

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 очистных сооружений
ООО «Тольяттикаучук»

Обучающийся

М.В. Удалов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Тольятти 2024

Аннотация

В рамках выпускной квалификационной работы, исследуется реконструкция системы электроснабжения очистных сооружений ООО «Тольяттикаучук». Целью данного исследования является выполнение модернизации иловой насосной станции №4 на третьей очереди очистки стоков очистных сооружений. В работе рассматривается замена силового оборудования, электродвигателей насосов, осветительной арматуры, а также выбор и замена трансформаторов, в процессе выполнения расчетов [5].

Очистные сооружения предприятия ООО «Тольяттикаучук» важны не только для самого предприятия, но и для городского округа, они играют большую роль в экологии района. Очистные сооружения ООО «Тольяттикаучук» были спроектированы Ростовским проектным институтом «Водоканал-проект» и первая очередь была запущена еще в 1961 году, вторая очередь – в 1967 году и третья – в 1975 году. Установка очистных сооружений служит для очистки стоков предприятий таких как: ООО «Тольяттикаучук» – 43,5% очищаемых стоков, «Куйбышевазот» – 3,5%, «Химзавод» – 0,1% и самый большой потребитель «Волжские коммунальные системы» – 52%. Среднесуточная нагрузка на очистные сооружения приходится около 80-90 тысяч кубометров, и пиковая нагрузка достигает в вечерние часы либо во время паводка 130 тысяч кубометров в сутки.

Объем данной выпускной квалификационной работы составляет 52 страницы. В неё также входят 6 таблиц и 7 рисунков. В графическую часть работы входит 6 чертежей.

Содержание

Содержание	3
Введение	4
1 Краткая характеристика объекта	5
1.1 Расчет электрических нагрузок	6
1.2 Расчёт осветительной нагрузки	17
2 Выбор схемы электроснабжения Иловой насосной станции №4	20
2.1 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов 6/0,4кВ.....	20
2.2 Расчёт экономической целесообразности замены трансформаторов и срока окупаемости.....	28
2.3 Расчет токов короткого замыкания	28
3 Реконструкция систем защиты и автоматики	35
4 Расчет заземления и молниезащиты.....	41
4.1 Расчет заземления.....	41
4.2 Расчет молниезащиты	46
Заключение	49
Список используемой литературы	51

Введение

Рассматриваемая в данной ВКР установка очистных сооружений, далее кратко установка НиОПСВ, была спроектирована Ростовским проектным институтом «Водоканал-проект». Очистные сооружения ООО «Тольяттикаучук» предназначены для очистки сточных вод жилых кварталов Центрального района Тольятти и предприятий северного промышленного узла нашего города. Сточные воды проходят несколько этапов очистки:

- механическая стадия, предназначена для очистки методом удаления крупной взвеси и мусора;
- биологическая очистка включает в себя активный ил – микроорганизмы, которые используют загрязнения в качестве источника питания;
- доочистка через песчаные фильтры предназначена для удаления из потока воды взвешенных частиц до 1 мм;
- обеззараживание с помощью реагентов.

Время полной очистки занимает примерно около 24 часов. После очистки сточные воды проходят контроль качества в лаборатории санитарно-экологического контроля. Сама Тольяттинская производственная площадка по сегодняшний день потерпела многократные реконструкции, расширения производств. В 2023 году было запущено производство щавелевой кислоты. Как следствие, возрастает количество стоков, и нагрузка на очистные сооружения возрастает. В данной ВКР речь пойдет о иловой насосной станции №4 по очистки стоков. Оборудование, находящееся в насосной станции, было смонтировано в 1975 году. Оно морально и физически устарело и требует модернизации. Проектом предусмотрена замена насосов и монтаж вспомогательных насосов, строительство дополнительного вторичного отстойника, замена осветительной аппаратуры. Также будет рассмотрена замена трансформаторов на подстанции №40, с которой запитана насосная станция №4.

1 Краткая характеристика объекта

На территории очистных сооружений расположены несколько сооружений. Перечень объектов представлен ниже:

- административно – бытовой корпус,
- слесарная мастерская,
- центральный диспетчерский пункт,
- иловая насосная станция,
- насосная станция перекачки стоков №1,
- насосная станция перекачки стоков №2,
- насосная станция перекачки стоков №3,
- иловая насосная станция №4 на 3 очереди,
- песчаные фильтры,
- насосная станция доочистки,
- аэротенки,
- механические грабли (МГ) 1, 2 очереди очистки,
- механические грабли (МГ) 3 очереди очистки.

Все эти объекты запитаны от подстанции ГПП-4 110/6 кВ. Подстанция является концевой и принадлежит предприятию ООО «Тольяттикаучук». Подстанция ГПП-4 построена в 1959 году. Она предназначена для обеспечения надежного и качественного снабжения электрической энергией установки НиОПСВ, а также для заводов промышленной зоны Тольятти.

С концевой подстанции ГПП-4 запитана двумя вводами подстанция 40 напряжением 6/0,4 кВ, которая в свою очередь питает двумя вводами по радиальной схеме иловую насосную станцию.

Так как иловая насосная станция №4 является важным объектом в цепочке очистки стоков, то и электроснабжение насосной должно соответствовать категории надежности электроснабжения. Иловая насосная станция относится к 1 категории по надежности электроснабжения.

Сооружение иловой насосной станции №4 является отдельно стоящим зданием, расположенным на территории установки НиОПСВ ООО «Тольяттикаучук». В здании располагается технологическое насосное оборудование, находящиеся на отметке минус 8,5 метров, гардеробная, санузел, электрощитовая, комната машиниста, хоз. помещение и тепловой пункт. Также в здании функционирует система приточно-вытяжной вентиляции.

1.1 Расчет электрических нагрузок

Для выбора оборудования иловой насосной станции №4, произведем полный подсчет нагрузок электрических. Ниже, в таблице 1, представлен перечень электрического оборудования иловой насосной станции №4 с указанием паспортной мощности этих электроприемников.

Таблица 1 – Перечень оборудования иловой насосной станции №4

Наименование узла	Наименование электроприемников	$P_{\text{пасп.}}$, кВт	Примечание
Иловая насосная станция №4	Дренажный насос №1	4	–
	Дренажный насос №2	4	–
	Насос иловый №1	160	–
	Насос иловый №2	160	–
	Насос перекачки дренажной воды №1	75	–
	Насос перекачки дренажной воды №2	75	–
	Тельфер электрический	6,6	ПВ = 25%
	Вытяжная система -1	4,5	–
	Приточная система -1	4,5	–
	Электрозатвор №1	1,5	–
	Электрозатвор №2	1,5	–
	Электрозатвор №3	1,5	–
	Электрозатвор №4	1,5	–
	Электрозатвор №5	1,5	–
	Электрозатвор №6	1,5	–
Электрозатвор №7	1,5	–	

Продолжение таблицы 1

Наименование узла	Наименование электроприемников	$P_{\text{пасп.}}$, кВт	Примечание
	Электрозатвор №8	1,5	–
	Рабочее освещение	3,5	–
	Аварийное освещение	0,5	–
Вторичные отстойники радиальные №4, №5	Илосос №1	1,5	–
	Илосос №2	1,5	–
	Щитовой затвор №1	1,3	–
	Щитовой затвор №2	1,3	–
	Ремонтное освещение	0,5	–
	Наружное освещение	2	–

Выполним подробное описание расчета электрических нагрузок для иловой насосной станции.

Во-первых, выполним приведение всех паспортных мощностей однофазных электроприемников длительного режима (ДР) к условной трехфазной мощности оборудования и электроприемников повторно-кратковременного режима (ПКР) к длительному режиму работы.

По следующей, ниже указанной формуле, приведем активную мощность электроприемника к длительному режиму приемника ПКР.

$$P_{\text{н}} = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пасп}}$ – паспортная мощность электроприемников, кВт;

ПВ – коэффициент продолжительности включения.

С помощью формулы (1), рассчитаем активную мощность электроприемника – тельфера электрического, находящегося в ПКР и приведем его мощность к длительному режиму:

$$P_{\text{н}} = 6,6 \cdot \sqrt{0,25} = 3,3 \text{ кВт.}$$

В следующем этапе работ, произведем расчет электрических нагрузок. Для этого выберем один электроприемник, например, электродвигатель

насоса илового АИР160М4, мощностью 160 кВт для того, чтобы произвести подробный расчет. Полученные в результате расчета данные будем сразу вносить в таблицу 2.

В первом столбце таблицы 2 указываем наименование электроприемника и его марку. Во втором столбце указываем количество заданных электроприемников, в приведенном случае, равным единице. В третьем столбце указываем мощность заданных электроприемников, а в четвертом столбце – суммарную мощность электроприемников данной подгруппы, количество которых и указано в втором столбце таблицы 2.

В столбце 5 таблицы 2 указывается величина m , определяющая количество эффективных электроприемников. Значение m рассчитывается по формуле (2) в соответствии с методикой расчета электрических нагрузок:

$$m = \frac{P_{\text{н наиб.}}}{P_{\text{н наим.}}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{н наиб.}}$ – это номинальное значение мощности электроприемника в насосной, имеющий наибольшее значение мощности в группе;

$P_{\text{н наим.}}$ – это номинальное значение мощности электроприемника в насосной, имеющий наименьшее значение мощности в группе.

Теперь определяем величину m , по формуле 2 и сразу занесем в пятый столбец таблицы 2 в соответствии с этим значением укажем одно из условий: больше трех; меньше или равно трем.

Для иловой насосной станции №4:

$$m = \frac{160}{1,5} = 106,6 > 3. \quad (3)$$

Из расчета видно следующее, что в пятый столбец таблицы 2 заносится числовое значение больше трех.

В шестой столбец таблицы 2 занесем величину коэффициента использования, который находится из справочных данных и в нашем случае имеет значение:

$$K_{\text{И}} = 0,75. \quad (4)$$

Седьмой столбец таблицы 2 заполняется аналогично, руководствуясь справочником, где указываются коэффициенты активной и реактивной мощностей, соответственно, $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$.

Восьмой и девятый столбцы таблицы 2 – это среднемесячная нагрузка, вычисление которой производит по формулам:

$$P_{\text{СМ}} = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (6)$$

где, $P_{\text{СМ}}$ – значения активной среднемесячной нагрузки, кВт;

$Q_{\text{СМ}}$ – значения реактивной среднемесячной нагрузки, квар.

Таким образом выполним расчет по формулам (5) и (6) для выбранного электроприемника:

$$P_{\text{СМ}} = 0,75 \cdot 160 = 120 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{СМ}} = 120 \cdot 0,57 = 68,4 \text{ квар}.$$

Полученные результаты занесем в восьмой и девятый столбцы таблицы 2, и на этом заканчиваем расчет для отдельных электроприемников.

В десятый столбец таблицы 2 вносится значение $n_{\text{Э}}$ – коэффициент эффективного числа электроприемников. Для его вычисления, необходимо произвести вычисление коэффициента пользования конкретного узла системы электроснабжения по формуле 7 [9]:

$$K_{и} = \frac{\Sigma P_{см}}{\Sigma P_{н}}, \quad (7)$$

где $\Sigma P_{см}$ – суммарное значение среднемесячной активной нагрузки данного узла системы электроснабжения;

$\Sigma P_{н}$ – итоговое значение номинальной активной мощности всех электрических приёмников данного узла системы электроснабжения.

Определим по формуле 7 значение коэффициента использования для узла системы электроснабжения – насосного отделения НиОПСВ ООО «Тольяттикаучук»:

$$K_{и} = \frac{371,26 \text{ кВт}}{505,6 \text{ кВт}} = 0,73. \quad (8)$$

Далее, «в соответствии с полученным значением коэффициента использования, найдем эффективное число ЭП. В следующем порядке, выбирается электроприёмник с самой высокой номинальной мощностью в заданном узле системы электроснабжения. Затем отбираем крупные электроприёмники, номинальная мощность каждого из которых составляет не менее половины мощности выбранного наибольшего силового электроприёмника. Для этих приемников вычисляются число n_1 и общая активная мощность $p_{н1}$ » [18].

«Согласно, полученным по формуле выше значением коэффициент использования $K_{и}$ меньше 2, исходя из этого получается, что эффективное количество электроприёмников в этом случае определяется в соответствии с нижеуказанной методикой. Если $K_{и}$ меньше 2, то означает, что эффективное число ЭП, определяется следующим образом» [3].

Выбирается наибольший по номинальной мощности электроприемник в рассматриваемом узле. «Согласно методике, нужно выбрать самые крупные

электроприёмники в узле, чья номинальная мощность, как правило, должна быть не меньше мощности самого мощного электроприёмника, для таковых подсчитываются значения n_1 и суммарная мощность p_{H1} » [3].

Далее, определяется общая номинальная мощность всех электроприёмников данного узла и вычисляются относительные значения, частное n_1 и n обозначается как n_{1*} , а частное p_{H1} и p_H как p_{1*} .

«Следующим этапом, по полученным значениям n_{1*} и p_{1*} , определяется $n_{э*}$, из этого следует, что $n_{э}$ равно $n_{э*}$ помноженное на n . Самый крупный электроприемник в узле – это насос иловый, насосной станции №4, его мощность составляет 160 кВт. Здесь же нужно выбрать и электроприёмники, номинальная мощность которых должна быть равна не меньше, чем половина от мощности наиболее крупного электроприемника» [3]. Для этого возвращаемся к таблице 1 с перечнем оборудования представленной выше и выбираем насосы перекачки дренажной воды, мощность каждого насоса составляет 75 кВт.

Получается, что в выбранном узле запитаны два иловых насоса мощностью по 160 кВт и два насоса перекачки дренажной воды мощностью по 75 кВт. Далее определяем значение n_1 , ссылаясь на методику расчета – количество крупных электроприемников в узле будет равно 4.

Исходя из выше указанного, суммарная мощность P_H этих электроприёмников равняется 470 кВт.

Далее необходимо произвести расчет и определить относительные значения n_{1*} и p_{1*} , для этого необходимо придерживаться установленной методики при выполнении вычисления итогового количества всех ЭП в данном узле и определить значение всех номинальных мощностей электроприёмников этого узла. Согласно вышеизложенному, n_{1*} будет равно числу 0,23, а p_{1*} равно числу 0,93. Далее по семействам кривых эффективного числа электроприёмников, определяем значение $n_{э*}$ равное числу 0,2 [17]. Получается, что число эффективных электроприемников $n_{э}$ будет равно 3.

Далее, «зная данные можем заполнить графу 11, в представленной ниже таблице 2 для расчета нагрузок иловой насосной станции. В числителе необходимо указать коэффициент максимума $K_{ма}$ – для активной мощности, а в знаменателе коэффициент $K_{мр}$ – для реактивной мощности. Коэффициент $K_{ма}$ для данного узла определяется с помощью таблицы, где посредством использования таблицы определения $K_{ма}$, зависимость коэффициента $K_{и}$ от $n_{э}$ » [2].

Руководствуясь таблицей коэффициентов расчётных нагрузок определяем коэффициент $K_{ма}$, значение которого будет равно числу 1,23. «Следующим этапом, зная количество эффективных электроприёмников в узле, необходимо произвести расчет максимального коэффициента расчетной реактивной мощности. Для узла, коэффициент $K_{мр}$ согласно методике, получается равным числу 1,1» [3].

Следующим этапом выполняем вычисление расчётной мощности для узла. Согласно представленным ниже формулам (6), (7) и (8) можем рассчитать расчётные активную, реактивную и полную мощности соответственно:

$$P_p = K_{ма} \cdot P_{см}, \quad (6)$$

$$Q_p = K_{ма} \cdot Q_{см}, \quad (7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (8)$$

где $K_{ма}$ – коэффициент максимума для активной мощности;

$Q_{см}$ – значение реактивная среднемесячной нагрузки;

$P_{см}$ – значение активной среднемесячной нагрузки;

P_p – расчетная активная мощность;

Q_p – расчетная реактивная мощность.

Все полученные данные заносятся в таблицу 2 расчета нагрузок иловой насосной станции, которая приведена ниже, в столбцы 12, 13 и 14 соответственно.

«Заключительным этапом согласно выполненного выше расчёта нагрузок, для данного узла, необходимо заполнить столбец 15 в таблице 2, представленной ниже. Для этого необходимо найти значение тока по узлу, которое определяется согласно приведенной формуле (9)» [19]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{нл}}, \quad (9)$$

где $U_{нл}$ – номинальное напряжение линии, кВ;

S_p – расчетная полная мощность, кВА.

На данном этапе, расчёт нагрузок без учета освещения для выбранного узла закончен. Ниже приведена таблица 2 по расчету нагрузок иловой насосной станции №4 на третьей очереди очистных сооружений, в которую внесены все полученные значения, после выполненных выше расчетов.

Далее, после заполнения таблицы 2, будет выполнен расчет осветительной нагрузки, а также выбор энергоэффективной осветительной арматуры.

Таблица 2 – Расчет нагрузок иловой насосной станции

Наименование узлов питания и электроприемников	Кол-во ЭП	Установленная мощность, $P_{ном.}$		m	$K_{и}$	$\frac{\cos\varphi}{tg\varphi}$	Среднесменная нагрузка		$n_{э}$	$\frac{Км а}{Км р}$	Расчетная нагрузка			$I_p, А$
		$P_{ном, кВт}$	$P_{ном\Sigma, кВт}$				$P_{см, кВт}$	$Q_{см, квар}$			$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	
Насосное отделение														
Дренажный насос 1	1	4	4	>3	0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	3	1,71	3	$\frac{1,23}{1,1}$	456,64	264,63	527,78	762,7
Дренажный насос 2	1	4	4		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	3	1,71						
Насос иловый 1	1	160	160		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	120	68,4						
Насос иловый 2	1	160	160		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	120	68,4						
Насос перекачки дренажной воды 1	1	75	75		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	56,2	32						
Насос перекачки дренажной воды 2	1	75	75		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	56,2	32						
Тельфер электрический	1	6,6	6,6		0,07	$\frac{0,5}{1,73}$	0,46	0,79						
ВС-1	1	4,5	4,5		0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	2,92	2,19						
ПС-1	1	4,5	4,5		0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	2,92	2,19						

Продолжение таблицы 2

Наименование узлов питания и электроприемников	Кол-во ЭП	Установленная мощность, $P_{ном.}$		m	$K_{и}$	$\frac{\cos\varphi}{tg\varphi}$	Среднесменная нагрузка		$n_{э}$	$\frac{K_{м а}}{K_{м р}}$	Расчетная нагрузка			I_p, A
		$P_{ном,}$ кВт	$P_{ном\Sigma,}$ кВт				$P_{см,}$ кВт	$Q_{см,}$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	
Насосное отделение														
Электрозатвор 1	1	1,5	1,5	>3	0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72	3	$\frac{1,23}{1,1}$	456,64	264,63	527,78	762,7
Электрозатвор 2	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 3	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 4	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 5	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 6	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 7	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Электрозатвор 8	1	1,5	1,5		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,82	0,72						
Узел системы электроснабжения – насосное отделение	–	–	505,6	>3	0,73	–	371,26	215,15	3	$\frac{1,23}{1,1}$	456,64	264,63	527,78	762,7

Продолжение таблицы 2

Наименование узлов питания и электроприемников	Кол-во ЭП	Установленная мощность, $P_{ном.}$		m	$K_{и}$	$\frac{\cos\varphi}{tg\varphi}$	Среднесменная нагрузка		$n_{э}$	$\frac{Kм а}{Kм р}$	Расчетная нагрузка			I_p, A
		$P_{ном.}, кВт$	$P_{ном\Sigma}, кВт$				$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, квар$			$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$	
Вторичные отстойники радиальные №4, №5														
Илосос 1	1	1,5	1,5	>3	0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	1,12	0,63	1	$\frac{1,46}{1,1}$	5,34	3,65	6,46	9,33
Илосос 2	1	1,5	1,5		0,75	$\frac{0,82}{0,57}$	1,12	0,63						
Щитовой затвор 1	1	1,3	1,3		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,71	0,62						
Щитовой затвор 2	1	1,3	1,3		0,55	$\frac{0,75}{0,88}$	0,71	0,62						
Узел системы электроснабжения - вторичные отстойники радиальные №4, №5	—	—	5,6	>3	0,65	—	3,66	2,5	1	$\frac{1,46}{1,1}$	5,34	3,65	6,46	9,33
Узел системы электроснабжения – иловая насосная станция №4	—	—	511,2	—	—	—	374,92	217,65	—	—	461,98	268,28	534,24	772,03

1.2 Расчёт осветительной нагрузки

Следующим этапом, для завершения расчета электрических нагрузок, выполнен расчёт осветительной нагрузки иловой насосной станции №4.

В иловой насосной станции площадь которой составляет 288 м² реализовано рабочее и аварийное освещение, а также ремонтное освещение на вторичных радиальных отстойниках [20].

Ниже представлена осветительная арматура, применяемая на предприятии ООО «Тольяттикаучук»:

- лампа ртутная, газоразрядная (ДРЛ) мощностью 125 Вт, фирмы «Philips»;
- лампа дуговая, ртутно-вольфрамовая (ДРВ) мощностью 250 Вт, фирмы «Integra Light»;
- светильник светодиодный «L-school», номинальной мощностью 18 Вт фирмы «LEDEL».

Руководствуясь данными, указанными выше, заполним сводную ведомость по осветительной нагрузке иловой насосной станции №4 очистных сооружений и введем полученные результаты в таблицу 3, приведенную ниже.

Таблица 3 – Расчет нагрузки освещения иловой насосной станции №4

Система освещения	Количество осветительной аппаратуры			P, кВт	Q, квар	S, кВА
	Параметры установки ДРЛ	Параметры установки ДРВ	Параметры люминесцентной установки			
	$\cos\varphi = 0,95$	$\cos\varphi = 0,95$	$\cos\varphi = 0,95$			
	$tg\varphi = 0,33$	$tg\varphi = 0,33$	$tg\varphi = 0,33$			
	$n = 1$	$n = 1$	$n = 2$			
	$P_{\text{лампы}} = 125 \text{ Вт}$	$P_{\text{лампы}} = 250 \text{ Вт}$	$P_{\text{лампы}} = 18 \text{ Вт}$			
Помещение насосной						
Рабочее	28	—	—	3,5	1,15	4,02
Аварийное	—	—	14	0,5	0,165	0,25
Вторичные отстойники радиальные №4, №5						
Наружное	—	8	—	2	0,66	1,31
Ремонтное	4	—	—	0,5	0,165	0,25
Всего	32	8	14	6,5	2,14	5,83

Вывод по разделу 1.

В разделе выполнено подробное описание (характеристика) объекта реконструкции, а также выполнен подробный расчет электрических нагрузок силового оборудования иловой насосной станции очистных сооружений ООО «Тольяттикаучук». Кроме этого, произведен расчет осветительной нагрузки, в результате которого выбраны количество и типы энергоэффективных ламп.

В этом разделе представлены две таблицы, в которых подробно указаны все полученные в ходе выполнения расчетов значения. Также выбрано оборудование иловой насосной станции №4:

- электродвигатель насоса илового марки ВАО2-280-М4 У3 160 кВт;
- электродвигатель насоса перекачки воды марки АИР-250-S4 75 кВт;
- щитовые затворы марки ГЗ-ОФ 5000/30 У1 1,5 кВт;
- электродвигатель насоса дренажного марки АИР-100-S2 У3 4 кВт;
- электродвигатели систем вентиляции марки АИР-51-4 У3 4,5 кВт.

2 Выбор схемы электроснабжения иловой насосной станции №4

Все промышленные организации получают электроэнергию, как правило, от энергосистемы районных понижающих электроподстанций, а именно электростанций на напряжение 6, 10, 35, а также 110 и 220 кВ. В электрическую схему электроснабжения предприятия ООО «Тольяттикаучук» входят 4 главных понизительных подстанции, около 50 понизительных подстанций и 250 распределительных пунктов.

Рассматривая различные виды внешнего электроснабжения, необходимо выбирать схемы на два напряжения, отвечающие надежности электроснабжения предприятий [16]. Радиальные схемы принято применять при нагрузках, расположенных в разных направлениях от источника питания, также при питании больших нагрузок. Например, насосные станции напряжением меньше 1000 В. Исходя из вышеизложенного, выбранная насосная станция №4 имеет радиальную схему питания от трансформаторной подстанции 6/0,4кВ.

2.1 Выбор типа, числа и мощности силовых трансформаторов 6/0,4кВ

Очень важным пунктом в реконструкции иловой насосной станции №4 является замена трансформаторов, установленных на комплектной трансформаторной подстанции №40, далее КТП-40.

Данные трансформаторы, марки ТМГ-1000/6/0,4 кВ были смонтированы в 1967 году, имеют большой износ, что в свою очередь требует больших затрат на обслуживание, а также не соответствуют необходимым параметрам при реконструкции насосной станции. Следующим пунктом, пользуясь методикой [3] и [8], будет выполнен выбор силовых трансформаторов согласно расчету. Необходимые для расчета значения нагрузок по иловой насосной станции №4 берутся исходя из расчетов, выполненных ранее.

Потребляемая мощность электрооборудования очистных сооружений, а именно, активная, реактивная и полная мощности приведены ниже:

- оборудование, установленное в иловой насосной станции №4 потребляет 461,98 кВт активной мощности, 268,28 квар – реактивной мощности и 534,24 кВА – полной мощности;
- освещение потребляет 6,5 кВт активной мощности, 2,14 квар – реактивной мощности и 5,83 кВА – полной мощности.

Итоговые значения расчетных мощностей получаются следующие:

- активной мощности 468,48 кВт,
- реактивной мощности 270,42 квар,
- полной мощности 540,07 кВА.

Рассчитаем полную мощность трансформаторов по формуле (10):

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (10)$$

где, $P_{p\Sigma}$ – номинальная активная мощность трансформатора, кВт;

K_3 – коэффициент загрузки силового трансформатора;

N_T – количество трансформаторов для данной категории.

Руководствуясь ПУЭ [13], найдем значения N_T и K_3 . Так как иловая насосная станция №4 3-й очереди, относятся к первой категории надежности электроснабжения, тогда коэффициент загрузки принимает значение от 0,6 до 0,7 и прямо пропорционален зависимости от возможности будущего расширения установки НиОПСВ предприятия ООО «Тольяттикаучук».

Выбираем значение коэффициента загрузки (примем K_3 равно 0,7), тогда, «количество трансформаторов N_T , для данной категории надежности электроснабжения, должно быть не менее двух» [1], а значит схема питания подстанции должна иметь два независимых источника питания. Таким образом, расчёт мощности КТП будет произведен по формуле 10:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{468,48}{0,7 \cdot 2} = 334,62 \text{ кВА.}$$

Выбираем ближайшую большую мощность трансформаторов КТП, которая составит 400 кВА. Следовательно, выбираем «два трансформатора мощностью по 400 кВА. Далее в представленной ниже таблице 4, приведены характеристики выбранных трансформаторов» [11].

Таблица 4 – Характеристики трансформатора

Наименование параметра	Значение параметра
Марка трансформатора	ТСЗ-400 6/0,4кВ
Мощность, кВА	400
Номинальное напряжение, кВ	6/0,4
Потери х.х., кВт	1,15
Потери к.з., кВт	4,3
Напряжение к.з., %	4
Ток х.х., %	0,5

Применяя формулы (11) и (12), определяются активные и реактивные потери в трансформаторах [12]:

$$\Delta P_T = N_T \cdot \Delta P_{\text{х.х.}} + K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}}, \quad (11)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot i_{\text{х.х.}} + K_3^2 \cdot u_{\text{к.з.}} \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (12)$$

где $\Delta P_{\text{х.х.}}$ – потери холостого хода трансформатора, кВт;

$\Delta P_{\text{к.з.}}$ – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

$i_{\text{х.х.}}$ – ток холостого хода трансформатора, А;

$u_{\text{к.з.}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, В.

«На основании данных в таблице 4 выполняются расчет активных и реактивных потерь в трансформаторе» [8]:

$$\Delta P_T = 2 \cdot 1,15 + 0,7^2 \cdot 4,3 = 4,41 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot 0,5 + 0,7^2 \cdot 4 \cdot \frac{400}{100} = 8,84 \text{ кВт.}$$

Далее по формулам (13) и (14) вычисляются нагрузки с учетом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (13)$$

где $P_{p\Sigma}$ – номинальная активная мощность трансформатора, кВт;

ΔP_T – расчетное значение активных потерь в трансформаторе.

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (14)$$

где $Q_{p\Sigma}$ – номинальная реактивная мощность трансформатора, квар;

ΔQ_T – расчетное значение реактивных потерь в трансформаторе.

Далее подставляются расчётные данные и определяется мощность с учетом потерь в трансформаторах по формулам:

$$P_p = 468,48 + 4,41 = 472,89 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = 270,42 + 8,84 = 279,26 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность во время минимальной нагрузки определяется по типовому графику нагрузок, формула (15) ниже:

$$Q_{min} = 50\% \cdot Q_p = 139,63 \text{ квар.} \quad (15)$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума по формулам (16) и (17) ниже:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}, \quad (16)$$

$$Q''_{э1} = \alpha \cdot P_p, \quad (17)$$

где α – расчетный коэффициент, соответствующий установленным предприятию условиям получения от энергосистемы мощностей;
 $Q_{сд}$ – реактивная мощность синхронных двигателей, генерируемая в сеть.

Чтобы произвести расчеты по данным формулам, «необходимо определить нормативный коэффициент капиталовложений. Согласно методике, нормативные коэффициенты устанавливаются отдельно в зависимости от отрасли промышленности и разнятся в диапазоне от 0,1 до 0,33. Следовательно, выбираем подходящий коэффициент для нашего предприятия» [7]. «Предприятие ООО «Тольяттикаучук» относится к химической промышленности, тогда коэффициент капиталовложений α будет равен числу 0,15. Значение $Q_{сд}$ определяется по методике и равно 0» [3].

Далее, применяя формулы (16) и (17) производится расчет с помощью найденных ранее параметров.

Обоснование экономическое реактивной мощности, значения в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{э1} = 279,26 - 0,7 \cdot 0 = 279,26 \text{ квар},$$

$$Q''_{э1} = 0,15 \cdot 472,89 = 70,93 \text{ квар}.$$

В связи с пониженным напряжением в часы максимальных нагрузок, можем принять соответственно меньшее из полученных значений:

$$Q_{э1} = 70,93 \text{ квар}.$$

Экономическое обоснование реактивной мощности и значения в режиме наименьших нагрузок по формулам (18) и (19) ниже [4]:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (18)$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{кд}} = Q_{\text{min}} - (Q_{\text{р}} - Q_{\text{э1}}). \quad (19)$$

где Q_{min} – мощность реактивной нагрузки предприятия в часы минимальной нагрузки энергосистемы;

$Q_{\text{кд}}$ – значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы.

Далее в приведенные формулы, подставляются известные значения и выполняется расчет:

$$Q'_{\text{э2}} = 139,63 + 0 = 139,63 \text{ квар},$$

$$Q''_{\text{э2}} = 139,63 - (279,26 - 70,93) = -68,7 \text{ квар}.$$

В связи с тем, что напряжение в часы минимальных нагрузок, может оказаться выше номинального, тогда принимаем следующее значение мощности:

$$Q_{\text{э2}} = 139,63 \text{ квар}.$$

Следующим этапом определяется мощность компенсирующих устройств по методике согласно формулам (20) и (21) ниже:

$$Q_{\text{ку.мах}} = 1,1 \cdot Q_{\text{р}} - Q_{\text{э1}}, \quad (20)$$

$$Q_{\text{min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (21)$$

где $Q_{\text{ку.мах}}$ – максимальная реактивная мощность компенсирующих устройств;

Q_{min} – реактивная мощность нерегулируемых компенсирующих устройств.

Далее рассчитывается реактивная мощность, которая должна быть передана, из сети 6 кВ в сеть 0,4 кВ и не компенсируется, согласно формулы (22) ниже:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - Q_{\text{р}} - Q_{\text{р}}\Sigma, \quad (22)$$

где $Q_{\text{эн}}$ – реактивная мощность, которая может быть передана в сеть и не компенсируется.

Реактивная мощность, которая может быть передана в сеть, рассчитывается по формуле (23):

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(N_{\text{т}} \cdot K_{\text{з}} \cdot S_{\text{н.т}})^2 - P_{\text{р}}^2 \Sigma}, \quad (23)$$

где $S_{\text{н.т}}$ – это полная мощность, которую может обеспечить ТП;
 $P_{\text{р}}^2 \Sigma$ – полная мощность нагрузки.

По формуле (24) определяется мощность устанавливаемых компенсирующих устройств, далее (КУ):

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_{\text{р}}\Sigma - Q_{\text{т}}, \quad (24)$$

где $Q_{\text{ку.н}}$ – значения мощности устанавливаемых компенсирующих устройств.

Подводя итог, согласно методике, по формуле (25), будет выполнен расчет мощности КУ, установленных на стороне 6 кВ:

$$Q_{\text{ку.в}} = Q_{\text{ку.мах}} - Q_{\text{ку.н}} - Q_{\text{р}}\Sigma, \quad (25)$$

где $Q_{\text{ку.н}}$ – значения мощности устанавливаемых компенсирующих устройств на стороне 6 кВ.

Следуя представленным выше расчетам, можно сделать вывод, что установка компенсирующих установок не целесообразна. Из расчетов определяется стоимость установки двухтрансформаторной КТП.

Учитывая, что иловая насосная станция №4 третьей очереди установки очистных сооружений запитывается кабельной линией напряжением 6 кВ. «Тогда, при выборе варианта КТП, для экономии материальных средств, необходимо выбрать тупиковую двухтрансформаторную КТП типа 6/0,4 кВ с кабельным вводом. Опираясь на каталоги производителей, выбирается комплектная подстанция марки 2КТП-400/6/0,4 кВ. Стоимость данной двухтрансформаторной комплектной подстанции и с учётом стоимости трансформаторов ТСЗ-400/6/0,4 кВ, составляет $K_{ТП}$ равно 390,607 тысяч рублей» [27].

Исходя из вышеизложенного руководствуясь формулой (26), следующим этапом рассчитывается значение затрат на установку КТП:

$$Z_{кТП1} = 0,15 \cdot 390,670 = 58,600 \text{ тыс. руб.}, \quad (26)$$

где $Z_{кТП1}$ – значения затрат на установку двухтрансформаторной КТП.

Так же по представленной выше методике, стоимость установки двухтрансформаторной комплектной подстанции 2КТП-630/6/0,4 кВ стоимостью 396,937 тысяч рублей составит:

$$Z_{кТП2} = 0,15 \cdot 396,937 = 59,540 \text{ тыс. руб.}, \quad (27)$$

Следовательно, исходя из рассчитанных значений денежных затрат на установку КТП, можно сделать вывод, что установка двухтрансформаторной КТП с трансформаторами ТСЗ-400/6/0,4 кВ считается экономически более выгодна, чем с трансформаторами 2КТП-630/6/0,4 кВ.

2.2 Расчёт экономической целесообразности замены трансформаторов и срока окупаемости

Следующим шагом будет выполнен подсчёт экономии на потерях холостого хода при замене трансформаторов с ТМГ-1000/6/0,4 кВ на 2ТСЗ-400/6/0,4 кВ.

Рассчитаем разницу потерь трансформаторов на холостой ход (х.х.). Выбранный трансформатор на 400 кВА имеет потери на х.х. равными 1,15 кВт. Так как трансформаторов 2 штуки, то потери – 2,30 кВт в час и, соответственно, два трансформатора на 1000 кВА, имеют потери на х.х. 2,94 кВт в час. Экономия электроэнергии за 24 часа составляет 15,36 кВт в сутки. Таким образом экономия на потерях х.х. в год составляет 5606,4 кВт в год. Далее, учитывая стоимость 1 кВт в час которая составляет 4,18 рублей, определяем суммарную экономию на потерях холостого хода в год которая составляет 23 434,75 рублей в год.

По заявленным производителем данным, срок службы 2КТП-400/6/0,4 кВ, составляет 25 лет. Срок окупаемости по указанным выше данным составляет около 16 лет. При установке 2КТП-400/6/0,4 кВ, экономия на потерях в год составляет 23 434,75 рублей в год.

Таким образом, исходя из вышеизложенного более выгодным в экономическом плане вариантом, в данном случае, будет установка двухтрансформаторной подстанции 2КТП-400/6/0,4 кВ.

2.3 Расчет токов короткого замыкания

Следующим этапом данной выпускной квалификационной работы будет выполнен расчет токов короткого замыкания по методике [3] и [15], для этого, ниже представлены рисунок 1 и рисунок 2. Расчет токов короткого замыкания будет выполнен в трех точках согласно схеме, изображенной на рисунке 1:

- к1 на контактах в распределительном устройстве,

- к2 на контактах в ЩС,
- к3 для наиболее мощного электродвигателя.

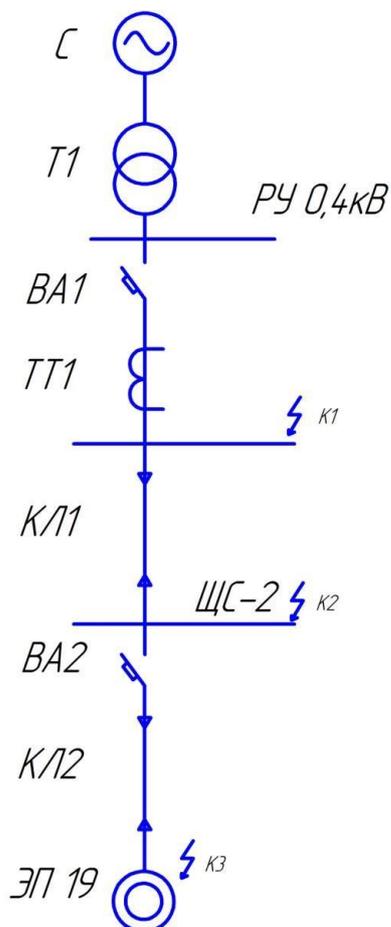


Рисунок 1 – Расчётная электрическая схема

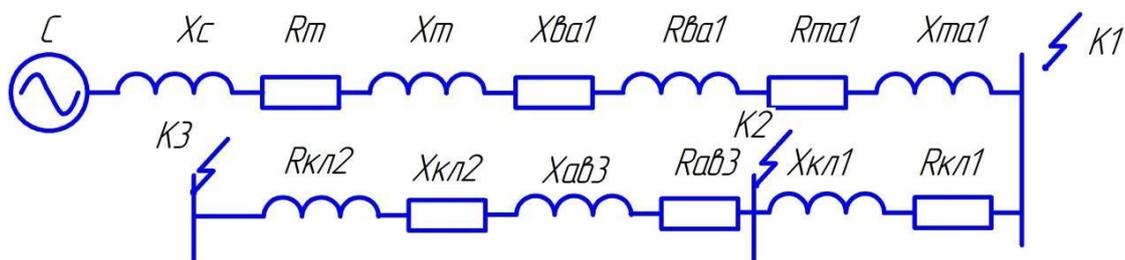


Рисунок 2 – Схема замещения

Расчет выполняется по следующей методике, согласно указанной ниже формуле (27):

$$X_c = \frac{(U_{\text{НН}})^2}{3I_{\text{отк.ном.}} \cdot U_{\text{ВН}}} 10^{-3}, \quad (27)$$

где X_c – значения сопротивления линии для участка цепи;

$U_{\text{НН}}$ – напряжение по низкой стороне трансформатора;

$U_{\text{ВН}}$ – напряжение по высокой стороне трансформатора.

Опираясь на формулу выше, подставляются известные данные и производится расчет:

$$X_c = \frac{(400)^2}{3 \cdot 65 \cdot 6,3} 10^{-3} = 0,13 \text{ мОм.}$$

Далее, опираясь на таблицу 5 с перечнем выбираемого оборудования и его параметрами, производятся расчеты.

Таблица 5 – Перечень выбираемого оборудования.

Наименование оборудования	Параметры									
	X_t , мОм	R_t , мОм	I_n , А	R_{ab1} , мОм	X_{ab1} , мОм	l , м	R_{ab2} , мОм	X_{ab2} , мОм	$R_{уд}$, мОм/м	$X_{уд}$, мОм/м
Трансформатор 2ТСЗ-400/6/0,4кВ	13,5	3,4	–	–	–	–	–	–	–	–
Автоматический выключатель	–	–	500	0,41	0,13	–	–	–	–	–
Автоматический выключатель	–	–	–	–	–	500	0,41	0,13	–	–
Кабель ВБбШВнг-А-(LS) 3×120-1×95	–	–	–	–	–	25	–	–	0,2	0

Следовательно, следующим этапом определяется сопротивление кабельной линии КЛ по формуле ниже:

$$R_{\text{кл}} = l \cdot R_{\text{уд}}, \quad (28)$$

где $R_{\text{кл}}$ – значения сопротивления кабельной линии;

l – длина кабельной линии, м;

$R_{\text{уд}}$ – удельное сопротивление кабельной линии.

Следовательно, получаем следующее:

$$R_{\text{кл}} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ кабель ВББШВнг-А-(LS) 3×120+1×95, длиной l равной 25 м, $R_{\text{уд}}$ равным 0,2 мОм/м, $X_{\text{уд}}$ равным 0 мОм/м. По той же формуле вычитываем сопротивление:

$$R_{\text{кл}} = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ мОм.}$$

Трансформатор тока шинный ТШП – 0,66/500/5, $R_{\text{та}}$ равное 0,05 мОм, $X_{\text{та}}$ равное 0,07 мОм.

Далее выполняется расчет токов трехфазного КЗ для участка К-1 по следующим ниже формулам (29), (30), (31):

$$R_{\Sigma\text{К}} = R_{\text{Т}} + R_{\text{АВ1}} + R_{\text{ТА1}}, \quad (29)$$

$$R_{\Sigma\text{К}} = 3,4 + 0,41 + 0,05 = 3,87 \text{ мОм,}$$

$$X_{\Sigma\text{К}} = X_{\text{С}} + X_{\text{Т}} + X_{\text{АВ}} + X_{\text{ТА}}, \quad (30)$$

$$X_{\Sigma\text{К}} = 0,13 + 13,5 + 0,13 + 0,07 = 13,84 \text{ мОм,}$$

$$Z_{\Sigma\text{К1}} = \sqrt{R_{\Sigma\text{К}}^2 + X_{\Sigma\text{К}}^2}, \quad (31)$$

$$Z_{\Sigma\text{К1}} = \sqrt{3,87^2 + 13,84^2} = 14,37 \text{ мОм.}$$

Далее вычисляется ток трёхфазного металлического короткого замыкания по формуле (32) ниже:

$$I_{\text{К1}}^3 = \frac{U_{\text{НН}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{К1}}}, \quad (32)$$

где $I_{\text{К1}}^3$ – ток трёхфазного металлического короткого замыкания;

$U_{\text{НН}}$ – напряжение по низкой стороне трансформатора.

Подставляются известные данные, тогда получаем следующее:

$$I_{K1}^3 = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 14,73} = 16,09 \text{ кА.}$$

Зная расчетные коэффициенты выполним расчет трехфазного дугового короткого замыкания по формулам (33), (34) приведенным ниже:

$$I_{KD}^3 = I_{KD1}^3 K_{C1} = 14,37 \cdot 0,65 = 10,46 \text{ кА}, \quad (33)$$

$$I_{KM}^3 = I_{KD1}^3 K_{C2} = 14,37 \cdot 0,56 = 9,44 \text{ кА}. \quad (34)$$

Теперь можем вычислить ударный ток короткого замыкания по следующей формуле (2.25), приведенной ниже:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = \frac{13,84}{3,87} = 3,57 \rightarrow K_{yK1} = 1,4,$$

$$I_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1}^3, \quad (35)$$

$$I_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 16,09 = 31,76 \text{ кА.}$$

По такому же принципу производится расчет трехфазного КЗ для участков К2 и К3. Далее, на основании полученных данных составляется таблица 5.

Следующим этапом выполняется расчет токов двухфазного КЗ для выбранного участка К1 по формулам ниже:

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{AB1} + R_{TA1}, \quad (36)$$

$$R_{\Sigma K1} = 3,4 + 0,41 + 0,05 = 3,87 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma K1} = X_T + X_{AB1} + X_{TA1}, \quad (37)$$

$$X_{\Sigma K1} = 13,5 + 0,13 + 0,07 = 13,8 \text{ мОм},$$

$$K_{\Sigma K1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}, \quad (38)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{3,87^2 + 13,8^2} = 17,1 \text{ мОм.}$$

Ниже выполнен расчет тока 2-х фазного металлического КЗ по формуле:

$$I^{c2}_{K1} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3}Z_{K1}}, \quad (39)$$

$$I^{c2}_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,1} = 14,3 \text{ кА.}$$

Далее выполняется расчет 2-х фазного, дугового короткого замыкания по формулам:

$$Z_{\Sigma K1} = 17,1 \text{ мОм} \rightarrow K_{C1} = 0,69; K_{C2} = 0,58$$

$$I^{c2}_{KD} = I^{c2}_{K1} K_{C2} = 14,3 \cdot 0,58 = 8,3 \text{ кА}, \quad (41)$$

$$I^{c2}_{KD} = I^{c2}_{K1} K_{C1} = 14,3 \cdot 0,69 = 9,87 \text{ кА}. \quad (42)$$

Аналогично производится расчет по остальным участкам КЗ и заносится в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов токов КЗ

Точки КЗ	Виды коротких замыканий									
	1 фазное КЗ			2-х фазное КЗ			3-х фазное КЗ			
	I _{км} , кА	I _{кднач} , кА	I _{кдуст} , кА	I _{км} , кА	I _{кднач} , кА	I _{кдуст} , кА	I _{км} , кА	I _{кднач} , кА	I _{кдуст} , кА	I _{уд} , кА
К1	–	–	–	14,3	9,87	8,3	16,09	10,46	9,44	31,76
К2	13,67	10	9,65	13,23	8,54	7,67	13,9	9,28	8,56	22,7
К3	6,32	5,38	4,02	6,42	4,78	3,68	7,42	5,01	4,78	10,22

Вывод по разделу 2.

В данном разделе была выбрана схема электроснабжения иловой насосной станции №4 третьей очереди очистки, находящейся на территории очистных сооружений ООО «Тольяттикаучук». Также определено количество и мощность питающих трансформаторов для надежной системы электроснабжения и марка этих трансформаторов.

Таким образом, в данном разделе был произведен расчет экономической целесообразности замены трансформаторов на новые более эффективные и современные. Выполнен расчет токов короткого замыкания на контактах в распределительном устройстве для наиболее мощного электроприемника, установленного в иловой насосной станции №4.

Исходя из выполненных расчетов, делаем вывод, что установка компенсирующих установок для оборудования в насосной станции нецелесообразна экономически. Также определили стоимость установки двух трансформаторной КТП. В данном случае, предприятие точно сосредоточено на реконструкции иловой насосной станции №4 на третьей очереди установки очистных сооружений ООО «Тольяттикаучук», которая питается от кабельной линии с напряжением 6кВ, то следует учитывать этот факт, при выборе варианта КТП.

Для экономии материальных средств, исходя из проведенных расчетов, будет использоваться двухтрансформаторная тупиковая КТП типа 6/0,4кВ с кабельным вводом.

Подводя итог делаем вывод, что из рассчитанных значений денежных затрат на установку КТП, установка двухтрансформаторной КТП с трансформаторами ТСЗ-400/6/0,4кВ экономически более выгодна, чем установка двух трансформаторной КТП с двумя трансформаторами 2КТП-630/6/0,4кВ.

3 Реконструкция систем защиты и автоматики

В данном разделе будет описываться реконструкция систем защиты и автоматики. Ранее, в данном тексте выпускной квалификационной работы уже упоминалось, что очистные сооружения ООО «Тольяттикаучук» были построены в 1961 году, а третья очередь была запущена в 1975 году. Иловая насосная станция №4 относится к третьей очереди, соответственно была построена в это же время и требует модернизации.

Оборудование, находящееся в иловой насосной станции №4 уже давно устарело, сюда же относится и система защиты и автоматики электродвигателей. Ниже будут выбраны и подробно рассмотрены системы микропроцессорных защит электродвигателей, а также автоматика. Для обеспечения надёжной эксплуатации электродвигателей, они должны оснащаться автоматическими защитами в необходимом объёме.

Современнейшие аппараты защиты электрических двигателей позволяют заранее предупреждать возникновение опасной ситуации. Электродвигателю требуется защита, если в сети, например, обнаруживаются резкие скачки, перекосы фаз, а также провалы фаз и работа двигателя зачастую с перегрузками. Автоматика защиты электродвигателя так же нужна при отсутствии нагрузки на роторе электрического двигателя, возможности склеивания фаз из-за разрушения изоляции, ну и наконец перегрузок, вызванных коротким замыканием. Различают несколько видов защит электродвигателя, такие как [6], [10]:

- защита от короткого замыкания,
- защита от перегрузок по току,
- защита от пониженного напряжения,
- защита от исчезновения напряжения,
- защита от тепловых перегрузок,
- защита от недогруза или обрыва фазы.

Защита электродвигателей в иловой насосной станции №4, выполнена на автоматических выключателях типа АП-50, АЕ202б, плавких вставок, в качестве тепловой защиты установлены тепловые реле ТРН-25, коммутационная аппаратура в виде пускателей ПМЕ-211, контакторы серии КТ6023. Данная аппаратура морально устарела и требует замены.

В качестве защиты для электродвигателей небольшой мощности, типа дренажных насосов №1 и №2 по 4 кВт, щитовых электродвигателей №1 и №2 по 1,5 кВт, ВС-1 и ПС-1 по 4,5 кВт выберем автоматические выключатели типа ВА фирмы АВВ, что даст надежную защиту и быстродействие.

Взамен тепловых реле серии ТРН-25 устанавливается монитор тока двигателя (МТД). МТД – это блок управления и защиты, который представляет из себя микропроцессорное устройство, выполняющее измерения токов, защитного отключения электрических двигателей при ненормальной работе оборудования, а также индикации режимов работы и ошибок, при которых произошло отключение оборудования. Это устройство (рисунок 3) надежно защищает электродвигатели и продлевает срок их службы [12].



Рисунок 3 – Монитор тока двигателя

Проектом предусмотрена установка устройств АПВ (рисунок 4), так как оборудование насосной станции должно работать непрерывно – без остановов. Реле автоматического повторного пуска предназначено для повторного включения электродвигателей вентиляционных систем и насосов. Внезапная остановка оборудования нежелательна, так как может привести к нарушениям технологического процесса. Распространённой причиной этих остановов являются кратко временные посадки напряжения в электросети, к сожалению, явление не редкое в наших электрических сетях.



Рисунок 4 – Реле повторного пуска РПП-2М

Ещё одним важным моментом считается установка преобразователей частоты для управления насосами иловыми №1 и №2 мощностью по 160 кВт каждый. Для этих целей выбраны преобразователи частоты (ПЧ) Danfoss VLT Automation Drive FC 302 160 кВт, внешний вид которых показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Преобразователь частоты Danfoss VLT
Automation Drive FC 302 160 кВт

ПЧ – это аппарат, который позволяет во время пуска электродвигателя (ЭДВ), удерживать параметры ЭДВ в безопасных режимах. Применение ПЧ помогает уменьшить пусковые токи, также снижает вероятность перегрева электродвигателя, убирает рывки в механической части привода, что в конце концов, помогает увеличить срок наработки не только электрического двигателя, но и всего насосного агрегата в целом [12].

Преобразователь частоты в применении совместно с насосом, дает возможность регулировать интенсивность работы агрегата, обеспечивать его стабильность и автоматизировать управление. Он позволяет настраивать

частоту напряжения так, чтобы была возможность увеличить эффективность, повысить экономичность. Главная задача насоса, работающего с частотным преобразователем – это обеспечение стабильного давления в системе водоснабжения. А если потребуются в связи с технологическим процессом понизить давление, то его можно снизить с помощью преобразователя частоты, что позволит экономить электроэнергию и правильно вести технологический процесс.

Преобразователи частоты фирмы Danfoss VLT Automation Drive, хорошо себя зарекомендовали в процессе эксплуатации на предприятии ООО «Тольяттикаучук». Они имеют все необходимые параметры настроек, большой срок службы, а также необходимый набор защит электродвигателя.

Для электродвигателей насосов перекачки дренажной воды №1 и №2 мощностью по 75 кВт каждый, выбираем устройства плавного пуска (УПП) Danfoss MCD201 75 кВт (рисунок 6). Так как для технологического процесса регулировка оборотов двигателя не важна, то переплачивать за ненужные функции преобразователей частоты нет смысла. УПП Danfoss MCD201 имеет многофункциональный дисплей, который позволяет производить настройки, считывать информацию об авариях, а также следить за параметрами электродвигателя в реальном времени, что очень удобно.



Рисунок 6 – Устройство плавного пуска Danfoss MCD201 75 кВт

Вывод по разделу 3.

В разделе данной выпускной квалификационной работы было подробно описано и выбрано оборудование систем защиты и автоматики для защиты электродвигателей иловой насосной станции №4. Выбранное оборудование позволит надежно защитить электродвигатели от нештатных рабочих ситуаций, а также позволит автоматизировать рабочий процесс. В связи с вышеизложенным делаем вывод, что преобразователь частоты в применении совместно с насосом, дает возможность не только регулировать интенсивность работы агрегата, но и обеспечивает его стабильность во время работы, а также автоматизировать управление.

4 Расчет заземления и молниезащиты

4.1 Расчет заземления

«В данном разделе выпускной квалификационной работы, производится расчет защитного заземления. Заземлением называется намеренное соединение части электроустановки с землей с помощью заземляющего устройства, выполненного из заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлитель – это металлический проводник или группа проводников, находящихся в грунте. Заземляющий защищенный проводник – это проводники металлические, заземляемые части электроустановок, соединяющие с заземлителем» [13], [14]. Три вида заземления различается:

- защитное,
- рабочее,
- грозозащитное.

Естественные и искусственные используются для заземления заземлители. Как естественные заземлители применяют уложенные в земле разные металлоконструкции, водопроводные и другие трубопроводы, состоящие из металла, за исключением трубопроводов с легко воспламеняемыми продуктами.

«Искусственными заземлителями могут использоваться части стальных труб, уголков и так далее с размером стенок не меньше 2 - 4 мм, либо стальной прут диаметр, которого не меньше 6 мм, так же пластины металлические. Руководствуясь ПУЭ, мы знаем, что все части металлические электроустановок, которые не под напряжением находятся, заземлятся должны в целях безопасности. Так же любое электрооборудование, имеющее металлический корпус, должны быть заземлены» [13].

«Сам расчёт защитного заземления включает в себя как определение типа, так и количества, следовательно, и места размещения, а также сечения заземлителей и заземляющих проводников. Так как сопротивление

прохождения электротока через заземлители напрямую зависят от типа грунта, в котором заземлитель располагается и соответственно глубины его заложения» [13].

«Качество грунта, также будет рассчитывается величиной удельного сопротивления, которая для разного вида грунтов, в зависимости от их происхождения, состава и состояния, колеблется в широких пределах» [13].

«Грунт может являться неоднородным, поэтому ПУЭ рекомендует рассчитывать нужное удельное сопротивление грунта по непосредственным измерениям на месте сооружения» [13].

«При этом так же нужно учитывать сезонность, так как колеблется показания удельного сопротивления грунта. Повышение сопротивления земли принимается введением в расчёт соответственно коэффициента сезонности K_c . Расчётное значение удельного сопротивления грунта $R_{расч}$, Ом·м определим по формуле (43)» [13]:

$$R_{расч} = R_{изм} \cdot K_c, \quad (43)$$

где $R_{изм}$ – это измеренное сопротивление грунта, 80 Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности, равный для нашей местности 1,5.

Коэффициент сезонности, равный для выбранной местности 1,5, из этого следует:

$$R_{расч} = 80 \cdot 1,5 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м/}$$

Из расчета понятно, что $R_{расч}$ для выбранной местности равно 120 Ом·м. Руководствуясь ПУЭ [13] делается вывод, что сопротивление заземляющего устройства в электроустановках 0,4кВ с глухозаземленной нейтралью не должно превышать больше 4 Ом, принимаем R_u равно R_z которое равно 4 Ом.

В качестве вертикальных заземлителей принимаем прут стальной диаметром d равным 12 мм, длиной прута l равным 3 м и расположенными на расстояние друг от друга около 3 м.

Следующим действием определяется сопротивление растеканию тока одиночного вертикального заземлителя по формуле (44):

$$R_B = \frac{0,366}{l} \cdot P_{\text{изм}} \cdot K_c, \quad (44)$$

где l – длина вертикального заземлителя;

K_c – коэффициент сезонности, равный для нашей местности 1,5;

$P_{\text{изм}}$ – это измеренное сопротивление грунта, 80 Ом·м.

Зная данные значений h равное 0,5 и l равное 2 метрам, что является суммой h и $l/2$, подставляются известные данные, и выполняется расчет согласно формуле ниже:

$$R_B = \frac{0,366}{3} \cdot 80 \cdot 1,5 \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,012} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 70 \text{ Ом},$$

Далее определяется количество вертикальных заземлителей, руководствуясь формулой (45):

$$n_B = \frac{R_B}{n_B R_3} = \frac{70}{0,8 \cdot 4} = 21,88 \quad (45)$$

Из расчета следует, что число вертикальных заземлителей выбирается равным 22 штуки. Тогда, согласно методике расчета, длина горизонтального заземлителя l_r будет равна 66 метров.

На рисунке 7 изображено расположение вертикальных заземлителей, установленных в заземляющем контуре насосной станции.

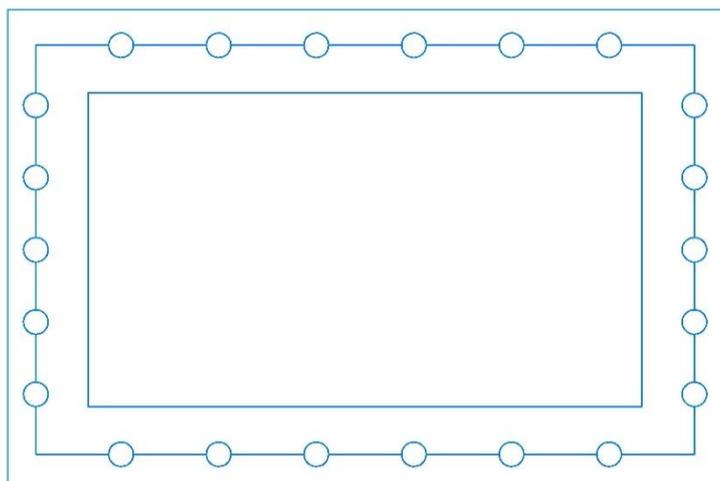


Рисунок 7 – Расположение заземлителей.

Следующим действием рассчитывается сопротивление растекания горизонтального заземлителя, которое можно произвести, руководствуясь формулой (46) ниже:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366}{l} \cdot P_{\text{изм}} \cdot K_c \cdot \lg \frac{2l}{d}, \quad (46)$$

где R_{Γ} – сопротивление растекания горизонтального заземлителя;

l – длина вертикального заземлителя;

$P_{\text{изм}}$ – измеренное сопротивление грунта, 80 Ом·м;

K_c – коэффициент сезонности, равный для нашей местности 1,5.

Подставляя известные данные, выполняется расчет согласно указанной выше формуле:

$$R_{\Gamma} = \frac{0,366}{66} \cdot 80 \cdot 1,5 \cdot \lg \frac{2l}{d} = 4,6 \text{ Ом.} \quad (47)$$

Следующим действием по формуле ниже, уточняется сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma}}{n_{\Gamma}} = \frac{4,6}{0,34} = 13,53 \text{ Ом.}$$

Далее необходимо найти сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления горизонтального заземлителя согласно ниже указанной формуле:

$$R_{\text{в}} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_3}{R_{\Gamma} + R_3} = \frac{18,4}{8,6} = 2,14 \text{ Ом,} \quad (48)$$

где, $R_{\text{в}}$ – сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления горизонтального заземлителя.

Из расчета выше делается вывод, что требуется установить в заземляющем контуре иловой насосной станции №4 третьей очереди вертикальные заземлители в количестве 22 штуки, длиной по 3 м каждый и диаметром 12 мм.

Заземлители следует установить на расстоянии друг от друга на расстоянии трех метров, при этом глубина установки относительно поверхности 0,5 м. Так же, все заземлители необходимо соединить горизонтальной полосой, длина которой составляет 66 м.

4.2 Расчет молниезащиты

Здания и сооружения, которые подлежат молниезащите, разделяются на несколько категорий согласно ПУЭ [13]:

- первая категория, к ней относятся здания и сооружения с зонами взрывоопасными классов В-1 и В-11
- вторая категория, сюда относятся здания и сооружения со взрывоопасными зонами В-1а, В-1, В-11а, В-1г;
- третья категория, сюда относят здания и сооружения, относящиеся к пожароопасным зонам классов П-1, П-2, П-11а, П-11б.

«Иловая насосная станция №4 на 3-й очереди установки очистных сооружений относится к третьей категории, здания и сооружения такой категории, защищают от прямых ударов молнии, как правило стержнем молниеприемником. Как стоящим отдельно, так и установленным непосредственно на самом защищаемом объекте.

Сам расчет защиты, как правило, от попадания молнии определяет зоны защиты и параметры молниеотвода. Выбираем высоту молниеотвода h равное 25м» [13].

Тогда согласно «инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений» [11], при высоте молниеотвода от 0 до 100 метров высота вершины конуса молниеотвода может быть рассчитана по формуле ниже:

$$h_0 = 0,85 \cdot h = 0,85 \cdot 25 = 21,25\text{м}, \quad (49)$$

где h_0 – значение высоты вершины конуса;

h – высота молниеотвода.

Радиус конуса молниеотвода тогда определим по следующей формуле:

$$r_0 = 1,2 \cdot h = 1,2 \cdot 25 = 30\text{м}, \quad (50)$$

где r_0 – значение радиуса вершины конуса;

h – высота молниеотвода.

Далее определяем предельное расстояние между стержневыми молниеприемниками по формуле ниже:

$$L_{max} = 5,75 \cdot h = 5,75 \cdot 25 = 143,75 \text{ м}, \quad (51)$$

где L_{max} – значение величины предельного расстояния между стержневыми молниеприемниками.

$$L_0 = 2,5 \cdot h = 2,5 \cdot 25 = 62,5 \text{ м}. \quad (52)$$

Следующей формулой определяем минимальную высоту зоны посередине между тросами молниеотводов:

$$h_c = \frac{L_{max} - L}{L_{max} - L_0} \cdot h_0 = \frac{143,75 - 60}{143,75 - 62,5} \cdot 21,25 = 21,89. \quad (53)$$

Далее определим максимальную полуширину зоны r_x в горизонтальном сечении на высоте h_x по формуле ниже:

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{30(21,25 - 15)}{30} = 6,25 \text{ м}, \quad (54)$$

где r_x – значение максимальной полуширины зоны в горизонтальном сечении;

r_0 – значение радиуса вершины конуса;

h_0 – значение высоты вершины конуса.

Если h_x меньше h_c , тогда L_x рассчитывается по формуле ниже:

$$L_x = \frac{L}{2} = \frac{60}{2} = 30 \text{ м}. \quad (55)$$

Теперь можем рассчитать ширину горизонтального сечения в центре между молниеотводами по представленной ниже формуле:

$$r_{cx} = \frac{r_0(h_c - h_x)}{h_c} = \frac{30(21,89 - 15)}{21,89} = 9,44 \text{ м}, \quad (56)$$

где r_0 – значение радиуса вершины конуса;

h_c – значение минимальной высоты зоны посередине между тросами молниеотводов.

Вывод по разделу 4.

В данном разделе выполнен расчет заземления, из которого принимается к установке в заземляющем контуре иловой насосной станции №4 вертикальные заземлители в количестве 22 штук длиной 3 м, диаметром 12 мм, установленные на расстоянии друг от друга около 3 метров, на глубине 0,5 м. Все они будут соединены горизонтальной полосой, длина которой составляет 66 м.

Также произведен расчет молниезащиты и, согласно этому расчету, иловая насосная станция №4, которая относится к третьей категории, в качестве молниезащиты устанавливаем два стержневых молниеотвода.

Заключение

В ходе выполнения расчетов в данной выпускной квалификационной работе, для реализации поставленной цели, было выполнено решение нескольких задач. В частности, при проектировании выбрано номинальное напряжение распределительных сетей очистных сооружений 6 кВ и 0,4 кВ.

«Произведен расчёт электрической нагрузки иловой насосной станции №4 установки очистных сооружений на предприятии ООО «Тольяттикаучук», включая расчёт нагрузок по силовому оборудованию и расчёт осветительной нагрузки, а также выбор оборудования насосной станции. Эта работа наглядно демонстрирует, целесообразность данной реконструкции в текущей ситуации предприятия. Также был произведен выбор трансформаторов для питания иловой насосной станции №4» [13].

Была выбрана комплектная двух трансформаторная тупиковая 2КТП с кабельным вводом марки 2КТП-400/6/0,4 КВА. В процессе выполнения ВКР так же мной были произведены расчёты и выбор трансформаторов с учётом компенсации комплектной трансформаторной подстанции 2КТП-400/6/0,4 КВА.

Очень важным вопросом, который давно обсуждается на предприятии ООО «Тольяттикаучук, является модернизация очистных сооружений. «Поэтому была рассмотрена возможность замены всех светильников и ламп осветительной аппаратуры иловой насосной станции на современную светодиодную аппаратуру. Данная реконструкция явно демонстрирует целесообразность, насколько данная реконструкция целесообразна в текущей ситуации предприятия» [16] ООО «Тольяттикаучук».

В рамках выпускной квалификационной работы была проведена модернизация релейной защиты, что является важным аспектом данного проекта. Для защиты электродвигателей были выбраны мониторы тока, устройства плавного пуска и частотные преобразователи для электродвигателей большой мощности.

Проведены расчеты затрат на модернизацию освещения и их сравнение с выгодой от проекта. Затраты на реконструкцию системы освещения предприятия составили 269,37 тысяч рублей, что позволит не только обеспечить надежную защиту электрооборудования, но и улучшить технологический процесс благодаря разнообразным настройкам и регулировкам выбранного оборудования.

После завершения данного проекта на установке очистные сооружения предприятия ООО «Тольяттикаучук», появится возможность сокращения расходов на электроэнергию, экономия будет окупать затраты за пять лет, что в принципе позволяет считать реконструкцию иловой насосной станции актуальной на данный момент.

В заключительной части выпускной квалификационной работы был проведен расчет заземления иловой насосной станции №4 на очистных сооружениях. Для этого были выбраны вертикальные и горизонтальные заземлители, обеспечивающие правильную конструкцию заземления. Также в заключительной части был выполнен расчет молниезащиты, в соответствии с действующей методикой.

Список используемой литературы

1. Афонин, В.В., Набатов К.А. Электрические станции и подстанции: учебное пособие в 3 частях. Часть 1. Тамбов: ТГТУ, 2015. 88 с.
2. Ваттана А.Б., Шапошникова Л.А. Электроснабжение металлургических предприятий, релейная защита силового электрооборудования. Москва: МИСиС, 2019. 64 с.
3. Вахнина, В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2016. 78 с.
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с.
5. Вахнина В.В., Самолина О.В. Положение о выпускной квалификационной работе бакалавров [Электронный ресурс]: учебное методическое пособие для студентов направления 140200 «Электроэнергетика». Тольятти: ТГУ, 2009. 15 с. URL: <https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/107/1/Вахнина%202-21-09.pdf> (дата обращения: 23.04.2024).
6. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем: учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика». Тамбов: ТГТУ, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.
7. Кулеева, Л.И., Митрофанов С.В., Семенова Л.А. Проектирование подстанции: методическое учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2016. 110 с.
8. Колюхова Е.А. Электроснабжение: учебник. Москва: МЭИ, 2019. 510 с.
9. Мельников М.А. Внутризаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: ТПУ, 2014. 180 с.
10. Немировский, А.Е., Сергиевская И.Ю., Крепышева Л.Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учебное пособие. Москва: Инфра-Инженерия, 2020. 171 с.

11. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебное пособие. Москва: ФОРУМ, 2018. 416 с.
12. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс]: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 396 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/303443> (дата обращения: 15.04.2024).
13. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Москва: Энергия, 2021. 648 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Москва: ИНФРА-М, 2018. 261 с.
15. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания - М.: Энергия, 2018. 69 с.
16. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750кВ: утверждено приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 288 Министерство энергетики Российской Федерации. Москва: ЭНАС, 2017. 78 с.
17. Сазыкин В.Г. Проектирование систем электроснабжения. Проектирование электрических нагрузок. учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2019. 102 с.
18. Сумаркова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
19. Фролов Ю. М., Шелякин В. П. Основы электроснабжения: учебное пособие. Москва: Лань, 2018. 480 с.
20. Шеховцов В.Н. Осветительные установки промышленных и гражданских предприятий [Электронный ресурс]: учебное пособие. Москва: Форум, 2019. 156 с. URL: <https://ibooks.ru/bookshelf/361466/reading> (дата обращения: 15.04.2024)