

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 ремонтно-инструментального  
производства АО «ВИС»

Студент

А.Д. Безруков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. О.В. Самолина

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы является «Реконструкция системы электроснабжения ремонтно-инструментального производства АО «ВИС»».

Главной задачей квалификационной работы будет реконструкция системы электроснабжения с целью уменьшения затрат на энергетическую часть производства, перенос оборудования с целью повышения эффективности рабочих операций, замена устаревших проводов, кабельных линий и использование современных решений для системы электроснабжения.

Объектом проектирования являются силовые и распределительные сети электроснабжения и подключения электрооборудования ремонтно-инструментального производства.

Предметом проектирования является аналитический расчёт силовых и осветительных сетей и практический выбор токоведущих частей, коммутирующих защитных аппаратов, распределительных устройств.

Актуальность темы обусловлена разработкой более экономичного варианта производства в общей совокупности и перемещением оборудования для осуществления большей производительности и удобства работ, производимых персоналом.

## Содержание

Введение.....	4
1 Обоснование актуальности реконструкции.....	6
1.1 Характеристика объекта проектирования.....	6
1.2 Выбора рода тока, напряжения, обоснование выбора схемы распределительной сети.....	7
2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок.....	9
3 Расчёт осветительной нагрузки.....	17
4 Компенсация реактивной мощности.....	23
5 Выбор трансформаторной подстанций с учетом компенсации реактивной мощности, выбор понизительной подстанции.....	25
6 Расчёт токов короткого замыкания.....	27
7 Расчёт и выбор высоковольтного кабеля.....	33
8 Расчет заземления зданий и сооружений объекта.....	35
9 Расчет релейной защиты и автоматики.....	37
Заключение.....	39
Список используемой литературы и используемых источников.....	41
Приложение А Расчёт электрических нагрузок.....	43
Приложение Б Расчёт аппаратов защиты и шинопроводов.....	45

## Введение

Современное предприятие не может обходиться без рабочего оборудования и станков. Любой станок в процессе его использования теряет свои первоначальные свойства из-за выработки внутренних компонентов. Для поддержания оборудования в рабочих кондициях их необходимо ремонтировать и обслуживать. Важнейшей задачей ремонтно-инструментального производства является поддержание и обеспечение основного предприятия, которое производит продукцию. Одним из условий является восстановление до уровня новых при наименьших затратах на ремонт. Для своевременного обеспечения основного производственного оборудования на предприятии и уменьшения времени, затрат и простоев, принято располагать производство с ремонтно-инструментальным уклоном. Такое производство будет являться очень важным, так как поддержание и обслуживание оборудования в рабочих кондициях без лишних задержек и посредников обеспечения работ, выгодно для предприятия по экономической составляющей.

В состав больших предприятий принято включать ремонтно-инструментальное производство для обеспечения бесперебойной работы, изготовления запасных частей оборудования, инструмента и обслуживание станков основных производств, которые ориентированы на изготовление продукции. Именно поэтому такое производство будет являться очень важным и необходимым на предприятии. Так как ремонтно-инструментальное производство находится на территории предприятия и нуждается в реконструкции только производство, то выбирается и рассчитывается только КТП, которое будет запитано от ГПП предприятия.

При реконструкции распределительных сетей возникают проблемы разумного демонтажа имеющегося оборудования, сохраняя часть оборудования, модернизируя его.

Разнообразие факторов, которые необходимо учитывать при проектировании электроснабжения производств разных отраслей промышленности, повышает требования к проектированию электрических сетей электроснабжения.

Исходными данными для ВКР служат:

- план размещения технологического оборудования цеха до реконструкции,
- установленные мощности электроприёмников,
- характеристика помещения: размеры цеха; виды освещения,
- краткие сведения и характеристика технологического процесса, электроприёмников, режим их работы, требования надёжности и бесперебойности электроснабжения.

# **1 Обоснование актуальности реконструкции**

## **1.1 Характеристика объекта проектирования**

Производственная реконструкция будет являться эффективной, нежели полное строительство производства, так как нецелесообразно по экономическим вложениям. При реконструкции переделывается основная часть, но с меньшими затратами и без строительства новых объектов [16].

Изменения, которые принесёт реконструкция производства:

- замена операций, производимых вручную на механическую работу оборудования либо полный автоматический процесс;
- использование современных материалов и разработок;
- применение высокоэффективных наработок технологических процессов;
- переработка организационного управления производством;
- наиболее рациональное и эффективное использование потенциала производства.

Ремонтно-инструментальное производство осуществляет важную роль в поддержании и работоспособности основных узлов предприятия. Назначение такого производства - это обеспечение и поддержание бесперебойной работы основных производств, изготовление инструмента, запасных частей, выполнение ремонтных работ, замена или модернизация узлов предприятия. Задания и производимые работы производства зависят от предприятия, обеспечение ремонта и других действий, направленных на производительность оборудования предприятия [8].

Замещение ручного труда и операций, производимых человеком на более эффективное оборудование, работающее в автоматических режимах, является одним из важнейших направлений предприятия, для обеспечения производительности. Для замещения человека на производстве, осуществление автоматизации процессов, требуются значительные

финансовые затраты. Полную автоматизацию реализовать будет экономически нерентабельно, поэтому осуществляется постепенная замена с расчётом на экономическую эффективность [8].

Реконструкция АО «ВИС» обусловлена:

- физическим и моральным износом токопроводов и аппаратов защиты,
- высокой загруженностью оборудования и персонала,
- перестановкой рабочего оборудования для сокращения временных перемещений между операциями,
- рациональное распределение места производства для улучшения производимых работ,
- внедрение современных решений электроснабжения производства.

## **1.2 Выбора рода тока, напряжения, обоснование выбора схемы распределительной сети**

Внутрипроизводственные электрические сети в большинстве случаев принято исполнять напряжением 220/380 В, особенностью является выполнение совместного питания осветительных и силовых электроприёмников, причём от сети 380 В будет запитана силовая нагрузка, а от сети 220 В осветительная нагрузка.

При выборе напряжения следует учитывать мощность, количество и расположение электроприёмников, возможность их совместного питания, а также технологические особенности производства [15].

На ремонтно-инструментальном производстве преобладают электроприёмники малой мощности, поэтому более выгодно использовать напряжение классом 220/380 В, с переменным током частотой 50 Гц.

Выбор способа выполнения силовой сети.

Существуют две преобладающие схемы распределения энергии - магистральная и радиальная, но не редко на различных ступенях электроснабжения используются схемы смешанного типа [15]. Относительно

питающего пункта использование той или иной схемы зависит от взаимного расположения подстанции или электроприёмников и их числа. Так же стоит учесть расход кабеля, себестоимость вариантов исполнения сети и др. Электроприёмники любой категории можно соотнести с обеими схемами питания.

Радиальная схема применима в тех случаях, когда оборудование располагается в разных точках от центра подачи питания.

В магистральных схемах распределение осуществляется от основного узла распределения питания или центра подачи питания напрямую к распределительным и трансформаторным подстанциям. Главное и существенное преимущество является в уменьшении коммутаций и числа распределения звеньев электроэнергии.

Целесообразно применять магистральные схемы при упорядоченном расположении подстанций на предприятии, а также при распределённых нагрузках. Такое условие поможет произвести наиболее прямое прохождение магистралей от источников питания до потребителя энергии без обратных потоков энергии и без длительных обходов.

Сочетание элементов радиальных и магистральных схем включаются в смешанные схемы.

Для электроснабжения ремонтно-инструментального производства выбрана магистральная система подключения. Так как на производстве равномерно распределена нагрузка электроприёмников и имеется трансформаторная подстанция на территории.

Вывод по разделу 1: рассмотрена актуальность производственной реконструкции, рассмотрена краткая характеристика производства, выбрана магистральная схема электроснабжения, принято к использованию напряжение классом 220/380 В, с переменным током частотой 50 Гц.



## 2 Расчёт ожидаемых электрических нагрузок

Данный расчёт предназначен для нахождения токов, проходящих по токоведущим частям, по условиям допустимости нагрева частей [6]. Для нахождения величины затрат в системе электроснабжения требуется произвести расчёт ожидаемых электрических нагрузок на производстве.

При реконструкции и расчёте нагрузок производства требуется учесть режим работы, напряжение, род тока, мощность и надёжность электропитания потребителей.

Расчёт будет выполнен методом коэффициента максимума, при этом необходимо все расчётные значения записываются в таблицу нагрузок, расчёт начинается с изучения распределительной сети, при необходимости выполняется схема разводки и подключения электрооборудования [6]. К каждому распределительному устройству может подключаться от одного до множества групп электроприёмников [6].

Таблица 2 - Перечень оборудования ШРА 1

Позиция оборудования	Наименование электроприемников	Количество электроприемников	Единичная мощность электроприемника	Коэффициент использования	Коэффициент мощности	Тангенс потерь
		n, шт	P, кВт	$K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	2	3	4	5	6	7
1	Станок расточный	8	10	0,17	0,5	1,73
3	Ленточнопильный станок	1	5	0,55	0,75	0,88
4	Станок долбежный	9	0,55	0,55	0,75	0,88
6	Станок горизонтально-расточный	1	15	0,17	0,5	1,73

Номинальная мощность для каждой группы потребителей  $P_{\text{НОМ.}n}$ , кВт:

$$\begin{aligned}P_{\text{НОМ.}n} &= P_{\text{НОМ.}} \cdot n, & (1) \\P_{\text{НОМ.}1} &= 10 \cdot 8 = 80 \text{ кВт} \\P_{\text{НОМ.}3} &= 5 \cdot 1 = 5 \text{ кВт} \\P_{\text{НОМ.}4} &= 0,55 \cdot 9 = 4,95 \text{ кВт} \\P_{\text{НОМ.}6} &= 15 \cdot 1 = 15 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Активная среднесменная мощность для каждой группы потребителей  $P_{\text{СМ.}n}$ , кВт:

$$\begin{aligned}P_{\text{СМ.}n} &= P_{\text{НОМ.}1} \cdot K_{\text{и}}, & (2) \\P_{\text{СМ.}1} &= 80 \cdot 0,17 = 13,6 \text{ кВт} \\P_{\text{СМ.}3} &= 5 \cdot 0,55 = 2,75 \text{ кВт} \\P_{\text{СМ.}4} &= 4,95 \cdot 0,55 = 2,72 \text{ кВт} \\P_{\text{СМ.}6} &= 15 \cdot 0,17 = 2,55 \text{ кВт}\end{aligned}$$

Реактивная среднесменная мощность для каждой группы потребителей  $Q_{\text{СМ.}n}$ , кВАр:

$$\begin{aligned}Q_{\text{СМ.}n} &= P_{\text{СМ.}n} \cdot \text{tg}\varphi, & (3) \\Q_{\text{СМ.}1} &= 13,6 \cdot 1,73 = 23,53 \text{ кВАр} \\Q_{\text{СМ.}3} &= 2,75 \cdot 0,88 = 2,42 \text{ кВАр} \\Q_{\text{СМ.}4} &= 2,72 \cdot 0,88 = 2,39 \text{ кВАр} \\Q_{\text{СМ.}6} &= 2,55 \cdot 1,73 = 4,41 \text{ кВАр}\end{aligned}$$

Расчёт нагрузки распределительного шинпровода (ШРА1).

Количество электроприёмников ШРА1  $n_{\text{ШРА}}$ , шт:

$$n_{\text{ШРА}} = \sum_1^n n^n, \quad (4)$$

$$n_{\text{ШРА}} = 8 + 9 + 1 + 1 = 19 \text{ шт}$$

Номинальная суммарная мощность для ШРА  $P_{\text{ном.шра}}$ , кВт:

$$P_{\text{ном.шра}} = \sum_1^n P_{\text{ном}}, \quad (5)$$

$$P_{\text{ном.шра}} = 80 + 4,95 + 5 + 15 = 104,95 \text{ кВт}$$

Активная среднесменная мощность для ШРА  $P_{\text{см.шра}}$ , кВт:

$$P_{\text{см.шра}} = \sum_1^n P_{\text{см}}, \quad (6)$$

$$P_{\text{см.шра}} = 13,6 + 2,75 + 2,72 + 2,55 = 21,62 \text{ кВт}$$

Реактивная среднесменная мощность для ШРА  $Q_{\text{см.шра}}$ , кВАр:

$$Q_{\text{см.шра}} = Q_{\text{см.1}} + Q_{\text{см.3}} + Q_{\text{см.4}} + Q_{\text{см.6}}, \quad (7)$$

$$Q_{\text{см.шра}} = 23,53 + 2,42 + 2,39 + 4,41 = 32,75 \text{ кВАр}$$

Показатель силовой сборки для ШРА  $m$ :

$$m = \frac{P_{\text{см.пр}}}{P_{\text{ном.пр}}}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{ном.макс}}$  - мощность наибольшего номинального по мощности электроприёмника, кВт;

$P_{\text{ном.мин}}$  - мощность наименьшего номинального по мощности электроприёмника, кВт.

$$m = \frac{15}{0,55} = 27$$

Коэффициент использования для ШРА  $K_{и.шра}$ :

$$K_{и.шра} = \frac{P_{см.шра}}{P_{ном.пр}}, \quad (9)$$
$$K_{и.шра} = \frac{21,62}{104,95} = 0,21$$

Тангенс потерь средневзвешенный для ШРА  $tg\varphi_{шра}$ :

$$tg\varphi_{шра} = \frac{Q_{см.шра}}{P_{см.шра}}, \quad (10)$$
$$tg\varphi_{шра} = \frac{32,75}{21,62} = 1,51$$

Средневзвешенный коэффициент мощности  $\cos\varphi_{шра}$ , соответствующий  $tg\varphi_{шра}$ :

$$\cos\varphi_{шра} = 0,55$$

Эффективное число электроприёмников  $n_э$ , шт:

$$n_э = n, \quad (11)$$
$$n_э = 19 \text{ шт}$$

Коэффициент максимума  $K_{макс}$  при  $n_э = 19$ ,  $K_{и} = 0,21$ :

$$K_{макс} = 1,5$$

Активная максимальная мощность для ШРА  $P_{макс.шра}$ , кВт:

$$P_{\text{макс.шра1}} = P_{\text{см.шра}} \cdot K_{\text{макс.шра}}, \quad (12)$$

$$P_{\text{макс.шра}} = 21,62 \cdot 1,5 = 32,43 \text{ кВт}$$

Реактивная максимальная мощность для ШРА  $Q_{\text{макс.шра}}$ , кВАр при  $n > 10$ , то  $Q_{\text{макс.}} = Q_{\text{см.}}$ :

$$Q_{\text{макс.шра}} = 32,75 \text{ кВАр}$$

Полная максимальная мощность для ШРА  $S_{\text{макс.шра}}$ , кВА:

$$S_{\text{макс.шра}} = \sqrt{P_{\text{макс.шра}}^2 + Q_{\text{макс.шра}}^2}, \quad (13)$$

$$S_{\text{макс.шра}} = \sqrt{32,43^2 + 32,75^2} = 46,09 \text{ кВА}$$

Максимальный ток шинпровода для ШРА  $I_{\text{макс.шра}}$ , А:

$$I_{\text{макс.шра}} = \frac{S_{\text{макс.шра1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (14)$$

$$I_{\text{макс.шра}} = \frac{46090}{\sqrt{3} \cdot 380} = 70,03 \text{ А}$$

По расчётным данным для ШРА-1 была выбрана шинпроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE, IP55,  $I_{\text{ном.}} = 70 \text{ А}$ , ВА 51-33,  $I_{\text{ном.}} = 160 \text{ А}$  [20].

Расчёт всех групп шинпроводов ШРА произведены аналогично, результаты расчётов занесены в таблицу А.1.

Расчёт магистрального шинпровода (ШМА).

Количество электроприемников ШМА1  $n_n$ , шт:

$$n = \sum_1^n n_n, \quad (15)$$

$$n = 19 + 18 + 10 + 13 + 12 + 12 = 84 \text{ шт}$$

Суммарная номинальная мощность для ШМА  $P_{\text{ном.шма}}$ , кВт:

$$P_{\text{ном.шма}} = \sum_1^n P_{\text{ном.}}, \quad (16)$$

$$P_{\text{ном.шма}} = 104,95 + 156 + 152 + 177 + 99 + 210 = 898,95 \text{ кВт}$$

Активная среднесменная мощность для ШМА  $P_{\text{см.шма}}$ , кВт:

$$P_{\text{см.шма}} = \sum_1^n P_{\text{см.}}, \quad (17)$$

$$P_{\text{см.шма}} = 21,62 + 26,52 + 47,12 + 30,09 + 38,88 + 35,7 = 199,93 \text{ кВт}$$

Реактивная среднесменная мощность для ШМА  $Q_{\text{см.шма}}$ , кВАр:

$$Q_{\text{см.шма}} = \sum_1^n Q_{\text{см.}}, \quad (18)$$

$$Q_{\text{см.шма}} = 32,75 + 44,93 + 55,33 + 52,05 + 25,77 + 50,34 = 256,17 \text{ кВАр}$$

Коэффициент использования для ШМА  $K_{\text{и.шма}}$ :

$$K_{\text{и.шма}} = \frac{P_{\text{см.пр}}}{P_{\text{ном.пр}}}, \quad (19)$$

$$K_{\text{и.шма}} = \frac{199,93}{898,95} = 0,22$$

Тангенс потерь средневзвешенный для ШМА  $\text{tg}\varphi_{\text{шма}}$ :

$$\text{tg}\varphi_{\text{шма}} = \frac{Q_{\text{см.шма}}}{P_{\text{см.шма}}}, \quad (20)$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{шма}} = \frac{256,17}{199,93} = 1,28$$

Коэффициент мощности  $\cos\varphi_{\text{шма}}$ , соответствующий  $\text{tg}\varphi_{\text{шма}}$  для ШМА:

$$\cos\varphi_{\text{шма}} = 0,62$$

Число эффективных электроприёмников для ШМА  $n_э$ , шт:

$$n_э = n, \quad (21)$$

$$n_э = 96 \text{ шт}$$

Коэффициент максимума для ШМА  $K_{\text{макс.}}$  при  $n_э = 96$ ,  $K_{\text{и}} = 0,22$ :

$$K_{\text{макс.}} = 1,12$$

Активная максимальная мощность для ШМА  $P_{\text{макс.шма}}$ , кВт:

$$P_{\text{макс.шма}} = P_{\text{см.шма}} \cdot K_{\text{макс.шма}}, \quad (22)$$

$$P_{\text{макс.шма}} = 199,93 \cdot 1,12 = 223,92 \text{ кВт}$$

Реактивная максимальная мощность для ШМА  $Q_{\text{макс.шма}}$ , кВАр при  $n > 10$ , то  $Q_{\text{макс}} = Q_{\text{см}}$ :

$$Q_{\text{макс.шма}} = 256,17 \text{ кВАр}$$

Полная максимальная мощность для ШМА  $S_{\text{макс.шма}}$ , кВА:

$$S_{\text{макс.шма}} = \sqrt{P_{\text{макс.шма}}^2 + Q_{\text{макс.шма}}^2}, \quad (23)$$

$$S_{\text{макс.шма}} = \sqrt{223,92^2 + 256,17^2} = 340,24 \text{ кВА}$$

Максимальный ток шинпровода для ШМА  $I_{\text{макс.шма}}$ , А:

$$I_{\text{макс.шма}} = \frac{S_{\text{макс.шма}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (24)$$
$$I_{\text{макс.шма}} = \frac{340240}{\sqrt{3} \cdot 380} = 516,94 \text{ А}$$

По расчётным данным был выбран магистральный шинопровод средней мощности «Canalis Schneider Electric» KS, 4 - проводниковая: L1, L2, L3, N, PE, IP55,  $I_{\text{ном.}} = 517 \text{ А}$ , а также автоматический выключатель ВА 51-37,  $I_{\text{ном.}} = 1000 \text{ А}$  [19].

Результаты занесены в таблицу А.1.

Вывод по разделу 2: в данном разделе произведён расчёт электрических нагрузок устанавливаемого оборудования на производстве, рассчитаны все необходимые величины для дальнейших расчётов и выборов защитных аппаратов, шинопроводов и др. По расчётным данным выбраны шинопроводные системы распределения энергии, как распределительные, так и магистральная.



### 3 Расчёт осветительной нагрузки

На зрительную работоспособность человека большое влияние оказывает искусственное освещение, а также на моральное и физическое состояние. Освещение на прямую влияет на производительность труда и качество продукции, в некоторых случаях оказывает влияние на травматизм.

Увеличение освещения повышает эффективность и качество работы, снижает утомляемость, ошибки, травмы и несчастные случаи [11]. Недостаточная освещенность подвергает к утомлению глаз, общему утомлению человека. В следствии ослабляется внимание, ухудшается координация движений, что может привести к несчастному случаю с некоторыми физическими нагрузками. Кроме того, работа в условиях недостаточной освещенности оказывает действие на развитие близорукости и других заболеваний, а также расстройствам нервной системы и получение травм [11].

Правильно рассчитанное и подобранное освещение будет благотворно влиять на общую производительность рабочего персонала, минимизирует негативное влияние слабой освещённости, что обеспечит повышенную производительность работ на производстве.

При расчёте искусственного освещения стоит решить следующие задачи: выбрать систему освещения, тип источника света, расположение ламп, провести расчет осветительной нагрузки и установить мощность осветительной установки.

Исходные параметры производства для расчётов:

- $U = 380/220$  В - напряжение питающей сети,
- $H = 8$  м - высота подвеса светильников,
- $A = 36$  м - длина производства,
- $B = 72$  м - высота производства,
- $E_n = 300$  лк - нормируемая освещённость.

Высота установки ламп над освещаемой поверхностью  $H_p$ , м:

$$H_p = H - (h_p + h_c), \quad (25)$$

$$H_p = 8 - (0,8 + 2,2) = 5 \text{ м}$$

Дистанция между рядами ламп  $L$ , м:

$$L = H_p \cdot \lambda, \quad (26)$$

где  $\lambda = 1,5$  - коэффициент, учитывающий целесообразное соотношение высоты подвеса лампы над рабочей поверхностью и дистанцию между рядами.

$$L = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ м}$$

Расстояние от крайнего ряда ламп до стены  $l$ , м:

$$l = 0,5 \cdot L, \quad (27)$$

$$l = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ м}$$

Число рядов ламп по ширине  $N_A$ , шт:

$$N_A = \frac{B-2l}{L} + 1, \quad (28)$$

$$N_A = \frac{36 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 12 \text{ шт}$$

Число рядов ламп по длине  $N_B$ , шт:

$$N_B = \frac{A-2l}{L} + 1, \quad (29)$$

$$N_B = \frac{72 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 24 \text{ шт}$$

Принято расстояние между светильниками 3м и расстояние от крайнего ряда светильников до стены 1,5м.

Число ламп для цехового помещения  $N_{\text{общ}}$ , шт:

$$N_{\text{общ}} = N_A \cdot N_B, \quad (30)$$

$$N_{\text{общ}} = 12 \cdot 24 = 288 \text{ шт}$$

Значение расчётного светового потока  $\Phi_{\text{р.}}$ , лм:

$$\Phi_{\text{р.}} = \frac{E_H \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z_{\text{min}}}{N_A \cdot N_B \cdot \eta}, \quad (31)$$

где  $K_3$  - коэффициент запаса,  $K_3 = 1,5$ ;

$Z$  - коэффициент, усреднения средней и минимальной освещённости,  $Z_{\text{min}} = 1,5$ ;

$\eta$  – коэффициент полезного действия лампы,  $\eta = 0,8$ .

$$\Phi_{\text{р.}} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 72 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{12 \cdot 24 \cdot 0,8} = 7594 \text{ лм}$$

Предварительно выбран светильник ASD SPO-101-2 с двумя лампами T8 PhilipsG5 мощностью 75Вт, со световым потоком 6225 лм [13].

Расчётное значение нормируемой освещенности  $E_{\text{р.}}$ , лк:

$$E_{\text{р.}} = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot E_H}{\Phi_{\text{р.}}}, \quad (32)$$

$$E_{\text{р.}} = \frac{2 \cdot 6225 \cdot 300}{7594} = 492 \text{ лк}$$

Проверка коэффициента запаса  $K_3$ :

$$K_3 = \frac{E_p}{E_n}, \quad (33)$$
$$K_3 = \frac{492}{300} = 1,6$$

Окончательно выбран и принят к установке светильник ASD SPO-101-2 с двумя лампами T8 PhilipsG5 мощностью 75Вт, со световым потоком 6225 лм [13].

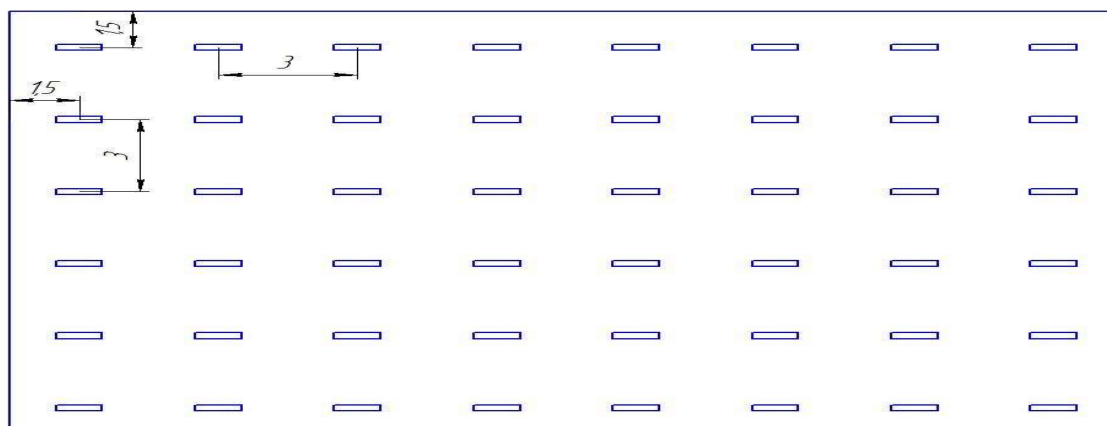


Рисунок 2 - Эскиз расположения светильников на производстве.

Исходные параметры светильников по производству:

- $U = 380/220$  В - напряжение питающей сети,
- $P_{л} = 75$  Вт - мощность одной лампы,
- $N_{общ} = 288$  - общее число светильников.

Расчёт мощности активной осветительной нагрузки  $P_{осв}$ , кВт:

$$P_{осв} = N_{общ} \cdot K_c \cdot K_{пра} \cdot P_{л} \cdot 10^{-3}, \quad (34)$$

где  $K_c$  – коэффициент светового потока,  $K_c = 0,95$ ;

$K_{пра} = 1,2$  – пускорегулирующий коэффициент аппаратуры.

$$P_{\text{осв}} = 288 \cdot 2 \cdot 0,95 \cdot 1,2 \cdot 75 \cdot 10 - 3 = 49,25 \text{ кВт}$$

Расчёт мощности реактивной осветительной нагрузки  $Q_{\text{осв}}$ , кВАр:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (35)$$

где  $\text{tg}\varphi = 0,363$  с учётом компенсации.

$$Q_{\text{осв}} = 49,25 \cdot 0,363 = 17,88 \text{ кВАр}$$

Расчёт мощности полной осветительной нагрузки  $S_{\text{осв}}$ , кВА:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (36)$$

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{49,25^2 + 17,88^2} = 53,40 \text{ кВА}$$

Расчёт максимального ток для освещения  $I_{\text{осв}}$ , А:

$$I_{\text{осв}} = \frac{S_{\text{осв}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (37)$$

$$I_{\text{осв}} = \frac{53400 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 113,59 \text{ А}$$

Определение защитной аппаратуры исходя из тока теплового расцепителя.

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{\text{т.р.}}$ , А:

$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot I_{\text{осв}}, \quad (38)$$

$$I_{\text{т.р.}} = 1,15 \cdot 113,59 = 130,63 \text{ А}$$

Выбран выключатель ВА51-33 с  $I_{\text{ном}} = 160\text{А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 160 \text{ А}$ .

Выбор сечения токоведущей жилы кабеля  $S$ , мм<sup>2</sup>:

$$S = 50 \text{ мм}^2 \text{ с } I_{\text{доп.}} = 150 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 130,63 \text{ А}$$

Подключение осветительного щитка выполнено кабелем ВВГнг 5×50 с  $I_{\text{доп.}} = 150 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 130,63 \text{ А}$  с медными жилами [3].

Расчёт активной мощности линии подключения светильников  $P_{\text{л}}$ , Вт

$$P_{\text{л}} = \sum P_{\text{ламп}}, \quad (39)$$

$$P_{\text{л}} = 24 \cdot 75 = 1800 \text{ Вт}$$

Расчётный тока для линии светильников  $I_{\text{л}}$ , А

$$I_{\text{л}} = \frac{\sum P_{\text{ламп}}}{U_{\text{ф}}}, \quad (40)$$

$$I_{\text{л}} = \frac{1800}{220} = 8,18 \text{ А}$$

Для линий подключения светильников выбран осветительный шинопровод «Басбар» E-Line КАМ-0205-B-STD,  $I_{\text{ном.}} = 25 \text{ А}$ , также приняты к установке 12 выключателей ВА51-25 на 10 А для защиты каждой линии [20].

Вывод по разделу 3: светильники РСП-400 с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт заменены на более эффективные, ASD SPO-101-2 с флуоресцентными лампами мощностью 75 Вт, что позволит сократить затраты электроэнергии до 45%, также выбраны автомат и кабель для защиты, и подключения осветительной нагрузки.

## 4 Компенсация реактивной мощности

Для одновременного на улучшение качества и экономии распределительных сетей при эксплуатации всей инфраструктуры городов производится компенсация реактивной мощности. Компенсирующие установки реактивной мощности позволяют снижать затраты электроэнергии для производственных систем и предприятий, что позволяет сэкономить большую часть бюджета и уменьшить траты электроэнергии.

Самым распространённым из методов компенсации реактивной мощности является установка компенсирующих установок. Они располагают большой выбор по диапазону выбора мощностей, легки в использовании и установке, обладают практически бесшумной работой, также имеют возможность установки в требуемых точках электрической сети.

Основополагающим при выборе компенсаторной установки для трансформаторов будет являться состояние энергосистемы производства, а также электрические параметры. В свою очередь это позволит выбрать более эффективное компенсирующее устройство и гарантирует надёжную и качественную работу.

Исходные параметры:

- $P_{см} = 320,22$  кВт - среднесменная активная мощность,
- $\alpha = 0,9$  - коэффициент учитывающий способ повышения  $\cos$ ,
- $\text{tg}\varphi = 0,363$  - рекомендуемое энергосистемой значение тангенса,
- $\text{tg}\varphi_1 = 1,08$  - средневзвешенный тангенс потерь.

Номинальная реактивная мощность установки  $Q_{к.р.}$ , кВАр:

$$Q_{к.р.} = P_{см} \cdot \alpha \cdot (\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi), \quad (41)$$

$$Q_{к.р.} = 320,22 \cdot 0,9 \cdot (1,08 - 0,363) = 206,64 \text{ кВАр}$$

Предварительно выбрана компенсирующая установка КРМ 0,4-225-25У3 [5].

Проверка на фактический  $\text{tg}\varphi$ :

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт.}} = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{\text{к.у.}}}{P_{\text{см}} \cdot \alpha}, \quad (42)$$
$$\text{tg}\varphi_{\text{факт.}} = 0,363 - \frac{225}{320,22 \cdot 0,9} = 0,363$$

Фактический  $\text{tg}\varphi = 0,363$ , соответствует  $\cos\varphi = 0,95$ .

Окончательно принята к установке компенсирующая установка КРМ 0,4-225-25У3 [5].

Характеристики КРМ 0,4-225-25У3 [5]:

- номинальная мощность 400 кВар,
- номинальное напряжение 0,4 кВ,
- количество ступеней 6,
- степень защиты IP31, IP54.

Вывод по разделу 4: так как предварительно выбранная компенсирующая установка проходит по условию проверки, то окончательно принимаем к установке КРМ 0,4-225-25У3, что позволит значительно снизить расходы на электроэнергию для производства.



## 5 Выбор трансформаторной подстанций с учетом компенсации реактивной мощности, выбор понизительной подстанции

В системе электроснабжения силовые трансформаторы имеют огромное значение и являются одной из основных частей электроснабжения во всех промышленных и других отраслях экономики.

При выборе вида и мощности силовых трансформаторов определяется экономичность работы и надёжность электроснабжения. Правильность выбора трансформаторов в последствии оценивается в дальнейшей эксплуатации и возможности развития [17].

На подстанциях количество и мощность трансформаторов устанавливается характером потребления и надёжностью электроснабжения, размещение нагрузок на территории, их изменением в перспективе и при надобности доказывається путём технико-экономических расчётов [12].

В системах электроснабжения чаще всего применяются одно и двух трансформаторные подстанции [12].

Исходные параметры:

- $P_{см} = 295,96$  - средняя активная нагрузка за смену,
- $Q_{см} = 95,22$  - средняя реактивная нагрузка за смену,
- $S_{max} = 339,2$  - полная максимальная мощность

Среднесменная полная мощность  $S_{см}$ , кВА:

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}, \quad (43)$$

$$S_{см} = \sqrt{295,96^2 + 95,22^2} = 310,9 \text{ кВА}$$

Коэффициент заполнения графика  $K_{з.г.}$ :

$$K_{з.г.} = \frac{S_{см}}{S_{max}}, \quad (44)$$

$$K_{з.г.} = \frac{310,9}{339,2} = 0,92$$

Коэффициент кратности нагрузки  $K_H$ :

$$K_H = f(K_{з.г.}, t)$$

$$K_H = 1,05$$

Расчёт мощности трансформатора  $S_{р.тр.}$ , кВА:

$$S_{р.тр.} = \frac{S_{max}}{K_H}, \quad (45)$$

$$S_{р.тр.} = \frac{339,2}{1,05} = 323,05 \text{ кВА}$$

Предварительно выбран силовой трансформатор ТС-400/10-0,4 с номинальной полной мощностью трансформатора  $S_{н.тр.} = 400$  кВА.

Коэффициент загрузки трансформатора  $K_{з.}$ :

$$K_{з.} = \frac{S_{max}}{S_{н.тр.}}, \quad (46)$$

$$K_{з.} = \frac{323,05}{400} = 0,8$$

Окончательно к установке выбрана однострансформаторная подстанция типа КТП 400-10/0,4 с трансформатором ТС-400/10-0,4, который обеспечивает электроснабжение производства [10].

Вывод по разделу 5: рассчитана и окончательно выбрана однострансформаторная подстанция для ремонтно-инструментального производства с учётом компенсации реактивной мощности.

## 6 Расчёт токов короткого замыкания

Различные виды коротких замыканий, при которых происходит резкий скачок тока могут возникать в любых электрических установках, оборудовании, в различных электрических сетях и электрических приборах.

В системах электроснабжения электрооборудование монтируемое должно иметь устойчивость к токам к. з. и избираться с учётом токов [14].

Виды коротких замыканий разделяются на: трёхфазное замыкание, когда происходит замыкание между тремя фазами сразу; двухфазное замыкание, когда фазы замыкают между собой без замыкания на землю; однофазное замыкание, когда фаза замыкает на нейтраль через землю; замыкание двойное на землю, происходит замыкание земли и двух фаз [18].

Время, когда возникает короткое замыкание в цепи происходит объединение двух слагающихся токов К.З. - периодического и апериодического [18].

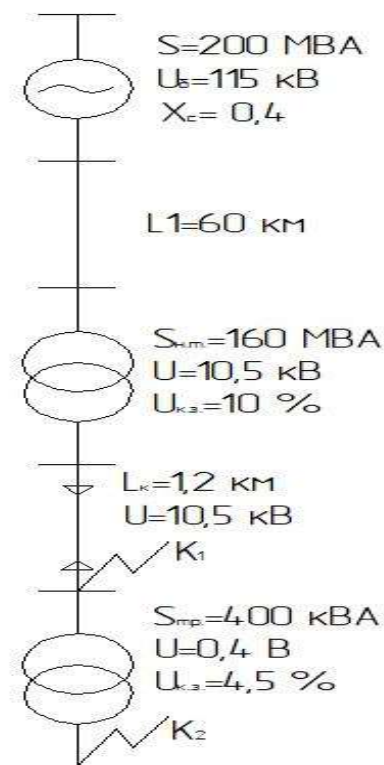


Рисунок 3 - Расчётная схема.

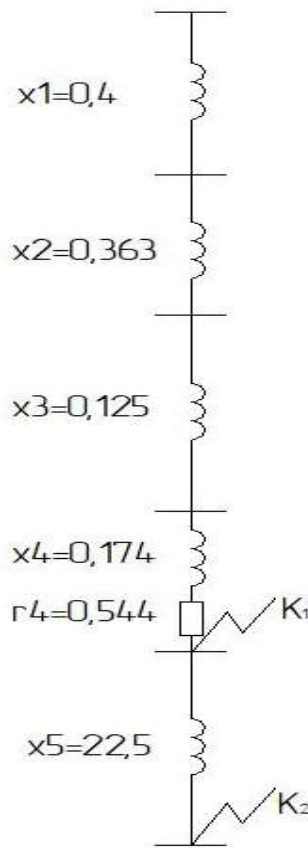


Рисунок 4 - Схема замещения.

Расчёт индуктивного сопротивления схемы  $x_1$ :

$$x_1 = x_c$$

$$x_1 = 0,4$$

Расчёт индуктивного сопротивления воздушной линии (ЛЭП)  $x_2$ :

$$x_2 = x_0 \cdot L_1 \cdot \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (47)$$

где  $x_0 = 0,4$  Ом/км - индуктивное удельное сопротивление одного километра провода воздушной линии [18, таблица 1.9.5, страница 62].

$$x_2 = 0,4 \cdot 60 \cdot \frac{200}{115^2} = 0,363$$

Расчёт индуктивного сопротивления головного трансформатора  $x_3$ :

$$x_3 = \frac{u_{к.з}\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}}, \quad (48)$$
$$x_3 = \frac{10}{100} \cdot \frac{200}{160} = 0,125$$

Расчёт индуктивного сопротивления кабельной линии  $x_4$ :

$$x_4 = x_0 \cdot L_2 \cdot \frac{S_6}{U_H^2}, \quad (49)$$

где  $x_0 = 0,08$  Ом/км - индуктивное удельное сопротивление одного километра провода кабельной линии [18, таблица 1.9.5, страница 62].

$$x_4 = 0,08 \cdot 1,2 \cdot \frac{200}{10,5^2} = 0,174$$

Расчёт активного сопротивления кабельной линии  $r_4$ :

$$r_4 = r_0 \cdot L_k \cdot \frac{S_6}{U_{ном}^2}, \quad (50)$$

где  $r_0 = 0,25$  Ом/км - активное удельное сопротивление одного километра длины кабельной линии.

$$r_4 = 0,25 \cdot 1,2 \cdot \frac{200}{10,5^2} = 0,544$$

Расчёт индуктивного сопротивления трансформатора КТП  $x_5$ :

$$x_5 = \frac{u_{к.з}\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н.т.}}, \quad (51)$$

$$x_5 = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{200000}{400} = 22,5$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки замыкания К1,  $X_{\Sigma K1}$ :

$$X_{\Sigma K1} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4, \quad (52)$$

$$X_{\Sigma K1} = 0,4 + 0,353 + 0,125 + 0,174 = 1,062$$

Полное сопротивление до точки замыкания К1,  $Z_{K1}$ :

$$Z_{K1} = \sqrt{(X_{\Sigma K1})^2 + r_4^2}, \quad (53)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{1,062^2 + 0,544^2} = 1,193$$

Расчёт базисного тока в точке К1,  $I_{б1}$  кА:

$$I_{б1} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (54)$$

$$I_{б1} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 11 \text{ кА}$$

Расчёт тока короткого замыкания точки К1,  $I_{кз1}$  кА:

$$I_{кз1} = \frac{I_{б1}}{Z_{K1}}, \quad (55)$$

$$I_{кз1} = \frac{11}{1,193} = 9,22 \text{ кА}$$

Расчёт ударного тока короткого замыкания в точке К1,  $i_{y K1}$  кА:

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз1}, \quad (56)$$

где  $K_y=1,8$  – коэффициент ударный для сетей высокого напряжения.

$$i_{y\ K1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,22 = 23,47 \text{ кА}$$

Расчёт мощности КЗ в точке К1,  $S_{\text{кз К1}}$  МВА:

$$S_{\text{кз К1}} = \frac{S_6}{Z_{\text{К1}}}, \quad (57)$$
$$S_{\text{кз К1}} = \frac{200}{1,193} = 167,645 \text{ МВА}$$

Расчёт базисного тока короткого замыкания в точке К2,  $I_{62}$  кА:

$$I_{62} = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (58)$$
$$I_{62} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 288,675 \text{ кА}$$

Расчёт полного сопротивления до точки замыкания К2,  $Z_{\text{К2}}$ :

$$Z_{\text{К2}} = X_{\Sigma\ \text{К1}} + X_5, \quad (59)$$
$$Z_{\text{К2}} = 1,062 + 22,5 = 23,562$$

Расчёт тока короткого замыкание точки К2,  $I_{\text{кз2}}$  кА:

$$I_{\text{кз2}} = \frac{I_{62}}{Z_{\text{К2}}}, \quad (60)$$
$$I_{\text{кз2}} = \frac{288,675}{23,562} = 12,252 \text{ кА}$$

Расчёт ударного тока короткого замыкания в точке К2,  $i_{y\ \text{К2}}$  кА:

$$i_{y\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{кз2}}, \quad (61)$$

где  $K_y=1,7$  – коэффициент ударный для сетей высокого напряжения.

$$i_{y\text{к2}} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 12,252 = 29,456 \text{ кА}$$

Мощность КЗ в точке К2,  $S_{\text{кз к2}}$ , МВА:

$$S_{\text{кз к2}} = \frac{S_6}{Z_{\text{к2}}}, \quad (62)$$

$$S_{\text{кз к2}} = \frac{200}{23,562} = 8,488 \text{ МВА}$$

Все расчётные данные токов к. з. приведены в таблице 3.

Таблица 4 - Сводные данные точек коротких замыканий

Точка К.З.	$Z_K$	$I_6$ кА	$I_{\text{кз}}$ кА	$i_{y\text{к}}$ кА	$S_{\text{кз к}}$ МВА
1	2	3	4	5	6
К1	1,193	11	9,22	23,47	167,645
К2	23,562	288,675	12,252	29,456	8,488

Вывод по разделу 6: составлена расчётная схема и схема замещения по которым произведены расчёты для выбора выключателей, шинопроводов и токопроводов.



## 7 Расчёт и выбор высоковольтного кабеля

Для передачи электроэнергии от поставщика до потребителя осуществляется силовыми кабелями. Распределение энергии происходит кабелями различных величин в зависимости от целей различается конструкция кабеля и место применения [14].

Высоковольтный кабель имеет в составе три элемента: изоляция, оболочка и токопроводящая жила.

В современных сетях напряжения до 500 кВ используются кабеля со сшитой из полиэтилена изоляцией. Кабель с такой изоляцией обладает высокими диэлектрическими и механическими свойствами в сравнении с бумажно-масляной изоляцией более надёжен и долговечен [18].

Выполнение расчётов производится на основании расчётных значений токов к. з. Выбранный кабель должен выдержать не только допустимый ток электроприёмника, но и воздействие термического и электродинамического характера токов к. з.

Расчёт производится в 2 этапа:

- определяется сечение кабеля по экономической плотности тока,
- производится проверка сечения на термическую устойчивость.

Номинальный ток силового трансформатора  $I_{н.тр.}$ , А:

$$I_{н.тр.} = \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (63)$$
$$I_{н.тр.} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,09 \text{ А}$$

Расчёт предварительного сечения кабеля по экономической плотности тока  $S_э$ , мм<sup>2</sup>:

$$S_э = \frac{I_{н.тр.}}{j_э}, \quad (64)$$

где  $j_э$  - для меди, экономическая плотность тока,  $j_э = 1,8$ .

$$S_э = \frac{23,09}{1,8} = 12,82 \text{ мм}^2$$

По данному расчёту можно предварительно определить кабель с медной жилой  $S = 16 \text{ мм}^2$ .

Расчёт проверки сечения на термическую устойчивость  $S$ ,  $\text{мм}^2$ :

$$S = \frac{I_{кз.кл} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{C}, \quad (65)$$

где  $C$  - коэффициент, соответствующий разности теплоты в проводнике до и после к. з. для меди  $C = 141$ .

$$S = \frac{9220 \cdot \sqrt{0,6}}{141} = 51 \text{ мм}^2$$

Принят к установке силовой кабель CREOLON 3x25RM/25 6/10 кВ. Расшифровка силового кабеля CREOLON 3x25RM/25 6/10 кВ - кабель силовой трёхжильный в оболочке из ПВХ [4].

Вывод по разделу 7: окончательно принят кабель типа CREOLON 3x25RM/25 6/10 кВ с медной жилой, так как он проходит по проверке на термическую устойчивость.

## 8 Расчет заземления зданий и сооружений объекта

Защитное заземление призвано эффективно защищать человека от риска поражения электрическим током в сетях напряжением до 1000 В с и выше 1000 В - в любом режиме нейтрали [2].

Как естественные, заземлители могут использоваться - водопроводные и другие металлические трубопроводы, проложенные в земле, за исключением трубопроводов легковоспламеняющихся жидкостей, горючих или взрывоопасных газов и смесей [7].

Искусственные же заземлители больше всего используют угловую сталь, стальные трубы и стальные шины [8].

Расчёт тока однофазного замыкания на землю в сети 10,5 кВ  $I_3$ , А:

$$I_3 = \frac{U \cdot (35 \cdot l_k + l_B)}{350}, \quad (66)$$

где  $U_{ВН} = 10,5$  кВ - напряжение на высокой стороне трансформатора,

$l_B = 25$  км – длина протяжности воздушной линии,

$l_k = 0,8$  км – длина протяжности кабельной линии.

$$I_3 = \frac{10,5 \cdot (35 \cdot 0,8 + 25)}{350} = 1,6 \text{ А}$$

Заземляющее устройство для сети 6 кВ при общем заземлении  $R_3$ , Ом:

$$R_3 = \frac{U_3}{I_3}, \quad (67)$$

$$R_3 = \frac{125}{1,6} = 78,1 \text{ Ом}$$

Так как сопротивление заземляющего устройства для сети 220/380 В должно быть не более 4 Ом. Вследствие этого принимаем наименьшее сопротивление заземляющего устройства 4 Ом.

Расчёт удельного сопротивление грунта  $\rho$  Ом·м:

$$\rho = \rho_{\text{из}} \cdot \varphi_2, \quad (68)$$

где  $\rho_{\text{из}} = 0,6 \cdot 10^4$  Ом·см – грунтовое удельное сопротивление,

$\varphi_2 = 1,5$  - коэффициент повышения [4].

$$\rho = 0,6 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 0,9 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$$

Исходя из расчёта принимаем в качестве заземлителей прутковые электроды.

Расчёт сопротивления одиночного пруткового заземлителя  $R_{\text{опр}}$ , Ом:

$$R_{\text{опр}} = 0,0027 \cdot \rho, \quad (69)$$

$$R_{\text{опр}} = 0,0027 \cdot 0,9 \cdot 10^4 = 20,4 \text{ Ом}$$

Размещение заземлителей в ряд выполняется с расстоянием между прутковыми электродами  $a = 6$  м.

Расчёт числа заземлителей  $n$ , шт:

$$n = \frac{R_{\text{опр}}}{(\eta \cdot R_3)}, \quad (70)$$

где  $\eta = 0,8$  при  $a/l > 1$ .

$$n = \frac{20,4}{(0,8 \cdot 4)} \approx 6 \text{ шт}$$

Вывод по разделу 8: выбраны прутковые электроды, при этом число заземлителей составило 6 шт расположенные в ряд, расстояние между электродами составило 6 м.

## 9 Расчет релейной защиты и автоматики

Защитные устройства используются для уменьшения времени воздействия токов короткого замыкания и перегрузки, то есть для устранения опасных последствий этих явлений [9]. Самыми распространенными защитными устройствами являются предохранители и выключатели (автоматы) [9].

Воздушные автоматические выключатели используются в системах с напряжением до 1000 В. Они используются для автоматического отключения электрооборудования в случае их перегрузок и возникновения коротких замыканий [1].

Срабатывание автоматов по принципу разделяют на принцип теплового расцепителя и на электромагнитный принцип воздействия [1].

Тепловой расцепитель в автоматах служит для защиты электрооборудования от перегрузок.

Электромагнитный расцепитель в автоматах предназначен для защиты от коротких замыканий электрооборудования.

Производим подбор и расчёт автоматических выключателей для защиты автоматики.

Расчёт номинального тока электроприёмника  $I_{\text{НОМ}}$ , А:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (71)$$
$$I_{\text{НОМ}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,82} = 20,59 \text{ А}$$

Расчёт номинального тока теплового расцепителя  $I_{\text{Т.р.}}$ , А:

$$I_{\text{Т.р.}} = 1,15 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (72)$$
$$I_{\text{Т.р.}} = 1,15 \cdot 20,59 = 23,68 \text{ А}$$

Расчёт пускового тока электроприёмника  $I_{\text{пуск3}}$ , А:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (73)$$
$$I_{\text{пуск}} = 20,59 \cdot 5 = 102,95 \text{ А}$$

Расчёт тока электромагнитного расцепителя  $I_{\text{эл.р.}}$ , А:

$$I_{\text{эл.р.}} = I_{\text{пуск}} \cdot 1,25, \quad (74)$$
$$I_{\text{эл.р.}} = 102,95 \cdot 1,25 = 128,69 \text{ А}$$

Исходя из расчёта принимается автоматический выключатель ВА 51-25 с  $I_{\text{ном}} = 25 \text{ А}$ ,  $I_{\text{т.р.}} = 25 \text{ А}$ ,  $I_{\text{эл.р.}} = 250 \text{ А}$  [15].

Выбор сечения токоведущей жилы кабеля по номинальному току электроприёмника  $S = 2,5 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп.}} = 25 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 20,59 \text{ А}$ .

Подключение электроприёмника выполнено кабелем с медной жилой ВВГнг1×2,5 с  $I_{\text{доп.}} = 25 \text{ А} > I_{\text{ном}} = 20,59 \text{ А}$ .

Результаты занесены в таблицу Б.1.

Вывод по разделу 9: в данном разделе произведены расчёты защитных автоматов для каждого оборудования отдельно, также выбраны шинопровода с учётом допустимых для них токов.

## Заключение

Результатами расчётов при реконструкции ремонтно-инструментального производства АО «ВИС» является: выбор элементов силовой и осветительной сети, трансформатора комплектной трансформаторной подстанции, конденсаторной установки, аппаратов защиты, высоковольтного кабеля, высоковольтных аппаратов, расчёт токов коротких замыканий, а также расчёт заземления производства.

Использована магистральная схема силовой распределительной сети.

В качестве распределительного устройств установлен магистральный шинопровод типа ШМА и распределительные шинопровода типа ШРА1 с креплениями на напольных стойках.

Провода с алюминиевыми жилами для подключения электроприёмников заменены на кабель ВВГнг - кабель с медными жилами, с изоляцией не поддерживающей горения.

В качестве аппаратов защиты применены автоматические выключатели серии ВА на различные номинальные токи.

Светильники РСП-400 с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт заменены на более эстетичные, с большим коэффициентом полезного действия ASD SPO-101-2;  $\eta = 0,8$  с флуоресцентными лампами мощностью 75 Вт, что предусматривает экономию электроэнергии до 45%.

Реконструкция силовой осветительной сети обеспечивает надёжность эксплуатации электрического и электромеханического оборудования производства, предусмотренный контур заземления обеспечивает безопасность обслуживающего персонала.

Подключение осветительного щитка выполнено кабелем ВВГнг 5×50 с медными жилами.

Проведена компенсация реактивной мощности искусственным способом: рассчитана реактивная мощность и выбрана компенсаторная

установка КРМ 0,4-225-25 У3 мощностью 225 кВАр, что позволило повысить коэффициент мощности до 0,95.

Произведен расчёт и выбор производственной КТП. Выбран сухой трансформатор ТС-400/10-0,4 номинальной мощностью  $S_{\text{ном}} = 400$  кВА для стабильной работы производства, запитан от главной ГПП предприятия.

Для питания подстанции на основании расчёта токов короткого замыкания заложен высоковольтный кабель марки CREOLON 3 x25RM/25 6/10 кВ с медной жилой.

По контуру периметра всей площади производства проложена сеть заземления.

Произведена работа с множественными литературными источниками, анализирован и переработан основной текст для удобства восприятия.

Реконструкция ремонтно-инструментального производства и распределение станков по соответствию с задачами и замена системы электроснабжения позволит сэкономить время на ремонт оборудования, обеспечит стабильную работу оборудования без просадок мощности, напряжения, тока в рабочих сетях, а обновлённая осветительная сеть обеспечит надёжность в работе персонала при меньших затратах.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. Аппараты защиты электрооборудования и электрических сетей. [Электронный ресурс] URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/-1321-apparaty-zashhity-jelektrooborudovanija.html>.
2. Заземление и защитные меры электробезопасности. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001620>.
3. Кабели ВВГнг. [Электронный ресурс] URL: <https://topkabel.ru/kabel-vvgng.html>.
4. Кабели силовые. [Электронный ресурс] URL: <https://goo.su/8Fub>.
5. Каталог конденсаторных установок. [Электронный ресурс] URL: <http://ettalon.ru/catalog/katalog-produktsii>.
6. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов, М., Мастерство, 2011, 318 с.
7. Липкин Б.Ю., Электроснабжение промышленных предприятий и установок, М., «АКАДЕМИЯ», 2012 г., 362с.;
8. Мукасеев Ю.Л., Основы электроснабжения промышленных предприятий, М., «НЦ ЭНАС», 2013 г., 410 с.
9. Нормы технологического проектирования предприятий машиностроения. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/-1200031311>.
10. Основные технические характеристики трансформаторов. [Электронный ресурс] URL: <https://complectprom.ru/transformers/silovye-ponizhayuschie-transformatory/ts-400-al/>.
11. Охрана труда по электробезопасности и пожарной безопасности. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tspor.ru/article/2472-ohrana-truda-po-elektrobezopasnosti-i-pojarnoy-bezopasnosti>.
12. Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В., Электрооборудование электрических станций и подстанций, М., Академия, 2013 г., 446 с.

13. Светодиодные светильники для различных типов помещений. [Электронный ресурс] URL: [http://www.ltcompany.com/ru/products/ ASD SPO-101-2/](http://www.ltcompany.com/ru/products/ASD_SPO-101-2/).
14. Сибикин Ю.Д., Сибикин И.Ю., Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий установок, М., «АКАДЕМИЯ», 2014 г., 425 с.
15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий, М., Академия, 2014 г., 361 с.
16. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина, Л.Е. Федорова и др. – М.: Энергоатомиздат, 2014.
17. Цигельман И.Е. Электроснабжение гражданских зданий и коммунальных предприятий, М., «АКАДЕМИЯ», 2012, 319 с.
18. Шеховцов В.П. Расчёт проектирование схем электроснабжения, М., ФОРУМ-ИНТРА-М, 2014 г., 210 с.
19. Шинопровода магистральные. [Электронный ресурс] URL: [www.tok-t.ru](http://www.tok-t.ru).
20. Шинопровода распределительные. [Электронный ресурс] URL: <http://www.kmp63.ru/katalog-produktsii/shinoprovody-raspredelitelnye-shra-4>.

**Приложение А**  
**Расчёт электрических нагрузок**

Таблица А.1 - Расчет электрических нагрузок производства

№ позиции	Наименование электроприемников	Количество электроприемников, п шт.	Установленная мощность электроприемника		Модуль сборки $m$	Коэффициент использования $K_i$	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников $n_{\text{эф}}$	Коэффициент максимума $K_{\text{м}}$	Максимальная мощность			Максимальный ток $I_{\text{м}}, \text{А}$
			одного Рн. одн.	группы Рн. общ.				активная мощность $P_{\text{см}}, \text{кВт}$	реактивная мощность $Q_{\text{см}}, \text{кВАр}$			активная $P_{\text{м}}, \text{кВт}$	реактивная $Q_{\text{м}}, \text{кВАр}$	полная $S_{\text{м}}, \text{кВА}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Станок расточный	8	10	80	-	0,17	0,51/73	13,6	23,53	-	-	-	-	-	-
3	Ленточнопильный станок	1	5	5	-	0,55	0,75/0,88	2,75	2,42	-	-	-	-	-	-
4	Станок долбежный	9	0,55	4,95	-	0,55	0,75/0,88	2,72	2,39	-	-	-	-	-	-
6	Станок горизонтально-расточный	1	15	15	-	0,17	0,5/1,73	2,55	4,41	-	-	-	-	-	-
	ШРА1	19	-	104,95	27	0,21	0,55/1,51	21,62	32,75	19	1,5	32,43	32,75	46,09	70,03
2	Станок токарно-револьверный	9	10	90	-	0,17	0,5/1,73	15,3	26,47	-	-	-	-	-	-
8	Станок заточной	8	7	56	-	0,17	0,5/1,73	9,52	16,47	-	-	-	-	-	-
12	Станок карусельно-фрезерный	1	10	10	-	0,17	0,65/1,17	1,7	1,99	-	-	-	-	-	-
	ШРА2	18	-	156	1	0,17	0,51/1,69	26,52	44,93	18	1,5	39,78	44,93	60,01	91,18
7	Станок внутришлифовальный	8	12	96	-	0,17	0,5/1,73	16,32	28,23	-	-	-	-	-	-
14	Координатно-расточной станок	1	26	26	-	0,55	0,75/0,88	14,3	12,58	-	-	-	-	-	-
18	Токарный автомат	1	30	30	-	0,55	0,75/0,88	16,5	14,52	-	-	-	-	-	-
	ШРА3	10	-	152	3	0,31	0,65/1,17	47,12	55,33	10	1,6	75,39	55,33	93,52	142,09

Продолжение Приложения А

Продолжение таблицы А.1

№ позиции	Наименование электроприемников	Количество электроприемников, п шт.	Установленная мощность		Модуль сборки m	Коэффициент использования Ки	cosφ/tgφ	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число электроприемников пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная мощность			Максимальный ток I <sub>max</sub> , А
			одного Рн. одн.	группы Рн. общ.				активная мощность Р <sub>см</sub> , кВт	реактивная мощность Q <sub>см</sub> , кВАр			активная Р <sub>max</sub> , кВт	реактивная Q <sub>max</sub> , кВАр	полная S <sub>max</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	Станок круглошлифовальный	5	7	30	-	0,17	0,5/1,73	5,95	10,29	-	-	-	-	-	-
11	Токарный полуавтомат	2	20	40	-	0,17	0,5/1,73	6,8	11,76	-	-	-	-	-	-
16	Станок агрегатный горизонтально-сверлильный	6	17	102	-	0,17	0,5/1,73	17,34	30	-	-	-	-	-	-
	ШРА4	13	-	177	3	0,17	0,5/1,73	30,09	52,05	13	1,67	50,25	52,05	72,35	109,92
13	Электрическая печь сопротивления	1	35	35	-	0,8	0,95/0,33	28	9,24	-	-	-	-	-	-
15	Сварочный аппарат	5	8	40	-	0,17	0,5/1,73	6,8	11,76	-	-	-	-	-	-
17	Станок фрезерный	6	4	24	-	0,17	0,65/1,17	4,08	4,77	-	-	-	-	-	-
	ШРА5	12	-	99	9	0,39	0,84/0,66	38,88	25,77	12	1,36	52,88	25,77	58,83	89,38
9	Станок расточный	6	15	90	-	0,17	0,5/1,73	15,3	26,47	-	-	-	-	-	-
10	Станок продольно-фрезерный	6	20	120	-	0,17	0,65/1,17	20,4	23,87	-	-	-	-	-	-
	ШРА6	12	-	210	1	0,17	0,5/1,73	35,7	50,34	12	1,75	62,48	50,34	80,27	121,91
	Итого по механическому цеху	84	-	898,95	-	0,22	0,62/1,28	199,93	256,17	84	1,12	223,92	256,17	340,24	516,94
	Итого с осветительной нагрузкой	84	-	942,15	-	0,29	0,68/1,08	295,96	320,22	84	1,10	325,56	320,22	456,65	693,81
	Компенсация	-	-	-	-	-	-	-	-225	-	-	-	-	-	-
	Итого с компенсацией	84	-	942,15	-	0,29	0,95/0,32	295,96	95,22	84	1,10	325,56	95,22	339,20	515,36

**Приложение Б**  
**Расчёт аппаратов защиты и шинопроводов**

Таблица Б.1 – Расчёт аппаратов защиты и шинопроводов производства

№ позиций	Наименование электроприёмников	Количество электроприёмников в группах, шт	Номинальная мощность электроприёмника Р <sub>н</sub> , кВт	Номинальный ток электроприёмника I <sub>ном</sub> , А	Пусковой ток электроприёмника I <sub>пуск</sub> , А	Номинальный ток теплового расцепителя I <sub>эл.р.</sub> , А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя I <sub>эм</sub> , А		Номинальный ток аппарата I <sub>ном.</sub> , А	Тип аппарата	Сечение кабеля S, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток I <sub>дол.</sub> , А
						расчётное значение	стандартное значение	расчётное значение	стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Станок расточный	8	10	20,59	102,95	23,68	25	128,69	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x2,5	25
3	Ленточнопильный станок	1	5	10,29	51,45	11,83	20	64,31	160	16	ВА 51-16	ВВГ 4x1,5	16
4	Станок долбежный	9	0,55	1,13	5,65	1,3	10	7,06	10	16	ВА 51-16	ВВГ 4x1	16
6	Станок горизонтально-расточный	1	15	30,88	154,4	35,51	40	193	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x6	40
ШРА-1 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I <sub>ном.</sub> = 70 А, ВА 51-33, I <sub>ном.</sub> = 160 А													
2	Станок токарно-револьверный	9	10	20,59	102,95	23,68	25	128,69	250	25	ВА 51-29	ВВГ 4x2,5	25
8	Станок заточной	8	7	14,41	72,05	16,57	20	90,06	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x1,5	16
12	Станок карусельно-фрезерный	1	10	20,59	102,95	23,68	25	128,69	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x2,5	25
ШРА-2 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, I <sub>ном.</sub> = 91 А, ВА 51-37, I <sub>ном.</sub> = 160 А													
7	Станок внутришлифовальный	8	12	24,7	123,5	28,41	31,5	154,34	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x2,5	25
14	Координатно-расточной станок	1	26	53,53	267,65	61,56	65	334,56	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x10	50

Продолжение Приложения Б

Продолжение таблицы Б.1

№ позиций	Наименование электроприёмников	Количество электроприёмников в группах, шт	Номинальная мощность электроприёмника Pн, кВт	Номинальный ток электроприёмника Iном, А	Пусковой ток электроприёмника Iпуск, А	Номинальный ток теплового расцепителя Iэл.р., А		Номинальный ток электромагнитного расцепителя Iэм, А		Номинальный ток аппарата Iном., А	Тип аппарата	Сечение кабеля S, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток Iдоп., А
						расчётное значение	стандартное значение	расчётное значение	стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
18	Токарный автомат	1	30	61,76	308,8	71,02	75	386	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x10	50
ШПРА-3 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном.= 142 А, ВА 51-37, Iном.= 250 А													
11	Токарный полуавтомат	2	20	41,17	205,85	47,35	50	257,31	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x6	50
16	Станок агрегатный горизонтально-сверлильный	6	17	35	175	40,25	50	218,75	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x6	40
ШПРА-4 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном.= 110 А, ВА 51-37, Iном.= 160 А													
13	Электрическая печь сопротивления	1	35	72,06	360,3	82,8	85	450,38	1000	100	ВА 51-31-1	ВВГ 4x10	100
15	Сварочный аппарат	5	8	16,47	82,35	18,94	20	102,94	250	25	ВА 51-25	ВВГ 4x2,5	25
17	Станок фрезерный	6	4	8,23	41,15	9,46	10	51,44	160	16	ВА 51-16	ВВГ 4 x1,5	16
ШПРА-5 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном.= 89 А, ВА 51-37, Iном.= 160 А													
9	Станок расточный	6	15	30,88	154,4	35,51	40	193	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x6	40
10	Станок продольно-фрезерный	6	20	41,17	205,85	47,35	50	257,31	630	63	ВА 51-29	ВВГ 4x6	50
ШПРА-6 Шинопроводная система распределения энергии «Басбар» E-Line КО, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном.= 122 А, ВА 51-37, Iном.= 160 А													
Осветительный шинопровод «Басбар» E-Line КАМ-0205-B-STD, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном. = 25 А, ВА51-25, Iном.=10А													
ШПМА Магистральный шинопровод средней мощности «Canalis Schneider Electric» KS, 4-проводниковая: L1, L2, L3, N, PE (корпус), IP55, Iном.= 517 А, ВА 51-37, Iном.= 1000 А													