредоточения электроприёмников. Обеспечение потребителей качественной электроэнергией, соответствующей государственным стандартам является одной из главных целей энергетической системы. В небольших городах основными потребителями являются коммунальные предприятия и гражданские здания. В больших городах добавляются крупные промышленные предприятия и городской электротранспорт. Из

сказанного выше можно утверждать то, что снабжение потребителей является главной задачей электроснабжения.

За последнее десятилетия бытовые потребители из-за развития техники и науки стали более требовательные к качеству электроэнергии. В связи с этим вызвана проблема по обеспечению бытовых потребителей, особенно в старых зданиях. Так как расчёт электрической нагрузки произведённый на момент проектирования не соответствует действительной нагрузке системы электроснабжения в настоящее время, из-за этого возникает риск повреждения системы вплоть до возгорания, что может привести к большим материальным затратам и к несчастным случаям. Поэтому важно реконструировать системы электроснабжения жилых домов для выполнения всех предъявляемых требований к качеству электроэнергии.

Цель бакалаврской работы заключается в разработке проектной документации для капитального ремонта систем электроснабжения общежития.

1 Описание объекта электроснабжения

Территория, на которой расположен объект электроснабжения, город в Самарской области России, являясь городом областного значения, образует муниципальное образование городской округ Тольятти с единственным населённым пунктом в его составе. Входит в агломерацию. Находящиеся по адресу ул. Белорусская, дом 31.

В Тольятти умеренно континентальный климат с жарким летом и холодной зимой. Однако он заметно смягчается Куйбышевским водохранилищем, непосредственно влияющим на территории на расстоянии 1—3 км (Комсомольский и Автозаводский районы города, Центральный район только в районе Портпосёлка). Значительно влияют на климат особенности планировки города, состоящего из обособленных районов, разделённых лесными массивами. Влияние рельефа на микроклимат незначительное из-за его слабой выраженности.

Средняя температура января $-10,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля $+20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум температуры зафиксирован 2 августа 2010 г. и равнялся $+40,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предыдущий рекорд составлял $+39\text{ }^{\circ}\text{C}$ (июль 1984 г.). Абсолютный минимум $-43,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 января 1979 г.). Среднегодовая температура — $+5,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Разница между температурой в городе и на прилегающих территориях в среднем составляет $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ летом и $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ зимой.

Инженерно - геологические элементы почвы с поверхности площадки представлены каменистой почвой. Удельное сопротивление каменистой почвой $R_{уд} = 200\text{ Ом}$.

Современные жилые здания насыщены большим количеством различных электроприёмников. К ним относятся осветительные и бытовые приборы и силовое электрооборудование. Рост энергетики и объём производства электроэнергии в значительной мере способствует расширению номенклатуры и увеличению количества электроприборов, применяемых в быту.

Потребление электроэнергии жилыми зданиями имеет ряд особенностей, обусловленных составом электроприемников и режимами их работы, связанными с укладом жизни населения. Это прежде всего неравномерность потребления электроэнергии по часам суток и сезонам года. В жилых зданиях 60 % электроэнергии расходуется в период между 18 и 22 ч; летом электроэнергии потребляется на 15 - 20 % меньше, чем зимой.

Объект электроснабжения представляет собой здание общежития на 400 человек построенное в 1969 году. Число надземных этажей – 5, число подземных этажей – 1. Общая площадь здания – 3946,3 м². Фундамент – сборные железобетонные блоки. Наружные и внутренние стены – кирпичные. Крыша – шиферная. Окна – 2-е створные, деревянные.

На первом этаже расположены:

1. Жилые помещения
2. Кухня
3. Место общественного питания
4. Пост охраны
5. Санитарные узлы
6. Холл

Со второго по четвертый этаж, расположена однотипная планировка, включающая в себя:

1. Жилые комнаты
2. Места для приготовления пищи
3. Санитарные узлы

Система электроснабжения находится в неудовлетворительном состоянии. Оборудование вводного распределительного устройства исчерпало ресурс пользования и находится в аварийном состоянии. Лакокрасочное покрытие шкафа ВРУ повреждено. Также присутствуют следы вандализма, отсутствует контроль доступа в шкаф (См. Рисунки 1 и 2)



Рисунок 1 - Шкаф ВРУ



Рисунок 2 - Состояние ВРУ

Внутреннее состояние шкафа так же находится в неудовлетворительном состоянии. Отсутствует маркировка проводов, внутри устройства находится много грязи и пыли, нет защиты токоведущих частей, использованы разные марки устройств (См. Рисунок 3).

Также отсутствует источник аварийного питания, невозможно реализовать большинство систем аварийного освещения, пожаротушения и т.д



Рисунок 3 - Шкаф ВРУ

Замер сопротивления изоляции выявил неудовлетворительное состояние изоляции кабелей (См. Рисунок 4- Неудовлетворительное состояние изоляции), что может привести к пагубным последствиям, вплоть

до короткого замыкания, с последующим возгоранием, что напрямую влияет на безопасность людей.



Рисунок 4 - Неудовлетворительное состояние изоляции

Использование алюминиевых проводов, опасно тем, что с течением времени токоведущая жила становится более хрупкой, тем самым ухудшая ремонтпригодность и увеличивая шанс обрыва. Всё оборудование морально и физически устарело, силовые щиты и щиты освещения в неудовлетворительном состоянии (См. Рисунки 5,6).



Рисунок 5 - Силовой щит



Рисунок 6 - Силовой щит

Также отмечается (См. Рисунки 7), Отсутствие кабель несущих конструкций (См. Рисунок 8), отсутствует маркировка проводов, что значительно увеличивает затраты на обслуживание. Несоответствие электрических сетей современным нормам и требованиям.



Рисунок 7 - Отсутствие кабельнесущих конструкций



Рисунок 8 - Отсутствие кабельнесущих конструкций

Также согласно плану развития ТГУ будут создаваться новые кампусы для студентов, в связи с этим потребуется разработка проекта по электроснабжению. Для того чтобы сократить время разработки и обеспечить простоту эксплуатации (благодаря единообразию) планируется разработка типовых решений.

Исходя из состояния сети электроснабжения и планов по развитию ТГУ, требуется:

- разработать проект по силовому питанию бытовых потребителей с созданием типовых решений для последующего применения вновь разрабатываемых и реконструируемых общежитиях;
- разработать проект по питанию осветительных приборов;
- разработать проект аварийного освещения для увеличения безопасности жильцов общежития во время нештатных ситуаций;

2 Расчет параметров силового электроснабжения потребителей

2.1 Выбор схемы электроснабжения

Существенным аспектом распределения электрической энергии на предприятии, в особенности, на стороне низкого напряжения, является правильный выбор схемы электроснабжения. Такая схема, как и проект в целом должна отвечать двум базовым критериям: с одной стороны – обеспечивать заявленный уровень надежности и быть удобной в эксплуатации, а с другой – обеспечивать максимально возможную экономию на материалах и монтаже. На настоящий момент наибольшее распространение получили следующие типы схем:

- радиальные;
- магистральные;
- смешанные;

Радиальная - это схема, в которой линия электропередачи соединена между собой на уровне верхнего уровня или на уровне нижнего уровня. Радиальные схемы просты, надежны, в особых случаях могут использоваться упрощенные схемы первичной коммутации подстанции нижнего уровня. Аварийное отключение радиальных линий не отражается на потребителях электроэнергии, подключенных к другим линиям. Из-за магистральных схем может возникнуть большой расход коммутационной аппаратуры и цветных металлов.

Магистральная схема - линии, питающие потребителей (приемники электроэнергии), имеют распределение энергии по длине. Такие линии называют магистральными. При магистральном подключении целесообразно на некоторых из них на питающих или отходящих линиях использовать силовые выключатели с защитами, с целью локализации поврежденного участка сети и ограничения числа отключенных при этом потребителей.

При сравнении схем ясно, что радиальная схема является более надёжной, по сравнению с магистральной схемой. Но магистральная отличается экономией кабелей и удешевляет проект, но ухудшает защиту автоматики, уменьшая её степень селективности.

Учитывая геометрические размеры здания можно сделать вывод о том, что экономия материалов будет не существенна, а ущерб в селективности работы автоматики приведёт к большому отключению потребителей, поэтому была выбрана смешанная схема подключения (радиальное подключение комнат с магистральным соединением внутри одной комнаты).

Так как со 2 по 4 этаж планировка унифицирована, то здание условно можно разделить на 3 части: подвал, 1 этаж, 2-4 этажи.

2.2 Разделение потребителей на группы

При разделении потребителей на группы требуется учитывать несколько факторов: фактическая близость потребителей, для удобства монтажа и обслуживания, ограничение по суммарной мощности, для увеличения чувствительности автоматики. Также требуется учитывать влияние электромагнитную совместимость потребителей, но так как в жилых помещениях не используются потребители с резкопеременной нагрузкой или устройств, вносящих помехи в сеть, то этим фактором можно пренебречь.

На первом этаже можно выделить 13 групп силовых потребителей.

При разделении потребителей 2-4 этажа требуется баланс в количестве групп. При большом количестве групп увеличивается экономические затраты на покупку кабельных изделий и автоматики.

На втором и последующих этажах 15 групп силовых потребителей.

Подвальное помещение характеризуется малым количеством потребителей.

В подвальном помещении выделено 10 групп силовых потребителей.

2.3 Расчёт электрических нагрузок

Расчёт произведён по методу упорядоченных диаграмм.

Исходя из среднестатистических нагрузок жилых потребителей и количество мест для подсоединений потребителей установим нагрузку $P_{н(ком)}=3кВт$. Произведем типовой расчёт для силового щита ЩС-2.1

Коэффициент m определим по формуле 2.1:

$$m = \frac{P_{ном.мах}}{P_{ном.мин}} = \frac{3,5}{0,5} = 7,3 \quad (2.1)$$

Где $P_{ном.мах}$ - максимально мощный приемник подключенный к сети

$P_{ном.мин}$ - самый маломощный приемник подключённый к данной сети

Количество эффективных приемников зависит от количества подключенных приемников ($n_{эф}$):

$$n_{эф} = \frac{(\sum P_{н})^2}{\sum P_{н}^2} = 5 \quad (2.2)$$

Далее смотрим из сводки основных положений по определению расчётных электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм формулу расчётной мощности подходящие под условия изложенные выше:

$$P_p = K_{и} \times P_{ном} = 13,8 \quad (2.3)$$

Значение $K_{и}$ определяется является справочной величиной

По известной мощности расчётной определяем расчётный ток

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = 22,5 \text{ A} \quad (2.4)$$

Где P_p -расчетная мощность

U - Напряжение питания приемника

$\cos \varphi$ –коэффициент мощности

Аналогично рассчитываем все щиты, данные вносим в таблицу 1

Таблица 1 - Расчёт силовой нагрузки

Наименование	номера помещений	$P_n, \text{кВт}$	n эф	m	Расчётные показатели	
					$P_p, \text{кВт}$	I_p, A
ЩС-1.0						
гр.1	12	1,6	4,1	2,7	1,4	2,3
гр.2	14	1,6			1,4	2,3
гр.3	4	1,6			1,4	2,3
гр.4	10	4,0			3,6	5,9
гр.5	11	4,3			3,9	6,4
резерв						
Всего		13,1			11,8	19,3
ЩС-2.0						
гр.1	16	0,9	4,3	4,1	0,8	1,3
гр.2	1	1,3			1,2	1,9
гр.3	2	1,7			1,5	2,5
гр.4	3	0,4			0,4	0,6
гр.5	15	1,7			1,5	2,5
гр.6	резерв					
Всего		6,0			5,4	8,8

Продолжение таблицы 1

Наименование	номера помещений	P _н , кВт	n эф	m	Расчётные показатели	
					P _р , кВт	I _р , А
ЩС-1.1						
гр.1	97	3,0	5,3	6,9	2,7	4,4
гр.2	98,111	0,5			0,4	0,7
гр.3	105,107	3,0			2,7	4,4
гр.4	103,101	3,3			3,0	4,8
гр.5	93,31,101А	3,0			2,7	4,4
гр.6	95	3,0			2,7	4,4
гр.7	резерв				0,0	
Всего		15,8			14,2	23,2
ЩС-2.1						
гр.1	104	0,5	5,2	7,3	0,4	0,7
гр.2	115А	3,0			2,7	4,4
гр.3	115	2,3			2,1	3,4
гр.4	99,111	3,5			3,2	5,2
гр.5	100	3,0			2,7	4,4
гр.6	102	3,0			2,7	4,4
гр.7	резерв				0,0	
Всего		15,3			13,8	22,5
ЩС-1.2						
гр.1					2,2	3,5
гр.2	210,212	3,0			2,7	4,4
гр.3	214,214А	3,0			2,7	4,4
гр.4	209,211	3,0			2,7	4,4
гр.5	205,207	3,0			2,7	4,4
гр.6	201,203	3,0			2,7	4,4
гр.7	201,202А	3,0			2,7	4,4
гр.8	202,204	3,0			2,7	4,4
гр.9	резерв					
Всего		23,4			21,1	34,4

Продолжение таблицы 1

Наименование	номера помещений	P _н , кВт	п эф	m	Расчётные показатели	
					P _р , кВт	I _р , А
ЩС-2.2						
Гр.1	230	3,0	6,9	1,3	2,7	4,4
Гр.2	225,225А	3,0			2,7	4,4
Гр.3	223,221	3,0			2,7	4,4
Гр.4	219,217	3,0			2,7	4,4
Гр.5	215,213	3,0			2,7	4,4
Гр.6	218,216	3,0			2,7	4,4
Гр.7	222, 220	4,0			3,6	5,9
Гр.8	резерв				0,0	0,0
Всего		22,0			19,8	32,4
Всего по объекту					64,9	106,1

3 Электротехнический расчет освещения

3.1 Выбор типа светильников

Основными типами конкурирующих светильников в наше время являются люминесцентные и светодиодные источники света.

Люминесцентная лампа представляет собой стеклянную герметически закрытую трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Из трубки удален воздух и в нее введено небольшое количество газа (аргона) и дозированная капля ртути.

Внутри трубки на ее концах, в стеклянных ножках, укреплены биспиральные электроды из вольфрама, соединенные с двухштырьковыми цоколями, служащими для присоединения лампы к электрической сети посредством специальных патронов. При подаче электрического тока к лампе между электродами возникает электрический разряд в парах ртути, в результате электролюминесценции паров лампа излучает свет.

Светодиодная лампа - это достаточно сложное электронное устройство с несколькими десятками деталей, от которых зависит качество света и долговечность лампы. Мир стремительно переходит на светодиоды. Всего пять лет назад светодиодные лампы ещё были технической новинкой, а сейчас светодиодное освещение используется во всех сферах жизни: светодиодные фонари можно встретить даже в деревнях, многие офисы, отели и общественные здания освещаются светодиодными светильниками, подавляющая часть концертного и театрального освещения стала светодиодной. Лампы этого типа появляются и во многих квартирах, ведь их можно купить даже в продовольственных магазинах, а в товарах для дома их ассортимент шире, чем ламп других типов.

Все характеристики отражены в сравнительной таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительная характеристика ламп

Тип лампы	Люминесцентная лампа	Светодиодный источник света
Срок службы (тыс. час)	10-25	50-65
Максимальная световая отдача (лм\Вт)	50-70	120-140
Цветовая температура (К)	3700-5700	2700-7000
Требования к специальной утилизации	Есть	нет
Стойкость механическим повреждениям	Низкая	Высокая

Подводя итог выше изложенному считаю, что светодиодные светильники будут оптимальным вариантом в виду их долговечности и простоты обслуживания.

3.2 Светотехнический расчёт

Давно доказано, что характеристики освещения напрямую влияют на качество жизни человека, его производительность и здоровье. Поэтому обеспечить здание достаточным количеством освещенности, которые регулируются СанПиН 2.1.1/2.1.1.1278-03, а также СП 52.13330-2016.

Светотехнический расчёт должен обеспечить разработчика данными о количестве светильников, их мощности и расположения.

Светотехнический расчёт был произведён программой DialuxeEVO.

Первым этапом разработки было построение объемной модели помещения, с предполагаемой расстановкой мебели (См. Рисунки 9,10).

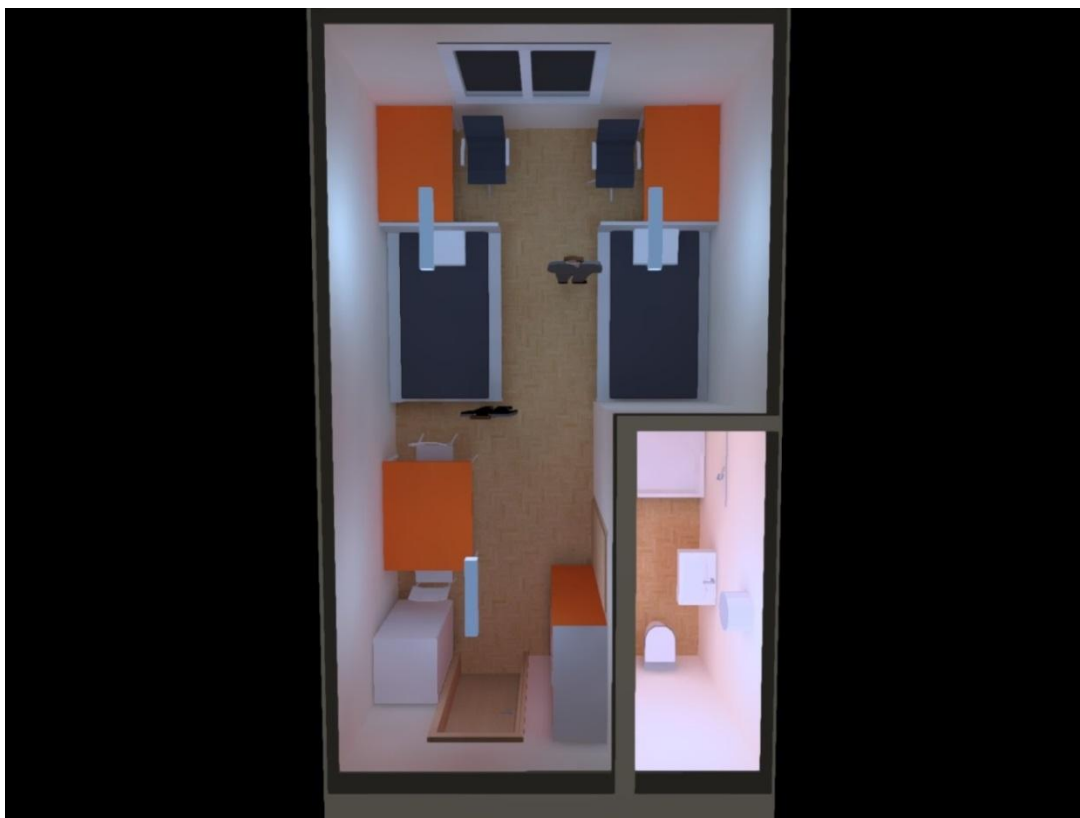


Рисунок 9 - 3D модель комнаты



Рисунок 10 - 3D модель комнаты

Следующим этапом был подбор оптимального расположения светильников и их мощности. Результаты представлены на рисунках 11,12.



Рисунок 11 - Распределение освещённости

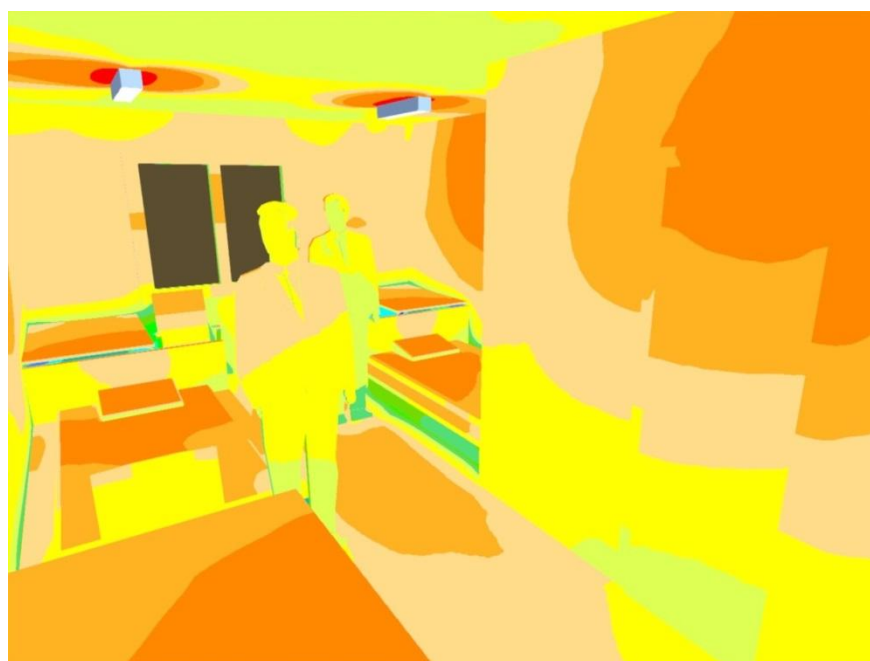


Рисунок 12 – Распределение освещённости

Анализируя рисунок 13, можно утверждать то, что удалость достигнуть правильной картины освещения, в которой освещение сконцентрировано на рабочих местах и местах отдыха, столовой зоне.

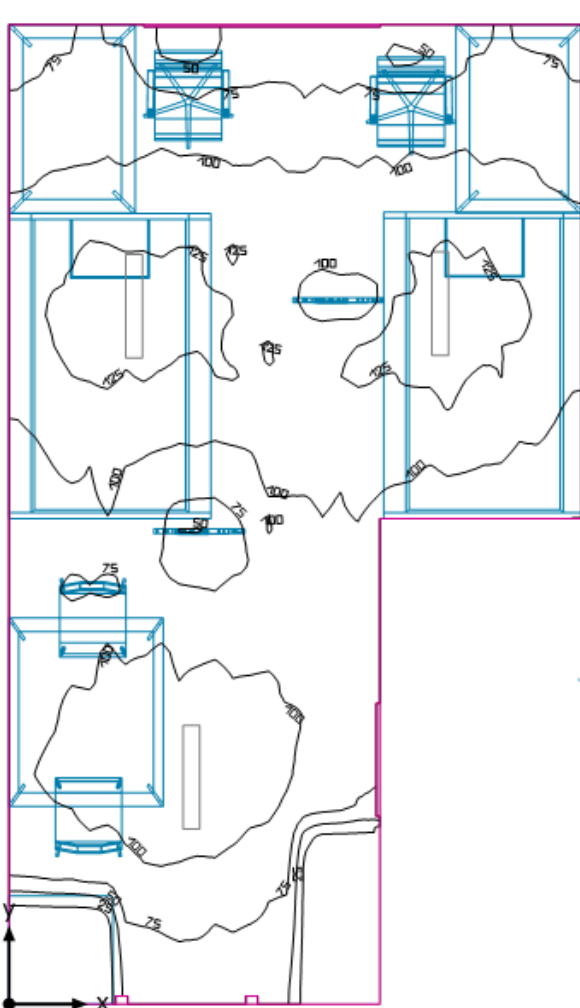


Рисунок 13 - Изолинии освещенности

3.3 Разделение потребителей по группам

Групповые осветительные сети могут быть однофазными и трехфазными. При большом количестве небольших освещаемых помещений (с площадью 20 – 30 м²) группы рабочего освещения делают однофазными, подключая на группу несколько освещаемых помещений. Большие помещения (с площадью 60 – 100 м² и более) целесообразно освещать

несколькими группами светильников, обязательно равномерно распределенными по фазам.

При большом количестве групп увеличивается экономические затраты на покупку кабельных изделий.

На каждом этаже всё освещение было разбито на 9 групп освещения.

3.4 Выбор способов и мест прокладки кабелей

Кабели осветительных сетей могут быть проложены в запотолочных пространствах подвесных потолков, в пустотах железобетонных плит перекрытий, в пространствах под фальшполами. При отсутствии подвесных потолков и фальшполов кабели прокладывают в штробах или в кабель-каналах по стенам и потолкам. Следует учитывать, что нельзя штробить многие несущие конструкции: колонны, балки, плиты перекрытий и некоторые другие. Перед принятием решения об использовании штроб необходимо согласовать их с проектировщиками здания. Как правило не вызывает проблем штробление перегородок, если их толщина позволяет скрытую прокладку в них кабелей. По фасадам зданий кабели прокладывают в стальных оцинкованных коробах или стальных трубах. Основные требования к электропроводкам содержатся в ГОСТ Р 50571.5.52-2011 и ПУЭ.

3.5 Расчёт электрических нагрузок цепей освещения

Произведем типовой расчёт для щита освещения ЩО-2.1

Коэффициент m определяется по формуле:

$$m = \frac{P_{\text{ном. макс}}}{P_{\text{ном. мин}}} = \frac{0,48}{0,30} = 1,60 \quad (3.1)$$

Количество эффективных приемников зависит от количества подключенных приемников ($n_{\text{эф}}$):

$$n_{\text{эф}} = \frac{(\sum P_{\text{н}})^2}{\sum P_{\text{н}}^2} = 3,8 \quad (3.2)$$

Далее смотрим из сводки основных положений по определению расчётных электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм формулу расчётной мощности подходящие под условия изложенные выше:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{и}} * P_{\text{ном}} = 1,4 \quad (3.3)$$

Значение $K_{\text{и}}$ является справочной величиной.

По известной расчётной мощности определяем расчётный ток 3.4

$$I_{\text{р}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} * U * \cos\varphi} = 2,3 \text{ А} \quad (3.4)$$

Аналогично рассчитываем все щиты, данные вносим в таблицу 3.

Таблица 3 - Расчёт электрических нагрузок цепей освещения

Наименование	номера помещений	количество светильников	P _н ,кВт	п эф	m	Расчётные показатели	
						P _p ,кВт	I _p , А
ЩО1.0							
гр.1	14	6	0,36	8,05	2,60	0,32	0,53
гр.2	15	13	0,78			0,70	1,15
гр.3	1,16,17	6	0,36			0,32	0,53
гр.4	2	9	0,54			0,49	0,79
гр.5	3,4	9	0,54			0,49	0,79
гр.6	с 5-8	5	0,30			0,27	0,44
гр.7	19	6	0,36			0,32	0,53
гр.8	10,11	6	0,36			0,32	0,53
гр.9	12	5	0,30			0,27	0,44
Всего			3,90			3,51	5,74
ЩО1.1							
гр.1	95,97	5	0,30	4,66	1,80	0,27	0,44
гр.2	109,111	10	0,60			0,54	0,88
гр.3	коридор	6	0,36			0,32	0,53
гр.4	105,107	6	0,36			0,32	0,53
гр.5	91,93, 101А	9	0,54			0,49	0,79
Всего			2,16			1,94	3,18
ЩО2.1							
гр.1	104,115а	8	0,48	3,80	1,60	0,43	0,71
гр.2	115	8	0,48			0,43	0,71
гр.3	98,98А	5	0,30			0,27	0,44
гр.4	100,102	5	0,30			0,27	0,44
Всего			1,56			1,40	2,30
ЩО1.2							
гр.1	202,204 206,208	12	0,72	4,76	2,00	0,65	1,06
гр.2	214,214А2 12, 210	12	0,72			0,65	1,06
гр.3	203,205, 207,209	12	0,72			0,65	1,06
гр.4	коридор	6	0,36			0,32	0,53
гр.5	201, 201А, 202А	10	0,60			0,54	0,88
Всего			3,12			2,81	4,59

Продолжение таблицы 3

Наименование	номера помещени й	количество светильнико в	P _н ,кВ т	n эф	m	Расчётные показатели	
						P _р ,кВт	I _р , А
ЩО2.2							
гр.1	224,225А, 230	8	0,48	3,90	1,5 0	0,43	0,71
гр.2	219,221,22 3,225	12	0,72			0,65	1,06
гр.3	211,213,21 5,217	12	0,72			0,65	1,06
гр.4	216,218,22 0,222	12	0,72			0,65	1,06
Всего			2,64			2,38	3,89
Всего по объекту						27,59	45,13

4 Расчет параметров сети электроснабжения эвакуационного освещения

4.1 Общие требования к аварийному освещению

Эвакуационное освещение способно обеспечить видимость путей прохода работников при возникновении аварии, пожара или стихийного бедствия, если в результате происшествия произошло отключение основного питания.

Этот вид освещения в обязательном порядке должен быть в тесных комнатах и узких коридорах, и в других помещениях, имеющих слабое естественное освещение, либо совсем его лишены. Аварийные приборы освещения должны быть установлены на лестничных площадках и лестницах в высоких зданиях, имеющих больше шести этажей. Лестницы должны быть освещены, если по одному аварийному выходу планируется прохождение больше 50 работников.

Если в административном здании или в производственном цехе работает больше ста человек, то эвакуационное аварийное освещение организовывается на всех травмоопасных и производственных местах, и в других помещениях, по которым проходит эвакуация.

4.2 Расчет электрических нагрузок эвакуационного освещения

Главной особенностью эвакуационного освещения в том что они постоянно находятся в работе, что приводит к тому, что коэффициент использования равен единице, что значительно упрощает расчёт электрической нагрузки, так как установленная мощность будет равна сумме номинальных мощностей всех светильников.

Следовательно, ток нагрузки будет равен:

$$I_p = \frac{\sum P_H}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = 2,16 \text{ A} \quad (4.1)$$

Все остальные характеристики системы приведены в таблице 4

Таблица 4 - Расчёт электрических нагрузок эвакуационного освещения

Наименование	номера помещений	количество светильников	P _н ,кВт	I _p , А
ЩАО-0				
гр.1	с 12-15	4	0,24	0,39
гр.2	коридор,10,16	7	0,42	0,69
гр.3	2,4-8	6	0,36	0,59
гр.4	99	5	0,3	0,49
Всего			1,32	2,16
ЩАО-1				
гр.1	лестница 1ого этажа	3	0,18	0,29
гр.2	лестница 2ого этажа	3	0,18	0,29
гр.3	лестница 3ого этажа	3	0,18	0,29
гр.4	лестница 4ого этажа	3	0,18	0,29
Всего			0,72	1,18
ЩАО-2				
гр.1	лестница 1ого этажа	3	0,18	0,29
гр.2	лестница 2ого этажа	3	0,18	0,29
гр.3	лестница 3ого этажа	3	0,18	0,29
гр.4	лестница 4ого этажа	3	0,18	0,29
Всего			0,72	1,18
Всего по объекту			2,76	4,51

5 Расчет параметров магистральных цепей

Магистральные сеть представляет собой две независимые друг от друга кабеля отходящие от водного распределительного устройства до пятого этажа. На каждом этаже в непосредственной близости располагаются силовые шкафы и шкафы освещения.

Исходными данными для расчёта магистральных цепей будут данные полученные в таблицах 1 и 3. Исходя из первого закона Кирхгофа, можно утверждать, что по каждому магистральному кабелю протекает ток равный сумме токов потребляемого каждым электропитом подключенному к этому кабелю.

Расчёт будем производить для первого магистрального кабеля так как он является более нагруженным. Для первого магистрального кабеля по формуле 5.1:

$$I_{Д} = I_{щс} + I_{що} = 78 \text{ А} \quad (5.1)$$

Где $I_{щс}$ - расчетный потребляемый ток силового щита

$I_{що}$ -расчётный потребляемый ток щита освещения

Исходя из расчетов, был выбран кабель 2хВВГнг-LS 4х10мм².

5.1 Компоновка ВРУ

ВРУ жилого и/или общественного здания предназначено для использования в сети напряжением 230/400 В трёхфазного переменного тока частотой 50 Гц в сетях с глухозаземлённой нейтралью, для защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях, а также для нечастых оперативных включений и отключений электрических сетей и обычно представляет собой заземлённый металлический шкаф защищённого исполнения, внутри

которого может находиться соответствующая аппаратура: рубильники, предохранители, счётчики электрической энергии, панели аварийного ввода резерва, реле контроля фаз, выключатель аварийного освещения, датчики распределения нагрузки по фазам, вольтметры и амперметры. На дверь ВРУ может выводиться индикация основных параметров электросети: напряжения, тока, срабатывания защит, асимметрии по фазам, и пр. Амперметры и счётчики энергии включаются через трансформаторы тока.

В данной работе ВРУ конструктивно можно разбить на две части распределительный шкаф и вводное устройство. Внутри вводного устройства смонтированы приборы учёта, устройства защиты сетей, а так же рубильник для оперативного управления.

В вводное устройство подключаются два кабеля 0,4 КВ с подстанции

Затем они поступают на трансформаторы тока на каждой фазе, согласно рассчитанной нагрузке были выбран трансформатор тока типа ТТН-40 200/5,

где 200 обозначает ток на первичной обмотке трансформатора, которая представлена в виде шины, а 5 –максимальный ток на вторичной стороне, который пропорционален току в шине.

Следующим элементами ВРУ являются устройства для защиты цепей.

Которую можно было реализовать двумя способами: с использованием автоматических выключателей или на плавких предохранителях. Каждый из методов имеют свои плюсы и минусы. К плюсам реализации токовой защиты с использованием автоматических выключателей можно отнести: возможность многократного использования, дополнительная защита от перегрузки, возможность создания более информативной системы за счет дополнительных сухих контактов.

Достоинствами плавких предохранителей, в первую очередь является цена установки, а главным недостатком, является то, что и при срабатывании требуется замена предохранителей.

Так как по требованию заказчика была выбрана защита с помощью плавких вставок, чтобы минимизировать негативные эффекты была спроектирована защита с уровнем селективности обеспечивающая срабатывание плавких вставок при коротком замыкании в самих магистральных цепях. Выбор предохранителей осуществлялся по номинальному току, с учётом коэффициента запаса, для исключения ложных срабатываний.

Следующим элементом в цепи шкафа ВУ является рубильники перекидные необходимые для ручного управления электроснабжением здания и переключения между питающими кабелями. Рубильник был выбран исходя из данных о номинальном напряжении и номинальном токе.

Затем из вводного устройства кабели переходят в распределительное устройство, в котором смонтированы шины для подключения, а так же выведена нейтраль и шина защитного заземления.

6 Выбор кабелей внешнего электроснабжения

6.1 Расчет силы тока

Расчётная передаваемая мощность вычисляется по формуле 6.1:

$$P_{\text{кл}} = (\sum P_{\text{щс}} + \sum P_{\text{щдо}} + \sum P_{\text{що}}) \times K_c = 95,35 \text{ кВт} \quad (6.1)$$

K_c - коэффициент одновременности участия в максимуме нагрузки.

Сумма токов магистральных линий является током номинальным током для кабелей внешнего снабжения. Расчетный ток вычисляется по формуле:

$$I_p = \frac{\sum P_{\text{кл}}}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = 155 \text{ А} \quad (6.2)$$

Так как в здании присутствуют потребителей I и II категории, следовательно, при аварийном режиме вся мощность будет передаваться по одному кабелю. Исходя из условий, были выбраны кабели АВВГнг-LS 4х70

6.2 Проверка кабельных линий на термическую стойкость

Расчёт произведён согласно ГОСТ Р 52736-2007:

$$I_{\text{но}} = I_{\text{max}} = 10 \text{ кА}$$

Так как время отключения выключателя равно постоянной времени затухания апериодической составляющей КЗ, то интеграл Джоуля определяется формуле 6.3:

$$W_k = I n a^2 (t_{откл} + T_a) = 10^2 (0.4 + 0.06) = 46 \quad (6.3)$$

Где время отключения согласно ПУЭ складывается из времени действия основной релейной защиты и собственного времени отключения выключателя $t_{в откл}$.

Определим допустимый ток по термической стойкости кабеля по формуле 6.4:

$$I_{терм} = \frac{S \times C_m}{\sqrt{t_{откл} + T_a}} = \frac{2 \times 150 \times 90}{\sqrt{0,4 + 0,06}} = 39,8 \text{ кА} \quad (6.4)$$

Условие проверки на термическую стойкость:

$$39,8 \text{ кА} > 10 \text{ кА}$$

Условие проверки выполняется.

6.3 Проверка кабельных линий на не возгорание

Значение температуры жилы до КЗ:

$$Q_n = Q_0 + (Q_{дд} - Q_{окр}) \times (I_{норм.расч} / I_{длит.доп}) = 36,72 \text{ °C} \quad (6.5)$$

Где Q_0 - фактическая температура окружающей среды во время КЗ

$Q_{дд}$ - расчётно длительно допустимой температуры жилы

$Q_{окр}$ - значение расчетной температуры окружающей среды

Значение температуры после КЗ:

$$Q_k = Q_n \times \exp(K) + a(\exp(x) - 1) = 54.7^\circ\text{C} \quad (6.6)$$

Где а-величина обратная коэффициенту электрического сопротивления при 0°C, равная 228Qк

б- Характеризующая теплофизические характеристики материала жилы, для алюминиевой жилы равна 45,65

Предельно допустимая температура нагрева кабеля с полиэтиленовой изоляцией при коротких замыканиях составляет 250 градусов Цельсия.

$$Q > Q_k$$

$$250^\circ\text{C} > 54.7^\circ\text{C}$$

Условие проверки кабеля на возгорания выполняются.

6.4 Проверка кабельных линий на потери напряжения

Проверка питающих линий по потери напряжений проверяется по формуле 6.7

$$\Delta U = \frac{P_{\text{пер}}(r_0 + tg\varphi) \times x_0}{n \times U_{\text{ном}}} = 11,2 \text{ В} \quad (6.7)$$

Где Pпер – передаваемая мощность с подстанции

r0 - активное сопротивление кабеля

tgφ - коэффициент реактивной мощности

x0 - индуктивное сопротивление

Uном - номинальное напряжение линии

n - количество токоведущих кабелей

Потери напряжения в конце кабельной линии в процентах от номинального напряжения определяют по формуле 6.8.

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \times 100\% = 2,8\% \quad (6.8)$$

Согласно ГОСТ 32144-2013 нормально допустимое отклонения напряжения на зажимах электроприёмника не должно превышать 5%.

$$\Delta U_{\text{норм}} > \Delta U(\%)$$

$$5\% > 2,8\%$$

Условие на потерю напряжения выполняется.[1]

7 Заземление, молниезащита, система уравнивания потенциалов

7.1 Заземление

Заземление — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством. [1]

Расчёт заземляющего устройства выполняется в соответствии с нормами технического проектирования по методике приведённой ниже.

Сначала определяется удельное сопротивление грунта в районе строительства.

$$\rho = \rho_{уд} \times \psi = 110 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (7.1)$$

Где $\rho_{уд}$ - удельное сопротивление грунта

ψ - коэффициент сезонного изменения удельного сопротивления

Сопротивление вертикального электрода определяется по формуле 7.2:

$$R_{в} = \left(\frac{0.366 \times \rho_0}{L} \times \lg \left(\frac{2L}{0.95d} \right) \right) + 0.5 \lg \left(\frac{4t + L}{4t - L} \right) = 25,54 \text{ Ом} \quad (7.2)$$

Где L -длина стержня, м;

d -внешний диаметр стержня;

t - Расстояние от поверхности земли до середины электрода;

Сопротивление горизонтального электрода

$$R_{\Gamma} = \left(0,366 \times \frac{\rho_0}{Ln}\right) \times \lg \left(2 \times \frac{Ln^2}{b \times t}\right) = 5,92 \text{ Ом} \quad (7.3)$$

где L_n - длина полосы, м

b -ширина полосы, м

t -расстояние от поверхности земли до полосы, м

Согласно нормам технического проектирование установим коэффициенты использования для вертикальных электродов 0,76, для горизонтальной полосы 5,64.[5]

Суммарное сопротивление вертикальных электродов:

$$R_{\text{в. сум}} = \frac{R_{\text{в}}}{n \times K_{\text{ив}}} = 4,8 \text{ Ом} \quad (7.4)$$

Суммарное сопротивление полосы:

$$R_{\Gamma. \text{ сум}} = \frac{R_{\Gamma}}{n \times K_{\text{ип}}} = 8,7 \text{ Ом} \quad (7.5)$$

Полное сопротивление:

$$R_{\text{з}} = \frac{R_{\text{в. сум}} \times R_{\Gamma. \text{ сум}}}{R_{\text{в. сум}} + R_{\Gamma. \text{ сум}}} = 3,1 \text{ Ом} \quad (7.6)$$

Сопротивление заземляющего устройства в любое время года не превышает 4 Ом, следовательно, удовлетворяет требованиям ПУЭ. И состоит из 4 электродов равномерно расположенных по периметру здания.

7.2 Молниезащита

Под молниезащитой понимается комплекс технических решений и специальных приспособлений. Основными элементами для внешней молниезащиты являются: молниеприемник, токоотвод, заземлитель.

Согласно РД 34.21.122-87 данное здание относится к III категории надёжности. Из этого следует, что молниеприемником может выступать металлическая крыша здания.

Токоотводы соединяются с наружным контуром заземления путём сварки.

Заземлителями являются внешние заземлители здания, что допустимо согласно инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений.

7.3 Система уравнивания потенциалов

Система уравнивания потенциалов (СУП) используется для того, чтобы обеспечить одинаковый электрический потенциал на всех способных накапливать заряд и проводить электрический ток элементах здания. Другими словами, требуется обеспечить эквипотенциальную поверхность. Если эта цель достигнута, то временное повышение потенциала в здании наблюдается сразу на всех предметах, благодаря чему исключается протекание опасных для человека и техники токов, либо возникновения искрения между разными элементами.[21]

Главной системой защиты здесь служит основная система уравнивания потенциалов (ОСУП). Уравнивание достигается с помощью подключения всех проводников на электрическом вводе к ГЗШ (главной заземляющей шине). Соединение обычно производится на ВРУ (вводном распределительном устройстве) либо в непосредственной близости специальном зажиме.

Элементы, которые требуется подключить к ГЗШ:

- магистральный заземляющий проводник;
- основные защитные проводники (РЕ, PEN);
- металлические трубы внутренних и внешних коммуникаций

в здании, а также проходящие между соседними зданиями (водопровод, канализация, газопровод);

- любые части строительных конструкций, выполненные из металлов (система молниезащиты, кондиционирования, вентиляции, другие централизованные системы);

Сечение проводников, подходящее для использование в ОСУП, должно быть минимум 6 мм^2

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа системы электроснабжения жилого общежития ТГУ было выявлено аварийное состояние системы электроснабжения. Основными проблемами системами являлись: аварийное состояние ВРУ, отсутствие кабельнесущих конструкций, разрушение изоляции, отсутствие маркировки проводов, внутри устройства, использованы разные марки устройств. Поэтому было принято решение о создании конструкторской документации для реконструкции системы электроснабжения.

Для расчета системы электроснабжения потребителей были определено количество мощность и коэффициенты использования потребителей. Следующим этапом потребители были объединены в группы, что позволило увеличить селективность системы. Далее для каждой группы рассчитаны мощность и токи, протекающие по системе силового питания потребителей, исходя из которых был выбран кабель ВВГнг-LS - 3x2,5мм².

По итогам сравнительного анализа источников света были выбраны светодиодные светильники. В программе «DIALuxEVO» был произведён расчет освещенности комнаты. Для этого была смоделирована жилая комната с примерной планировкой. В результате расчетов были установлено количество расположение светильников. Все светильники аналогично системе силового электроснабжения были разбиты на группы. Далее для каждой группы были рассчитаны электрические нагрузки на сеть освещения. Исходя из полученных данных был выбран кабель ВВГнг-LS - 3x1,5

Большое значение для системы на электроснабжения жилых зданий оказывает аварийное освещение. Хотя и номинальные мощности не большие, но они выделены в отдельную группу из-за строгих требований к времени работы во время нештатных ситуаций. Что бы обеспечить правильность работы системы аварийного освещения был выбран кабель ВВГнг-FRLS - 3x1,5мм², а также все щиты аварийного освещения были подключены к щиту автоматического ввода резерва.

Зная итоговую мощность и токи были рассчитано необходимое сечение кабеля для магистральных сетей и выбран кабель ВВГнг-LS 4x10мм². Также были определены составляющие ВРУ, а именно трансформаторы тока, предохранители, перекидные рубильники.

Исходя из мощностей всего объекта, был рассчитан кабель от понижающей подстанции до водного распределительного устройства. Он был проверен на термическую стойкость, не возгорание и на потери напряжения. В результате проверки был выбран кабель АВВГнг-LS 4x70мм².

Заключительным этапом был расчёт заземления. По итогам расчётов были выбраны заземлители и проверены на соответствие нормам ПУЭ. Также описана система молниезащиты и система уравнивания потенциала.

Исходя из выше сказанного, можно утверждать, что в результате была разработана конструкторская документация соответствующая нормам ЕСКД, ПУЭ и руководящим документам. Считаю, что цель бакалаврской работы достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок М. : Стандартинформ, 2006. 330 с.
2. ГОСТ 12.1.030-2001 Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление: введ. 2001-01-08. М.: Стандартинформ, 2001.
3. Электротехнический справочник. Практическое применение современных технологий / под ред. С.Л. Корякина-Черняка. СПб. : Наука и Техника, 2014. 592 с.
4. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М. : НЦ ЭНАС, 2004.
5. Шеховцев В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2016. 136 с.
6. Крючков И.П. Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учебное пособие для вузов. М. : Издательский дом МЭИ, 2016. 568 с.
7. Васильева Т. Н., Надежность электрооборудования и систем электроснабжения : учеб. пособие. М. : Горячая линия-Телеком, 2015. 152 с.
8. Хромоин П. К. Электротехнические измерения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2018. 288 с.
9. Синюкова Т. В. Электроснабжение: расчет токов короткого замыкания: метод. указания к практ. и курсов. Работам. Липецк : ЛГТУ. 2014.
10. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие. Москва : Инфра-М. 2017.
11. Митрофанов С. В. Моделирование в электроэнергетике : учебное пособие : учеб. пособие. Оренбург : ОГУ, 2015. 143 с.
12. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: учебник : учеб. пособие. М. : Форум, 2017. 450 с.
13. ГОСТ 31565-2012 Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. [Электронный ресурс]: введ. 01.01.2014. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101754> (дата обращения 10.03.19)

14. Wayne B. H. Handbook Of Electric Power Calculations, Third edition. USA, McGraw-Hill Education, 2016. 529 p
15. Patrick D. R. Electrical Distribution Systems, Second edition. USA, The Fairmont Press, 2017. 476 p
16. Sheldrake A. L. Handbook of Electrical Engineering edition India: John Wiley & Sons, 2017. 624 p.
17. Billings K. H. Switchmode Power Supply Handbook, Third edition. USA: McGraw-Hill Education, 2015. 849 p.
18. Любимова Н. Г. Экономика и управление в энергетике. Учебник для магистров : учеб. пособие. М. : Юрайт, 2017. 420 с.
19. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Москва: Форум. 2015. 86 с.
20. Вахнина В. В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения. Электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ. 2016. 78 с.
21. Кудрин Б. И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. Образования. М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 2-е изд., перераб. и доп. 352 с.
22. McPartland J. F., McPartland B.J., McPartland S.P. McGraw-Hill's Handbook of Electric Construction Calculations. - New York City: McGraw-Hill Professional Publishing, 2013. 320 с.
23. Самарская кабельная компания. Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания. – Самара., 2016. 76 с.
24. Автоматические выключатели [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель КЭАЗ – М., 2014. 69 с.
25. Кабышев А. В. Электроснабжение объектов: учебное. Томск: ТПУ. 2016. 187с.

26. Борисов Р. К. Заземляющие устройства электроустановок. Справочник. Москва: МЭИ. 2015. 325 с.

27. Косоухов Ф. Д. Энергосбережение в низковольтных электрических сетях при несимметричной нагрузке. Санкт-Петербург : Лань, 2016. 280 с.

28. Кузовкин В. А. Электротехника и электроника. учебник для бакалавров. Люберцы: Юрайт, 2016. 431 с.

29. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: учебное пособие, 2013. 319 с.

30. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие, 2014. 414 с.