

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 «Электроснабжение завода по производству бумажной продукции»

Студент

Е.С. Султанов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В. Шлыков

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

Консультант

к.п.н., доцент, А.В. Кириллова

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

Тольятти 2020

## Аннотация

Название выпускной квалификационной работы «Электроснабжение завода по производству бумажной продукции».

Выпускная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников, включая зарубежные источники и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является проектирование системы электроснабжения по производству бумажной продукции, выбор необходимых трансформаторов, электротехнических аппаратов, кабелей.

Целью выпускной работы является проектирование электроснабжения бумажной фабрики с разработкой электрической схемы и выбором основной аппаратуры.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логические взаимосвязанные разделы:

Анализ электрических потребителей завода по производству бумажной продукции, расчет электрических нагрузок по цехам, расчет мощности компенсирующих устройств, выбор уровней рабочих напряжений, расчет и построение картограмм нагрузок, выбор центра электрических нагрузок, выбор схемы системы электроснабжения и ее проверка на стойкость к токам короткого замыкания.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только в решении проблем электроснабжения бумажной фабрики, но и других промышленных предприятий.

## **Abstract**

The title of the final qualification work “Power Supply of the Paper Production Plant”.

The final work consists of introduction, four chapters, conclusion, list of sources used, including foreign sources and graphic parts on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is the design of the power supply system for the production of paper products, the selection of the necessary transformers, electrical devices, cables.

The aim of the final work is to design the power supply of the paper mill with the development of the electrical circuit and the choice of basic equipment.

Graduation work can be divided into the following logical interrelated sections:

Analysis of electrical consumers of a paper mill, calculation of electrical loads in workshops, calculation of the power of compensating devices, selection of operating voltage levels, calculation and construction of load cartograms, selection of an electrical load center, selection of a power supply system and its check for resistance to short circuit currents.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only in solving the problems of power supply to the paper mill, but also in other industrial enterprises.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Анализ электрических потребителей .....	8
1.1 Исходные данные к проектированию .....	8
1.2 Разделение электроприемников по категориям .....	12
электроснабжения. Характеристика цеховой рабочей среды.....	12
1.3 Выводы по разделу 1.....	13
2 Расчет электрических нагрузок по цехам и бумажной фабрике в .....	15
целом.....	15
2.1 Расчетные нагрузки.....	15
2.2 Суммарные расчетные нагрузки с учетом потерь .....	18
2.3 Расчет мощности компенсирующих устройств .....	20
2.4 Расчет напряжений.....	20
2.5 Определение типа ГПП .....	21
2.6 Картограмма нагрузок, выбор центра электрических нагрузок.....	22
2.7 Расчет количества цеховых трансформаторных подстанций с .....	25
учетом компенсирующих устройств.....	25
2.9 Выводы по разделу 2.....	34
3 Техничко-экономическое сравнение вариантов схем .....	35
электроснабжений и выбор окончательной схемы.....	35
3.1 Техничко-экономический расчет кабельных линий.....	38
3.2 Техничко-экономический расчет трансформаторных подстанций .....	39
3.3 Техничко-экономический расчет высоковольтных .....	41
выключателей .....	41

3.5 Выводы по разделу 3.....	45
4 Расчет токов короткого замыкания .....	46
4.1 Определение тока КЗ .....	46
4.2 Выводы по разделу 4.....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Энергетика играет решающую роль в безопасности, экономическом процветании и качестве жизни государств. «В течение последних многих лет энергетика ещё более выдвигается на передний план национального внимания в результате действия многих факторов.

- мировой спрос на энергию неуклонно растёт, особенно в развивающихся странах. Например, Китай, продемонстрировал длительный период (до текущий мировой экономической спад) двузначных ежегодных увеличений в экономическом росте и потреблении энергии;

- например, около 56 процентов спроса на нефть в США в настоящее время удовлетворяется за счёт импорта, поставляемого из иностранных источников, по сравнению с 40 процентами в 1990 году;

- длительная стабильность добычи традиционных источников энергии, особенно нефти, остается определяющим фактором стабильности перед лицом политической нестабильности и ограничений на добычу ресурсов» [27].

В мире растут опасения по поводу глобального изменения климата - в результате, в целом из-за сжигания ископаемого топлива, которое в настоящее время обеспечивает производство большей части энергии в мире.

Эти факторы в значительной степени зависят от политики правительства, как в России, так и за рубежом. Несмотря на многие трудности модернизация энергетики неизбежна.

Происходящие изменения в производстве и использовании электроэнергии требуют всё большее количество электричества. «Модернизация электрических сетей и энергетики в целом требует:

- разрабатывать и совершенствовать совместимые сеточные архитектуры и новые конструкции систем энергоснабжения;

- разработку программного обеспечения и инструментов визуализации, которые используют новые форматы данных от передачи и устройства

системы распределения для улучшенных операций и управления в реальном времени;

- исследовать материальные инновации и развивать передачу и распространение электроэнергии;

- разрабатывать новые компоненты конструкции для повышения производительности, надежности и устойчивости системы в целом;

- внедрять интеллектуальные, коммуникационные и контрольные возможности в распределенные энергетические ресурсы и системы, такие как микросети, для поддержки работы энергосистем;

- улучшить возможности накопления энергии и конструкции систем, которые снижают затраты при увеличении емкости и производительности, а также облегчение интеграции с электрическими сетями;

- разработка инновационных технологий для гибких и адаптивных систем управления с целью улучшения физической и кибербезопасности сетей» [28].

Таким образом, система электроснабжения сталкивается с растущим на неё давлением из-за фундаментальных изменений в спросе и предложении альтернативных технологий. Что касается предложения, то перспективен переход от крупных синхронных генераторов к генераторам меньшей мощности (например, газовым турбинам) и на возобновляемые источники энергии. «Со стороны потребителей растет число распределенных и переменных ресурсов генерации, расширяется использование электронных преобразователей, использующих альтернативную энергию, в зданиях, промышленном оборудовании и бытовых устройствах» [29].

Целью бакалаврской работы является проектирование электроснабжения бумажной фабрики с разработкой электрической схемы и выбором основной аппаратуры.

## **1 Анализ электрических потребителей**

### **1.1 Исходные данные к проектированию**

Изготовление бумаги - процесс, который оставался в основном неизменным на протяжении многих лет, но современные технологии значительно повысили качество и эффективность изготовления. Исходным сырьем для бумажных изделий является дерево. Его кора удаляется, а оставшаяся древесина измельчается, измельчается в целлюлозу и обрабатывается машинами, чтобы сделать ее гладкой и долговечной.

Первая бумага ручной работы из дерева создавалась путем разведения целлюлозы в суп из целлюлозных волокон и последующего просеивания материала через сетчатый экран, который стимулировал переплетение волокон. Полученную кашу затем прессовали для удаления воды, оставляя матовый лист.

Лишь в 19 веке, когда была изобретена паровая машина для изготовления бумаги, люди могли производить бумагу в больших масштабах. С перьевой ручкой и карандашом, изобретенным примерно в тот же период, древесина стала обычным явлением, революционизировав экономику и общество во всем мире. Печатные тексты, газеты и книги стали доступны до конца столетия.

В настоящее время в этой отрасли доминируют Северная Америка, Европа и Восточная Азия, причем заводы по всему миру производят около 400 миллионов тонн бумаги в год. Машины, участвующие в процессе, выполняют в основном те же этапы, что и традиционное бумажное производство, но сделали процесс более быстрым, последовательным и более эффективным. Они имеют четыре отдельных секции для формования, прессования, сушки и каландрирования.



Наиболее распространенные устройства, используемые сегодня- это машины Fourdrinier, которые производят бумагу с невероятной скоростью - более 60 километров листов в час.

Fourdrinier машина [30], состоит из движущейся бесконечной ленты из проволочного или пластикового экрана, который принимает смесь пульпы и воды и позволяет стечь лишней воде, образуя непрерывный лист для дальнейшей сушки под действием всасывания, давления и нагрева. Кalandры (ролики или пластины) разглаживают бумагу или картон и придают поверхности блеск или другой желаемый результат. Первая машина для производства непрерывного полотна (рулона), машина Fourdrinier была изобретена во Франции в 1799 году Луи Робертом и впоследствии усовершенствована в Англии, где она была запатентована Генри и Сили Фурдринье.



Рисунок 1- Современный вид машины Fourdrinier



водоперекачивающая насосная и кислородная станции, являющимися высоковольтными потребителями 6 кВ. Среди потребителей 0,4 кВ наибольшее количество электроэнергии потребляют цеха бумажных машин и ремонтно-механический цех.

Таблица 1- Заводские потребители электрической энергии

№	Наименование цеха или сооружения (см. рис. 2)	Установленная мощность, кВт
1	Кислородный цех (насосы)	600
2	Ремонтно-механический цех	1200
3	Склад (лесотаски, пилы)	120
4	Насосная	100
	Насосная (6 кВ)	2600
5	Цех бумажных машин №1	700
6	Трепковарка	150
7	Дереворубка	200
8	Варочное отделение	260
9	Отбельный цех	150
10	Цех бумажных машин №2	700
11	Цех бумажных машин №3	1000
12	Цех бумажных машин №4	1500
13	Кислородная станция	250
	Кислородная станция (6 кВ)	2400
14	Учебные мастерские	280
15	Цех бумажных машин №5	360
16	Управление фабрики, лаборатория, столовая	450
17	Склад	50

Питание осуществляется от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 10000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным – 35, 20, 10 и 6 кВ.

Мощность системы 300 МВА; реактивное сопротивление системы на стороне 110 кВ, отнесенное к мощности системы, 0,8.

Стоимость электроэнергии ~ 6,00 руб/кВт·ч.

Расстояние от подстанции энергосистемы до завода 18 км.

## **1.2 Разделение электроприемников по категориям электроснабжения. Характеристика цеховой рабочей среды**

Использование индексов надежности способствует созданию взаимосвязанных электрических сетей, позволяющих продолжать поставлять энергию заказчику при выходе из строя какого-то участка системы. Надежность конкретной электрической сети повышается за счет сокращения количества и продолжительности простоев элементов системы и снижения тяжести последствий отказов этих элементов. Надежность электросети влияет на производительность определенной части сети. Определение показателей надежности распределения и практические вопросы, связанные с расчетом этих показателей приведены в ГОСТ Р 54119-2010 (стандарты IEEE 1366-2003, МЭК IEC 61000-2-2 [1]). Последствия прерывания измеряются с точки зрения недопотребленной энергии и стоимости простоя.

Сегодня основополагающим принципом планирования надежности электрических сетей является следующий - система распределения должна всегда проектироваться и эксплуатироваться в режимах, которые позволяют быстро восстановить поставку электричества в случае любого отказа отдельного оборудования.

Как известно, «с точки зрения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на три категории – I, II и III. По средам цеха бывают: нормальными, влажными, пыльными, химически агрессивными, взрыво- и пожароопасными. Среда цеха зависит от технологических

процессов, проходящих в нем» [2]. Результаты распределения показаны в таблице 2.

Таблица 2- Категории надежности и рабочей среды для помещений и цехов

№ цеха по рисунку 2	Название	Категория электрообеспечения	Среда
1	Кислородный цех (насосы)	I	Взрывопожароопасная
2	Ремонтно-механический цех	II	Нормальная
3	Склад (лесотаски, пилы)	III	Пожароопасная
4	Насосная	I	Взрывопожароопасная
	Насосная (6 кВ)	I	Взрывопожароопасная
5	Цех бумажных машин №1	II	Пожароопасная
6	Трепковарка	III	Нормальная
7	Дереворубка	II	Пожароопасная
8	Варочное отделение	II	Взрывопожароопасная
9	Отбельный цех	II	Нормальная
10	Цех бумажных машин №2	II	Пожароопасная
11	Цех бумажных машин №3	II	Пожароопасная
12	Цех бумажных машин №4	II	Пожароопасная
13	Кислородная станция	I	Взрывопожароопасная
	Кислородная станция (6 кВ)	I	Взрывопожароопасная
14	Учебные мастерские	II	Нормальная
15	Цех бумажных машин №5	II	Пожароопасная
16	Управление фабрики, лаборатория, столовая	II	Нормальная
17	Склад	III	Нормальная

### 1.3 Выводы по разделу 1

Процесс производства бумаги состоит из четырех основных стадий - формование, прессование, сушка и каландрирование.

Наиболее совершенными станками для производства бумажной продукции, используемые сегодня- это машины Fourdrinier, которые производят бумагу с очень большой скоростью - более 60 километров листов в час.

Основными производственными помещениями бумажной фабрики являются цеха бумажных машин. На рассматриваемой фабрике таких цехов пять. Обязательными вспомогательными технологическими помещениями являются трепковарка, дереворубка, варочное отделение и отбельный цеха, занимающиеся подготовкой сырья для бумажной машины. Так как при производстве бумаги используется большое количество воды, то на территории фабрики находится мощная насосная станция, осуществляющая забор воды от находящегося рядом водоема.

Питание фабрики осуществляется от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 10000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным – 35, 20, 10 и 6 кВ.

## 2 Расчет электрических нагрузок по цехам и бумажной фабрике в целом

### 2.1 Расчетные нагрузки

Рассчитаем цеховые нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса, используя формулу (1) для определения активной расчетной мощности, формулу (2) для определения реактивной мощности и формулу (3) для определения полной мощности приемников электрической энергии:

$$P_p = K_c P_{ном} \quad (1)$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi \quad (2)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (3)$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса, справочная величина [3];

$\operatorname{tg} \varphi$  определяется от  $\cos \varphi$ , справочная величина [4].

Для примера рассчитаем силовую нагрузку ремонтно-механического цеха.

$$P_p = 1200 \cdot 0,8 = 960 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 960 \cdot 0,88 = 844,8 \text{ квар}$$

К силовой нагрузке необходимо добавить осветительную нагрузку:

$$P_{н.о.} = P_{уд.} \cdot F \quad (4)$$

где  $P_{уд.}$  - удельная мощность осветительной нагрузки [5];

$F$  - годовой фонд работы искусственного освещения [6].

$$P_{н.о.} = 16 \cdot 3150 = 50,4 \text{ кВт}$$

Скорректируем мощность освещения с учетом коэффициента спроса осветительного оборудования

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} \quad (5)$$

где  $K_{с.о.}$  – коэффициент спроса осветительного оборудования [3]

$$P_{р.о.} = 50,4 \cdot 0,85 = 42,84 \text{ кВт}$$

Суммарно:

$$P_{р\Sigma} = P_p + P_{р.о.} \quad (6)$$

$$P_{р\Sigma} = 960 + 42,84 = 1002,84 \text{ кВт}$$

$$S_{\delta} = \sqrt{P_{р\Sigma}^2 + Q_{р\Sigma}^2} = \sqrt{1002,84^2 + 844,8^2} = 1311,25 \text{ кВА}$$

Результаты расчета по всей бумажной фабрике сведем в таблицу 3.

Таблица 3- Расчетные нагрузки бумажной фабрики

№ цеха по плану	Название	Сила						Освещение					Расчетная нагрузка		
		$P_{уст}$ кВт	$K_c$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$F$ $\text{м}^2$	$P_{уд}$ Вт/ $\text{м}^2$	$P_{н.о.}$ кВт	$K_{с.о.}$	$P_{р.о.}$ кВт	$P_p$ кВт	$Q_{р\Sigma}$ квар	$S_{р\Sigma}$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
нагрузка до 1 кВ															
1	Кислородный цех (насосы)	600	0,9	0,82	0,7	540,00	378,00	1449	12	17,39	0,85	14,78	554,78	378,00	671,32
2	Ремонтно-механический цех	1200	0,8	0,75	0,88	960,00	844,80	3150	16	50,40	0,85	42,84	1002,84	844,80	1311,25



Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	Склад (лесо- таски, пилы)	120	0, 75	0,8	0,75	90,0 0	67,5 0	650 0	6	39,0 0	0,6	23,4 0	113, 40	67,5 0	131, 97
4	Насос- ная	100	0, 7	0,6	1,33	70,0 0	93,1 0	122 5	12	14,7 0	0,8 5	12,5 0	82,5 0	93,1 0	124, 39
5	Цех бумаж- ных машин №1	700	0, 8	0,75	0,88	560, 00	492, 80	175 0	16	28,0 0	0,9 5	26,6 0	586, 60	492, 80	766, 13
6	Трепко- варка	150	0, 8	0,75	0,88	120, 00	105, 60	163 2	16	26,1 1	0,8 5	22,2 0	142, 20	105, 60	177, 12
7	Дерево- рубка	200	0, 9	0,8	0,75	180, 00	135, 00	520	16	8,32	0,8 5	7,07	187, 07	135, 00	230, 70
8	Вароч- ное отделе- ние	260	0, 8	0,75	0,88	208, 00	183, 04	700	16	11,2 0	0,8 5	9,52	217, 52	183, 04	284, 29
9	Отбель- ный цех	150	0, 8	0,8	0,75	120, 00	90,0 0	340	14	4,76	0,8 5	4,05	124, 05	90,0 0	153, 26
10	Цех бумаж- ных машин №2	700	0, 8	0,75	0,88	560, 00	492, 80	150 0	16	24,0 0	0,9 5	22,8 0	582, 80	492, 80	763, 22
11	Цех бумаж- ных машин №3	100 0	0, 8	0,75	0,88	800, 00	704, 00	150 0	16	24,0 0	0,9 5	22,8 0	822, 80	704, 00	108 2,87
12	Цех бумаж- ных машин №4	150 0	0, 8	0,75	0,88	120 0,00	105 6,00	204 0	16	32,6 4	0,9 5	31,0 1	123 1,01	105 6,00	162 1,89
13	Кисло- родная станция	250	0, 9	0,82	0,7	225, 00	157, 50	120 0	12	14,4 0	0,8 5	12,2 4	237, 24	157, 50	284, 76

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
14	Учебные мастерские	280	0,75	0,8	0,75	210,00	157,50	2310	16	36,96	0,85	31,42	241,42	157,50	288,25
15	Цех бумажных машин №5	360	0,75	0,55	1,52	270,00	410,40	5655	16	90,48	0,95	85,96	355,96	410,40	543,26
16	Управление фабрики лаборатория, столовая	450	0,5	0,8	0,75	225,00	168,75	2800	19	53,20	0,8	42,56	267,56	168,75	316,33
17	Склад	50	0,75	0,55	1,52	37,50	57,00	4060	6	24,36	0,6	14,62	52,12	57,00	77,23
	Итого ниже 1 кВ	8070				6375,5	5593,8						6801,8	5593,8	8828,2
нагрузка выше 1 кВ															
4	Насосная	2600	0,7	0,6	1,33	1820,00	2420,60						1820,00	2420,60	3028,48
13	Кислородная станция	2400	0,9	0,82	0,7	2160,00	1512,00						2160,00	1512,00	2636,62
	Итого выше 1 кВ	5000				3980	3932,6						3980	3932,6	5665,1
	Осветительная нагрузка территории									499,92		426,34			
	Итого	13070											10781,84	9526,39	14493,33

Согласно таблицы 3 расчетная нагрузка по всему заводу составляет  $S_{p\Sigma} = 14493,33$  кВА

## 2.2 Суммарные расчетные нагрузки с учетом потерь

Потери активной энергии в трансформаторе определяются по формуле (7), потери реактивной энергии – по формуле (8) в процентном соотношении от расчетной полной мощности:

$$\Delta P_{\text{ЦТП}} = 0,02 \cdot S_p \Sigma, \quad (7)$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = 0,1 \cdot S_p \Sigma, \quad (8)$$

$$\Delta P_{\text{ЦТП}} = 0,02 \cdot 14493,33 = 289,87 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{ЦТП}} = 0,1 \cdot 14493,33 = 1449,33 \text{ квар}.$$

Тогда:

$$P_p = \sum P_{p_i} + P_{p.\text{осв.}} + \Delta P_{\text{ЦТП}}, \quad (9)$$

$$Q_p = \sum Q_{p_i} + \Delta Q_{\text{ЦТП}}, \quad (10)$$

$$P_p = 10781,84 + 289,87 = 11071,71 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 9526,39 + 1449,33 = 10975,72 \text{ квар}$$

Расчетная полная нагрузка бумажной фабрики с учетом потерь:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (11)$$

$$S_p = \sqrt{11071,71^2 + 10975,72^2} = 15590,04 \text{ кВА}.$$

Расчетная нагрузка электроснабжения шин ГПП с учетом компенсирующих устройств (формулы 12 и 13) определится по формулам:

$$P_{p\text{ГПП}} = P_{p\Sigma} \cdot K_{pм} + \Delta P_{\text{КУ}} \quad (12)$$

$$Q_{p\text{ГПП}} = Q_{p\Sigma} \cdot K_{pм} - Q_{\text{КУ}} \quad (13)$$

$$P_{p\text{ГПП}} = 11071,71 \cdot 0,95 + 14,61 = 10532,73 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\text{ГПП}} = 10975,72 \cdot 0,95 - 7307,33 = 3119,60 \text{ квар}$$

Мощность питающей линии с учетом компенсирующих устройств и потерь:

$$S_{pгпп} = \sqrt{P_{pгпп}^2 + Q_{pгпп}^2}, \quad (14)$$

$$S_{pгпп} = \sqrt{10532,73^2 + 3119,60^2} = 10985,0 \text{ кВА.}$$

### 2.3 Расчет мощности компенсирующих устройств

Мощности компенсирующих устройств определяется по формуле (16) с учетом формулы (15):

$$\operatorname{tg} \varphi_{i\bar{i}} = \frac{Q_{p\Sigma}}{P_{p\Sigma}} = \frac{10975,72}{11071,71} = 0,99, \quad (15)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} = \frac{10975,72}{11071,71} = 0,99$$

$$Q_{\text{КУ}} = P_{p\Sigma} \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{зад.}}) \quad (16)$$

$$Q_{\text{КУ}} = 11071,71 \cdot (0,99 - 0,33) = 7307,33 \text{ квар}$$

Потери мощности в компенсирующих устройствах:

$$\Delta P_{\text{КУ}} = 0,002 \cdot Q_{\text{КУ}}, \quad (17)$$

$$\Delta P_{\text{КУ}} = 0,002 \cdot 7307,33 = 14,61 \text{ кВт}$$

### 2.4 Расчет напряжений

Расчетные формулы для напряжения:

$$U = 3\sqrt{S} + 0,5 \times l, \quad (18)$$

$$U = 4,34 \sqrt{l + 16 \times P}, \quad (19)$$

$$U = 16 \sqrt[4]{P \times l}, \quad (20)$$

$$U = 17 \sqrt{l / (16 + P)}. \quad (21)$$

$$U = 3 \cdot \sqrt{S_{\delta}} + 0,5 \cdot l = 3 \cdot \sqrt{10,985} + 0,5 \cdot 18 = 18,9 \text{ кВ},$$

$$U = 4,34 \cdot \sqrt{l + 16 \cdot P_{\delta}} = 4,34 \cdot \sqrt{18 + 16 \cdot 10,533} = 59,3 \text{ кВ},$$

$$U = 16 \cdot \sqrt[4]{D_{\delta} \cdot l} = 16 \cdot \sqrt[4]{10,533 \cdot 18} = 59,4 \text{ кВ},$$

$$U = 17 \cdot \sqrt{\frac{l}{16} + P_{\delta}} = 17 \cdot \sqrt{\frac{18}{16} + 10,533} = 58,0 \text{ кВ}.$$

Таким образом, принимаем ближайшее большее стандартное значение напряжения 110 кВ.

## 2.5 Определение типа ГПП

На проектируемом предприятии установлены электроприемники I, II и III категории, поэтому применим ГПП с двумя трансформаторами. Требуемая мощность:

$$S \geq \frac{S_{p\text{ГПП}}}{n \cdot \kappa_3}, \quad (22)$$

$$S \geq 7846,4 \text{ кВА}.$$

Принимаем 10000 кВА.

Коэффициенты загрузки:

$$K_{з.ф.} = \frac{S_p}{n \cdot S_{\text{НОМ.Т.}}}, \quad (23)$$

$$K_{з.ав.} = \frac{10985}{1 \cdot 10000} = 1,1. \quad (24)$$

$$K_{з.ав.} = \frac{10985}{2 \cdot 10000} = 0,55.$$

Предпочтительно использовать 2 трансформатора по 10000 кВА.

## 2.6 Картограмма нагрузок, выбор центра электрических нагрузок

Исходной формулой для определения радиусов кругов, обозначающих нагрузку электроприемника является:

$$P = \pi r^2 m \quad (25)$$

Откуда радиус:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (26)$$

где  $P_i$  – мощность электроприемника;

$m$  – масштаб для моделирования картограммы.

Например, для ремонтно-механического корпуса:

$$r = \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1002,84}{\pi \cdot 0,5}} = 25,3 \text{ мм},$$

$$\alpha = \frac{P_{\delta.i.1} \cdot 360^\circ}{P_{\delta.1}} = \frac{42,84 \cdot 360^\circ}{1002,84} = 15,38^\circ$$

Результаты расчета для всей бумажной фабрики в таблице 4.

Таблица 4 – Результат расчета картограммы нагрузок

№ цеха	Название	$P_{p.o.}$ , кВт	$P_{pi}$ , кВт	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$R_i$ , мм	$\alpha_{осв.}$ , град.
1	2	3	4	5	6	7	8
Нагрузка до 1 кВ							
1	Кислородный цех (насосы)	14,78	554,78	254	267	18,8	9,59

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
2	Ремонтно-механический цех	42,84	1002,84	340	240	25,3	15,38
3	Склад (лесотаски, пилы)	23,40	113,40	428	210	8,5	74,29
4	Насосная	12,50	82,50	40	200	7,2	54,53
5	Цех бумажных машин №1	26,60	586,60	125	200	19,3	16,32
6	Трепковарка	22,20	142,20	187	194	9,5	56,19
7	Дереворубка	7,07	187,07	232	216	10,9	13,61
8	Варочное отделение	9,52	217,52	235	200	11,8	15,76
9	Отбельный цех	4,05	124,05	95	165	8,9	11,74
10	Цех бумажных машин №2	22,80	582,80	125	170	19,3	14,08
11	Цех бумажных машин №3	22,80	822,80	125	130	22,9	9,98
12	Цех бумажных машин №4	31,01	1231,01	225	130	28,0	9,07
13	Кислородная станция	12,24	237,24	340	160	12,3	18,57
14	Учебные мастерские	31,42	241,42	50	65	12,4	46,85
15	Цех бумажных машин №5	85,96	355,96	220	65	15,1	86,93
16	Управление фабрики, лаборатория, столовая	42,56	267,56	427	72	13,1	57,26
17	Склад	14,62	52,12	145	15	5,8	100,96
Нагрузка выше 1 кВ							
	Насосная (6 кВ)		1820,00	40	200	34,0	
	Кислородная станция (6 кВ)		2160,00	340	160	37,1	

Результат расчета центра электрических нагрузок сведен в таблицу 5.

Таблица 5 Данные для вычисления ЦЭН

№ цеха	Наименование цеха	$P_{pi}$ , кВт	$X_i$ , мм	$Y_i$ , мм	$P_{pi} \cdot X_i$	$P_{pi} \cdot Y_i$
1	2	5	6	7	8	9
1	Кислородный цех (насосы)	554,78	254	267	140914,07	148126,21
2	Ремонтно-механический цех	1002,84	340	240	340965,60	240681,60
3	Склад (лесотаски, пилы)	113,40	428	210	48535,20	23814,00

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
4	Насосная	82,50	40	200	3299,80	16499,00
5	Цех бумажных машин №1	586,60	125	200	73325,00	117320,00
6	Трепковарка	142,20	187	194	26590,50	27585,87
7	Дереворубка	187,07	232	216	43400,70	40407,55
8	Варочное отделение	217,52	235	200	51117,20	43504,00
9	Отбельный цех	124,05	95	165	11784,37	20467,59
10	Цех бумажных машин №2	582,80	125	170	72850,00	99076,00
11	Цех бумажных машин №3	822,80	125	130	102850,00	106964,00
12	Цех бумажных машин №4	1231,01	225	130	276976,80	160031,04
13	Кислородная станция	237,24	340	160	80661,60	37958,40
14	Учебные мастерские	241,42	50	65	12070,80	15692,04
15	Цех бумажных машин №5	355,96	220	65	78310,32	23137,14
16	Управление фабрики, лаборатория, столовая	267,56	427	72	114248,12	19264,32
17	Склад	52,12	145	15	7556,82	781,74
	Насосная (6 кВ)	1820,00	40	200	72800,00	364000,00
	Кислородная станция (6 кВ)	2160,00	340	160	734400,00	345600,00
	Итого	10781,84			2292656,9 1	1850910,5 0

Координаты центра:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^{27} P_{pi\Sigma} \cdot X_i}{\sum_{i=1}^{27} P_{pi}} = \frac{2292656,91}{10781,84} = 212,64 \quad \text{мм,}$$

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{17} P_{pi\Sigma} \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^{17} P_{pi}} = \frac{1850910,50}{10781,84} = 171,67 \quad \text{мм.}$$



## 2.7 Расчет количества цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсирующих устройств

Число трансформаторных подстанций:

$$N_m = \frac{S_p}{S_{шт} \cdot K_3}, \quad (27)$$

где  $K_3$  – это коэффициент загрузки (28)

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_n} \quad (28)$$

В учебных расчетах принимаем:

- а) 0,65-0,7 для электроприемников I категории;
- б) 0,7-0,8 для электроприемников II категории;
- в) 0,9-0,95 для электроприемников III категории.

Аварийный коэффициент загрузки:

$$K_{3A} = \frac{S_p}{S_n} \leq 1,4. \quad (29)$$

Предварительная мощность КУ:

$$Q_{ку} = P_p (tg\varphi_n - tg\varphi_3), \quad (30)$$

где  $tg\varphi_n = Q_p/P_p$ , а  $tg\varphi_3 = 0,33$  при  $\cos\varphi = 0,95$ .

По литературе выбираем наиболее подходящее по мощности КУ и с учетом этого значения определяем, какая реактивная мощность остается некомпенсированной (31)

$$Q=Q_{Pi} - N_{Q_{КУ.СТ}}, \quad (31)$$

где N-число батарей.

Результаты расчёта представим в виде таблиц 6 и 7.

Таблица 6 - Вариант электроснабжения №1

№ ТП	Название.	Расчетная нагр.		Q <sub>ку</sub> , квар	Кол-во и мощности КУ	Полная нагрузка		Кол- во тр- ров	S <sub>ном.тр.</sub> кВА	K <sub>зн</sub>	K <sub>зав</sub>
		P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар			Q' <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА				
ТП - 1	цех №1	554,78	378	194,92	2*150	78,00	560,24	2	400	0,70	1,40
ТП - 2	цех №2	1002,84	844,8	513,86	2*200	444,80	1097,06	2	1000	0,55	1,10
ТП - 3	цеха №3,13,16	618,20	393,75	189,74	2*80	233,75	660,92	2	630	0,52	1,05
ТП - 4	цеха №4,5,9,10	1375,94	1168,70	714,64	3*200	568,70	1488,84	2	1600	0,47	0,93
ТП - 5	цеха №6,7,8	546,79	423,64	243,20	2*100	223,64	590,75	2	630	0,47	0,94
ТП - 6	цех №11	822,80	704	432,48	2*200	304,00	877,16	2	1000	0,44	0,88
ТП - 7	цех №12	1231,01	1056	649,77	3*200	456,00	1312,75	2	1000	0,66	1,31
ТП - 8	цеха №14,15,17	649,49	624,90	410,57	2*200	224,90	687,32	2	630	0,55	1,09

Таблица 7 - Вариант электроснабжения №2

№ ТП	Название	Расчетная нагр.		Q <sub>ку</sub> , квар	Кол-во и мощности КУ	Полная нагрузка		Кол- во тр- ров	S <sub>ном.тр.</sub> кВА	K <sub>зн</sub>	K <sub>зав</sub>
		P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар			Q' <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА				
ТП - 1	цеха №1,6,7,8	1101,57	801,64	438,12	2*200	401,64	1172,50	2	1000	0,59	1,17
ТП - 2	цех №2	1002,84	844,80	513,86	2*250	344,80	1060,46	2	1000	0,53	1,06
ТП - 3	цеха №3,13,16	618,20	393,75	189,74	2*80	233,75	660,92	2	630	0,52	1,05
ТП - 4	цеха №4,5,9,10	1375,94	1168,70	714,64	3*200	568,70	1488,84	2	1600	0,47	0,93
ТП - 5	цех №11	822,80	704,00	432,48	2*200	304,00	877,16	2	1000	0,44	0,88
ТП - 6	цех №12	1231,01	1056,00	649,77	3*200	456,00	1312,75	2	1000	0,66	1,31
ТП - 7	цеха №14,15,17	649,49	624,9	410,57	2*200	224,90	687,32	2	630	0,55	1,09

## 2.7 Составление схем электроснабжения

Рассматриваемая бумажная фабрика относится к предприятиям со средним уровнем энергопотребления. На нем применяется схема глубокого ввода электроснабжения. Распределение нагрузок по пунктам питания представлено в таблицах 8 и 9 для двух вариантов электроснабжения.

Таблица 8 - Распределение нагрузок по пунктам питания (вариант №1)

Наименование цеха	Расположение пункта питания
1	2
Кислородный цех (насосы)	ТП-1
Ремонтно-механический цех	ТП-2
Склад (лесотаски, пилы)	РП-1
Насосная	ТП-4
Цех бумажных машин №1	РП-3
Трепковарка	ТП-5
Дереворубка	РП-6
Варочное отделение	РП-7
Отбельный цех	РП-4
Цех бумажных машин №2	РП-10
Цех бумажных машин №3	ТП-6
Цех бумажных машин №4	ТП-7
Кислородная станция	ТП-3
Учебные мастерские	ТП-8
Цех бумажных машин №5	РП-8
Управление фабрики, лаборатория, столовая	РП-2
Склад	РП-9

Таблица 9 - Распределение нагрузок по пунктам питания (вариант №2)

Наименование цеха	Расположение пункта питания
1	2
Кислородный цех (насосы)	РП-10
Ремонтно-механический цех	ТП-2
Склад (лесотаски, пилы)	РП-1
Насосная	ТП-4
Цех бумажных машин №1	РП-3
Трепковарка	ТП-5
Дереворубка	РП-6
Варочное отделение	РП-7

Продолжение таблицы 9

1	2
Отбельный цех	РП-4
Цех бумажных машин №2	РП-5
Цех бумажных машин №3	ТП-5
Цех бумажных машин №4	ТП-6
Кислородная станция	ТП-3
Учебные мастерские	ТП-7
Цех бумажных машин №5	РП-8
Управление фабрики, лаборатория, столовая	РП-2
Склад	РП-9

## 2.8 Расчет кабельных линий

Определение потерь ЦТП.

В трансформаторе ЦТП определяются активные и реактивные составляющие потерь:

$$\begin{aligned} \Delta P_T &= \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2, \\ \Delta Q_T &= \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 = \frac{S_{HT} I_{XX}}{100} + \frac{S_{HT} U_{K3}}{100} \cdot K_3^2, \end{aligned} \quad (32)$$

где  $\Delta P_T$ ,  $\Delta P_{K3}$ ,  $I_{XX}$ ,  $U_{K3}$  – из справочников.

Суммарные мощности в линиях:

$$P'_P = n \cdot \Delta P_T + P_P, Q'_P = n \cdot \Delta Q_T + Q_P, S'_P = \sqrt{P'^2_P + Q'^2_P}, \quad (33)$$

где  $n$  – количество трансформаторов.

Результаты расчета потерь мощности в трансформаторах представлены в таблицах 10-11 для трех вариантов электроснабжения.

Таблица 10- Потери мощности в трансформаторах (вариант №1)

№ п/п	Наименование ТП	Число и мощность трансформаторов	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВт	ΔP <sub>xx</sub> , кВт	ΔP <sub>кз</sub> , кВт	I <sub>xx</sub> , %	U <sub>кз</sub> , %	K <sub>з</sub>	ΔP <sub>т</sub> , кВт	ΔQ <sub>т</sub> , квар	P' <sub>p</sub> , кВт	Q' <sub>p</sub> , квар	S' <sub>p</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ТП - 1	2хТМ-400/6	554,78	378	0,83	5,5	1,8	4,5	0,70	3,53	16,03	561,83	410,05	695,56
2	ТП - 2	2хТМ-1000/6	1002,84	844,8	2,45	12,2	1,4	5,5	0,55	6,12	30,55	1015,08	905,90	1360,53
3	ТП - 3	2хТМ-630/6	618,20	393,75	0,55	3,7	2,2	4,5	0,52	1,57	21,66	621,34	437,07	759,66
4	ТП - 4	2хТМ-1600/6	1375,94	1168,70	3,3	16,5	1,3	5,5	0,47	6,87	39,85	1389,68	1248,40	1868,08
5	ТП - 5	2хТМ-630/6	546,79	423,64	0,55	3,7	2,2	4,5	0,47	1,36	20,09	549,51	463,82	719,10
6	ТП - 6	2хТМ-1000/6	822,80	704	2,45	12,2	1,4	5,5	0,44	4,80	24,58	832,39	753,16	1122,55
7	ТП - 7	2хТМ-1000/6	1231,01	1056	2,45	12,2	1,4	5,5	0,66	7,71	37,70	1246,42	1131,39	1683,33
8	ТП - 8	2хТМ-630/10	649,49	624,90	0,55	3,7	2,2	4,5	0,55	1,65	22,30	652,79	669,49	935,07

Таблица 11 - Потери мощности в трансформаторах (вариант №2)

№ п/п	Наименование ТП	Число и мощность трансформаторов	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВт	ΔP <sub>xx</sub> , кВт	ΔP <sub>кз</sub> , кВт	I <sub>xx</sub> , %	U <sub>кз</sub> , %	K <sub>з</sub>	ΔP <sub>т</sub> , кВт	ΔQ <sub>т</sub> , квар	P' <sub>p</sub> , кВт	Q' <sub>p</sub> , квар	S' <sub>p</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	ТП - 1	2хТМ-1000/6	1101,57	801,64	2,45	12,2	1,4	5,5	0,59	6,64	32,90	1114,85	867,45	1412,57
2	ТП - 2	2хТМ-1000/6	1002,84	844,80	2,45	12,2	1,4	5,5	0,53	5,88	29,46	1014,60	903,73	1358,72
3	ТП - 3	2хТМ-630/6	618,20	393,75	0,55	3,7	2,2	4,5	0,52	1,57	21,66	621,34	437,07	759,66
4	ТП - 4	2хТМ-1600/6	1375,94	1168,70	3,3	16,5	1,3	5,5	0,47	6,87	39,85	1389,68	1248,40	1868,08
5	ТП - 5	2хТМ-1000/6	822,80	704,00	2,45	12,2	1,4	5,5	0,44	4,80	24,58	832,39	753,16	1122,55
6	ТП - 6	2хТМ-1000/6	1231,01	1056,00	2,45	12,2	1,4	5,5	0,66	7,71	37,70	1246,42	1131,39	1683,33
7	ТП - 7	2хТМ-630/6	649,49	624,9	0,55	3,7	2,2	4,5	0,55	1,65	22,30	652,79	669,49	935,07

Расчет поперечного сечения проводов питающей линии.

Выбор питающих ЛЭП производится по экономической плотности тока.

Определение экономического сечения производится по формуле:

$$F_9 = \frac{I_M}{J_9}, \quad (34)$$

где  $I_M$  - допустимый ток, А;

$J_9$  - экономическая плотность тока.

$$I_m = \frac{S_m}{2 \cdot \sqrt{3}U}, \quad (35)$$

где  $S_m$  - суммарная полная мощность.

$$I_i = \frac{14493,33}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} = 38,1 \text{ А},$$

$$F_3 = \frac{38,1}{1,1} = 34,6 \text{ мм}^2.$$

Принимается провод АС-70/11 с допустимым током  $I_{\text{доп}}=265 \text{ А}$ ,  $R_o = 0,42 \text{ Ом/км}$ .

Проверка по допустимому току:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_m \leq I_{\text{доп}}$$

$$I_{ав} = 2 \cdot 38,1 = 76,2 < 265 \text{ А}$$

Данный провод удовлетворяет условиям короны – сечение провода должно быть не меньше  $70 \text{ мм}^2$ .

При строительстве ЛЭП принимается железобетонные опоры с двусторонним питанием.

Расчет сечений кабелей.

Условия выбора площади сечения по токовой перегрузки:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} K_1 K_2, \quad (36)$$

где  $I_{\text{доп}}$  – максимальный допустимый ток;

$K_1$  – коэффициент числа жил;

$K_2$  – перегрузочный коэффициент.

Проверка правильности выбора проводится по формулам (37) .. (40).

По длительному потребителскому току:

$$I_p = \frac{Sp}{\sqrt{3}U_H}, I_p < I_{\text{дон}} \quad (37)$$

По падению напряжения:

$$L_{\text{дон}} = L_{\Delta U\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}} \cdot \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} > L_{\text{факт}} \quad (38)$$

По экономической плотности:

$$S_3 = I_p / j_3 \quad (39)$$

По температурной стойкости к КЗ:

$$S_{m.cm} = \alpha \cdot I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}, t = t_B + t_3 \quad (40)$$

где  $t_g$  – время срабатывания выключателя;

$t_3$  – время отключения защитного механизма;

$\alpha$  – температурный коэффициент;

$t_n$  – приведенное время отключения защитного механизма;

$I_{\infty}$  - величина периодического тока  $I_{\text{кз}}$ .

Токовые нагрузки на кабельные линии и провода, в том числе и на кабели в свинцовой, резиновой и ПВХ изоляции, должны приводиться из расчета максимальной температуры кабельных жил до 65 °С при температуре окружающего воздуха 25 °С и земли 15 °С. При этом максимальные значения токов перегрузки не должны превышать значений рекомендованных ПУЭ. Нагрузки для проводов, уложенных в лотках, следует принимать как для проложенных в воздухе. Расчет и выбор кабельных линий для трех вариантов схем электроснабжения приведен в таблицах 12 и 13.

Таблица 12 - Расчет кабельных линий распределительной сети (вариант №1)

№ п/п	Наименование линии	Назначение линии	Расчётная нагрузка		l, м	Поправ. коэф-ты	Способ прокладки	Допустимая нагрузка		Снагр., мм <sup>2</sup>	Сэ., мм <sup>2</sup>	SΔu, мм <sup>2</sup>	марка, сечение и кол-во КЛ
			Ip. ав.	Ip. н.				Гдо п. ав.	Идоп.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
выше 1 кВ													
1	Л1	ГП П-ТП1	33,50	67,01	0,404	1,3·0,9	траншея	57,27	75	35	35	35	2хАА Шв(3*35)
2	Л2	ГП П-ТП2	65,54	131,07	0,394	1,3·0,9	траншея	112,03	135	70	50	70	2хАА Шв(3*70)
3	Л3	ГП П-ТП3	36,59	73,19	0,340	1,3·0,9	траншея	62,55	75	35	35	35	2хАА Шв(3*35)
4	Л4	ГП П-ТП4	89,98	179,97	0,068	1,3·0,9	траншея	153,82	165	95	70	95	2хАА Шв(3*95)
5	Л5	ГП П-ТП5	34,64	69,28	0,207	1,3·0,9	траншея	59,21	75	35	35	35	2хАА Шв(3*35)
6	Л6	ГП П-ТП6	54,07	108,15	0,076	1,3·0,9	траншея	92,43	105	50	50	50	2хАА Шв(3*50)
7	Л7	ГП П-ТП7	81,09	162,17	0,017	1,3·0,9	траншея	138,61	165	95	70	95	2хАА Шв(3*95)
до 1 кВ													
8	Л9	ТП3 - РП1	6,36	12,71	0,095	1,3·1,0	открыто	9,78	29	2,5	2,5	2,5	2хАВ ВГ(3*2,5)
9	Л10	ТП3 - РП2	15,24	30,47	0,137	1,3·1,0	открыто	23,44	29	2,5	2,5	2,5	2хАВ ВГ(3*2,5)
10	Л11	ТП4 - РП3	36,90	73,81	0,070	1,3·1,0	открыто	56,78	70	10	10	10	2хАВ ВГ(3*10)
11	Л12	ТП4 - РП4	7,38	14,76	0,060	1,3·1,0	открыто	11,36	29	2,5	2,5	2,5	2хАВ ВГ(3*2,5)



Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
13	Л1 3	ТП4 - РП5	36, 76	73, 53	0,1 05	1,3· 1,0	откр ыто	56,5 6	70	10	10	10	2хАВ ВГ(3* 10)
14	Л1 4	ТП5 - РП6	11, 11	22, 23	0,1 30	1,3· 1,0	откр ыто	17,1 0	29	2,5	2,5	2,5	2хАВ ВГ(3* 2,5)
15	Л1 5	ТП5 - РП7	13, 69	27, 39	0,0 70	1,3· 1,0	откр ыто	21,0 7	29	2,5	2,5	2,5	2хАВ ВГ(3* 2,5)

Таблица 13- Расчет кабельных линий распределительной сети (вариант №2)

№ п / п	На име нов ани е лин ии	Назн ачен ие лин ии	Расчётн ая нагрузк а		l, м	Поп рав. Коэ ф- ты	Спо соб про клад ки	Допустима я нагрузка		Sнагр ., мм <sup>2</sup>	Sэ. , мм <sup>2</sup>	SΔи, мм <sup>2</sup>	марка, сечени е и кол-во КЛ
			Ip. ав.	Ip. н.				Г до п.ав .	Доп .				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
выше 1 кВ													
1	Л1	ГПП - ТП1	68, 04	13 6, 09	0,2 07	1,3· 0,9	тран шея	116, 31	13 5	70	50	70	2хАА Шв(3* 70)
2	Л2	ГПП - ТП2	65, 45	13 0, 90	0,3 94	1,3· 0,9	тран шея	111, 88	13 5	70	50	70	2хАА Шв(3* 70)
3	Л3	ГПП - ТП3	36, 59	73, 1 9	0,3 40	1,3· 0,9	тран шея	62,5 5	75	35	35	35	2хАА Шв(3* 35)
4	Л4	ГПП - ТП4	89, 98	17 9, 97	0,0 68	1,3· 0,9	тран шея	153, 82	16 5	95	70	95	2хАА Шв(3* 95)
5	Л5	ГПП - ТП5	54, 07	10 8, 15	0,0 76	1,3· 0,9	тран шея	92,4 3	10 5	50	50	50	2хАА Шв(3* 50)
6	Л6	ГПП - ТП6	81, 09	16 2, 17	0,0 17	1,3· 0,9	тран шея	138, 61	16 5	95	70	95	2хАА Шв(3* 95)
7	Л7	ГПП - ТП7	45, 04	90 0, 8	0,0 70	1,3· 0,9	тран шея	76,9 9	10 5	50	50	50	2хАА Шв(3* 50)

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
до 1 кВ													
8	Л8	ТП3 - РП1	6,3 6	12 ,7 1	0, 09 5	1,3· 1,0	откр ыто	9,78	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
9	Л9	ТП3 - РП2	15, 24	30 ,4 7	0, 13 7	1,3· 1,0	откр ыто	23,4 4	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
1 0	Л1 0	ТП4 - РП3	36, 90	73 ,8 1	0, 07 0	1,3· 1,0	откр ыто	56,7 8	70	10	10	10	2хАВВ Г(3*10 )
1 1	Л1 1	ТП4 - РП4	7,3 8	14 ,7 6	0, 06 0	1,3· 1,0	откр ыто	11,3 6	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
1 2	Л1 2	ТП4 - РП5	36, 76	73 ,5 3	0, 10 5	1,3· 1,0	откр ыто	56,5 6	70	10	10	10	2хАВВ Г(3*10 )
1 3	Л1 3	ТП1 - РП6	11, 11	22 ,2 3	0, 13 0	1,3· 1,0	откр ыто	17,1 0	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
1 4	Л1 4	ТП1 - РП7	13, 69	27 ,3 9	0, 07 0	1,3· 1,0	откр ыто	21,0 7	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
1 5	Л1 5	ТП7 - РП8	26, 17	52 ,3 4	0, 06 8	1,3· 1,0	откр ыто	40,2 6	70	10	10	10	2хАВВ Г(3*10 )
1 6	Л1 6	ТП7 - РП9	3,7 2	7, 44	0, 05 5	1,3· 1,0	откр ыто	5,72	29	2,5	2,5	2,5	2хАВВ Г(3*2,5 )
1 7	Л1 7	ТП1 - РП1 0	32, 34	64 ,6 7	0, 18 4	1,3· 1,0	откр ыто	49,7 5	70	10	10	10	2хАВВ Г(3*10 )

## 2.9 Выводы по разделу 2

Согласно таблицы 3 расчетная нагрузка по всему заводу составляет  $S_{p\Sigma} = 14493,33$  кВА. Центр электрических нагрузок находится в координатах  $X_0=212,64$  мм и  $Y_0=171,67$  мм. Центрами питания являются 8 цеховых трансформаторных подстанций и 10 распределительных пунктов.

### 3 Технико-экономическое сравнение вариантов схем электроснабжений и выбор окончательной схемы

При оценке двух возможных вариантов применения систем электроснабжения учитываются два основных фактора, влияющих на выбор того или иного варианта:

- технический фактор, учитывающий все риски связанные с монтажом и дальнейшей эксплуатацией системы электроснабжения промышленного предприятия;

- экономический фактор, учитывающий финансовые затраты на построение системы электроснабжения.

Наиболее распространенным способом сравнения является оценка эффективности проекта по минимальным приведенным затратам;

$$Z = p_n K + C_э, \text{ тыс. руб/год,} \quad (41)$$

где  $p_n$  - нормативный коэффициент экономической эффективности, равный 0,15;

$K$  – капитальные единовременные вложения, тыс. руб/год (в общем случае состоят из капитальных затрат на сооружение питающих линий  $K_{л}$ , установку высоковольтной аппаратуры  $K_{ап}$  и установку силовых трансформаторов  $K_{т}$ );

$C_э$  – ежегодные эксплуатационные расходы тыс. руб/год;

$$C_э = C_{п} + C_{а}, \quad (42)$$

где  $C_{п}$  – стоимость потери электроэнергии, тыс. руб/год,

$C_{а}$  – стоимость потерь, тыс. руб/год.

«При выборе схемы внешнего электроснабжения промышленного предприятия на основе технико-экономических расчётов определяют сечения проводов и жил кабелей питающих линий и рациональное напряжение» [22].

«Экономически целесообразное сечение определяют в результате сопоставления приведённых затрат для линий, имеющих различное сечение. За основу принимают стандартное сечение, выбранное по техническим условиям. Дополнительно рассматривают стандартные ближайшее большее и ближайшее меньшее сечение» [23].

Рассчитываются приведённые статьи затрат, а затем изображается график зависимости  $Z=f(s)$ .

Капитальные вложения на создание системы электроснабжения на предприятии в целом определяются по формуле:

$$K=K_{л}+K_{т}+K_{э.а}, \quad (43)$$

где  $K_{л}$  – капитальные вложения на строительство линий;

$K_{а}$  – капитальные вложения на монтаж высоковольтной техники;

$K_{т}$  – капитальные вложения на монтаж силовых трансформаторов

Годовые эксплуатационные расходы на систему электроснабжения определяются из выражения:

$$C_{э}=C_{п}+C_{а}, \quad (44)$$

где  $C_{п}$  – стоимость годовых затрат на оплату расхода электроэнергии в линиях и аппаратах системы электроснабжения предприятия;

$C_{а}$  – стоимость годовых затрат на амортизацию.

$$C_{а}=\varphi K, \quad (45)$$

где  $\varphi$  – коэффициент приведения. Принимаем  $\varphi =0,05$  для линий электропередач,  $\varphi =0,1$  для трансформаторов и электрических аппаратов

$$C_a = C_{ал} + C_{ат} + C_{а.эа}, \quad (46)$$

$$C_{п} = C_{п.т} + C_{п.л}, \quad (47)$$

где

$$C_{п.л} = \Delta \mathcal{E} \cdot C_0, \quad (48)$$

$C_0 = 9$  руб/кВт·ч – цена электрической энергии;

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P_{л} \cdot T_{г}, \quad (49)$$

где  $\Delta P_{л}$  - суммарные потери в проводах и кабелях;

$\Delta P_{н}$  - нагрузочные потери на один километр линии.

$$\Delta P_{л} = \Delta P_{н} \cdot L \cdot K_{23}, \quad (50)$$

Суммарные потери на трансформаторах:

$$\Delta P_{т} = \Delta P_{/х} + \Delta P_{/к} \cdot K_{23} \quad (51)$$

потери х.х:

$$\Delta P_{/х} = \Delta P_{х} + K_{ип} \Delta Q_{х}, \quad (52)$$

$$\Delta Q_{х} = I_{х} / 100 \cdot S_{н.тр} \quad (53)$$

потери к.з.:

$$\Delta P_{/к} = \Delta P_{к} + K_{ип} \Delta Q_{к}, \quad (54)$$

$$\Delta Q_{к} = U_{х} / 100 \cdot S_{н.тр} \quad (55)$$

### 3.1 Техничко-экономический расчет кабельных линий

Результаты технико-экономического расчета кабелей сведены в таблицы 14 и 15.

Таблица 14 - Расчет затрат на кабельные линии (вариант №1)

№ линии	Назначение линии	Марка, сечение и количество кабелей	$l$ , км	Цена 1 км, т.р.	$K_1$ , тыс. руб.	$K_3$	$K_3^2$	$\Delta P_n$ , кВт/км	$\Delta P_{л.}$ , кВт	$\Delta \mathcal{E}$ , кВт×ч	$C_n$ , тыс.руб.	$C_a$ , тыс.руб.	
1	2	3	4	5	6	9	10	12	13	14	15	16	
Линии 6 кВ													
Л1	ГПП-ТП1	2хААШв(3*35)	0,404	106	85,65	0,45	0,20	42	6,77	27090,18	34,46	4,28	
Л2	ГПП-ТП2	2хААШв(3*70)	0,394	237	186,76	0,49	0,24	44	8,17	32683,80	41,57	9,34	
Л3	ГПП-ТП3	2хААШв(3*35)	0,340	106	72,08	0,49	0,24	42	6,80	27194,67	34,59	3,60	
Л4	ГПП-ТП4	2хААШв(3*95)	0,068	360	48,96	0,55	0,30	42	1,70	6795,42	8,64	2,45	
Л5	ГПП-ТП5	2хААШв(3*35)	0,207	106	43,88	0,46	0,21	42	3,71	14835,61	18,87	2,19	
Л6	ГПП-ТП6	2хААШв(3*50)	0,076	196	29,79	0,51	0,27	44	1,77	7094,75	9,02	1,49	
Л7	ГПП-ТП7	2хААШв(3*95)	0,017	360	12,46	0,49	0,24	42	0,35	1403,79	1,79	0,62	
Л8	ГПП-ТП8	2хААШв(3*50)	0,070	196	27,44	0,43	0,18	46	1,19	4740,24	6,03	1,37	
Линии 0,4 кВ													
Л9	ТП3-РП1	2хАВВГ(3*2,5)	0,095	6	5,55	0,57	0,32	10	0,31	1228,58	1,56	0,28	
Л10	ТП3-РП2	2хАВВГ(3*2,5)	0,137	6	1,64	0,53	0,28	2	0,15	605,16	0,77	0,08	
Л11	ТП4-РП3	2хАВВГ(3*10)	0,070	25	3,50	0,53	0,28	0,3	0,01	46,69	0,06	0,18	
Л12	ТП4-РП4	2хАВВГ(3*2,5)	0,060	6	0,72	0,25	0,06	0,3	0,00	9,33	0,01	0,04	
Л13	ТП4-РП5	2хАВВГ(3*10)	0,105	25	5,25	0,53	0,28	21	1,22	4865,75	6,19	0,26	
Л14	ТП5-РП6	2хАВВГ(3*2,5)	0,130	6	1,56	0,38	0,15	5	0,19	763,55	0,97	0,08	
Л15	ТП5-РП7	2хАВВГ(3*2,5)	0,070	6	0,84	0,47	0,22	0,3	0,01	37,46	0,05	0,04	
Л16	ТП8-РП8	2хАВВГ(3*10)	0,068	25	3,40	0,37	0,14	2	0,04	152,05	0,19	0,17	
Л17	ТП8-РП9	2хАВВГ(3*2,5)	0,055	6	0,66	0,13	0,02	2	0,00	14,48	0,02	0,03	
итого						530,14				32,39	129561,51	164,80	26,51

Таблица 15 - Расчет затрат на кабельные линии (вариант №2)

№ линии	Назначение линии	Марка, сечение и количество кабелей	$l$ , км	Цена 1 км, т.р.	$K_1$ , тыс. руб.	$K_3$	$K_3^2$	$\Delta P_n$ , кВт/км	$\Delta P_{л.}$ , кВт	$\Delta \mathcal{E}$ , кВт×ч	$C_n$ , тыс.руб.	$C_a$ , тыс.руб.
1	2	3	4	5	6	9	10	12	13	14	15	16
Линии 10 кВ												
Л1	ГПП-ТП1	2хААШв(3*70)	0,207	237	98,12	0,50	0,25	42	4,42	17668,86	22,47	4,91
Л2	ГПП-ТП2	2хААШв(3*70)	0,394	237	186,76	0,48	0,24	44	8,15	32597,16	41,46	9,34
Л3	ГПП-ТП3	2хААШв(3*35)	0,340	106	72,08	0,49	0,24	46	7,45	29784,63	37,89	3,60
Л4	ГПП-ТП4	2хААШв(3*95)	0,068	360	48,96	0,55	0,30	42	1,70	6795,42	8,64	2,45

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Л5	ГПП-ТП5	2хААШВ(3*50)	0,076	196	29,79	0,51	0,27	44	1,77	7094,75	9,02	1,49
Л6	ГПП-ТП6	2хААШВ(3*95)	0,017	360	12,46	0,49	0,24	42	0,35	1403,79	1,79	0,62
Л7	ГПП-ТП7	2хААШВ(3*50)	0,070	196	27,44	0,43	0,18	46	1,19	4740,24	6,03	1,37
Линии 0,4 кВ												
Л8	ТП3-РП1	2хАВВГ(3*2,5)	0,095	6	5,55	0,57	0,32	10	0,31	1228,58	1,56	0,28
Л9	ТП3-РП2	2хАВВГ(3*2,5)	0,137	6	1,64	0,53	0,28	2	0,15	605,16	0,77	0,08
Л10	ТП4-РП3	2хАВВГ(3*10)	0,070	25	3,50	0,53	0,28	0,3	0,01	46,69	0,06	0,18
Л11	ТП4-РП4	2хАВВГ(3*2,5)	0,060	6	0,72	0,25	0,06	0,3	0,00	9,33	0,01	0,04
Л12	ТП4-РП5	2хАВВГ(3*10)	0,105	25	5,25	0,53	0,28	21	1,22	4865,75	6,19	0,26
Л13	ТП1-РП6	2хАВВГ(3*2,5)	0,130	6	1,56	0,38	0,15	5	0,19	763,55	0,97	0,08
Л14	ТП1-РП7	2хАВВГ(3*2,5)	0,070	6	0,84	0,47	0,22	0,3	0,01	37,46	0,05	0,04
Л15	ТП7-РП8	2хАВВГ(3*10)	0,068	25	3,40	0,37	0,14	2	0,04	152,05	0,19	0,17
Л16	ТП7-РП9	2хАВВГ(3*2,5)	0,055	6	0,66	0,13	0,02	2	0,00	14,48	0,02	0,03
Л17	ТП1-РП10	2хАВВГ(3*10)	0,184	25	9,20	0,46	0,21	2	0,16	628,27	0,80	0,46
итого					507,93				27,11	108436,18	137,93	25,40

### 3.2 Техничко-экономический расчет трансформаторных подстанций

Далее производится расчет капитальных затрат на трансформаторы и выключатели по следующим формулам.

Капитальные затраты на трансформаторы подстанции:

$$K_T = n \cdot C_T, \quad (56)$$

где  $n$  – число трансформаторов,

$C_T$  – стоимость одного трансформатора.

Затраты на выключатели:

$$K_B = n \cdot C_B. \quad (57)$$

где  $n$  – количество выключателей,

$C_B$  – цена одного выключателя.

Расчет амортизационных затрат.

Цена потерь электричества в трансформаторах:

$$\Delta \mathcal{E}_T = \Delta P_T \cdot T_T, \quad (58)$$

где  $\Delta P_T$  - суммарные потери в трансформаторе, принимаем в учебных проектах  $T_T = 4000$ .

Цена потерь электричества в трансформаторах:

$$C_{ПТ} = \Delta \mathcal{E}_T \cdot C_0, \quad (59)$$

Амортизационные затраты на трансформаторы:

$$C_{aT} = K_T \cdot \varphi_T, \quad (60)$$

где  $\varphi_T = 10\%$  - для трансформатора.

Амортизационные расходы на выключатели:

$$C_B = \varphi_B \cdot K_B, \quad (61)$$

где  $\varphi_B = 10\%$ .

Результаты технико-экономического расчета трансформаторов для трех вариантов схем электроснабжения приведены в таблицах 16 и 17.

Таблица 16 - ТЭР трансформаторов (вариант №1)

ТЭР трансформаторов								
№ ТП	Кол-во тр-ров	$S_{\text{ном.тр.}}$ , кВА	Цена, тыс.руб.	$K_T$ , тыс.руб.	$C_{aT}$ , тыс.руб.	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta \mathcal{E}$ , МВт ч /год	$C_{\text{п.т.}}$ , тыс.руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП - 1	2	400	135	270	27	3,53	28,22	62,93
ТП - 2	2	1000	348	696	69,6	6,12	48,97	109,19



Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП - 3	2	630	190	380	38	1,57	12,54	27,97
ТП - 4	2	1600	516	1032	103,2	6,87	54,97	122,59
ТП - 5	2	630	190	380	38	1,36	10,91	24,32
ТП - 6	2	1000	348	696	69,6	4,80	38,37	85,57
ТП - 7	2	1000	348	696	69,6	7,71	61,65	137,48
ТП-8	2	630	190	380	38	1,65	13,21	29,45
				4530	453	33,60	268,84	599,51

Таблица 17 - ТЭР трансформаторов (вариант №2)

ТЭР трансформаторов								
№ ТП	Кол-во тр-ров	S <sub>ном.тр.</sub> , кВА	Цена, тыс.руб.	K <sub>т</sub> , тыс.руб.	C <sub>а.т.</sub> , тыс.руб.	ΔP <sub>т</sub> , кВт	ΔЭ, МВт ч /год	C <sub>п.т.</sub> , тыс.руб.
ТП - 1	2	1000	348	696	69,6	6,64	53,14	118,51
ТП - 2	2	1000	348	696	69,6	5,88	47,04	104,90
ТП - 3	2	630	190	380	38	1,57	12,54	27,97
ТП - 4	2	1600	516	1032	103,2	6,87	54,97	122,59
ТП - 5	2	1000	348	696	69,6	4,80	38,37	85,57
ТП - 6	2	1000	348	696	69,6	7,71	61,65	137,48
ТП - 7	2	630	190	380	38	1,65	13,21	29,45
				4576	457,60	35,12	280,93	626,48

### 3.3 Технико-экономический расчет высоковольтных выключателей

Расчет произведем на примере линии Л-3.

В линии Л-3 расположено два выключателя марки ВБЭК-10-630-20УХЛЗ, цена каждого выключателя  $C_B=135$  тыс. руб.

Капитальные затраты на выключатели:

$$K_B = n \cdot C_B, \text{ тыс.руб} \quad (62)$$

$$K_B = 2 \cdot 135 = 270 \text{ тыс. руб}$$

Норма амортизации выключателей:

$$C_B = \varphi_B \cdot K_B, \text{ тыс. руб.}, \quad (63)$$

где  $\varphi_B=10\%$ .

$$C_B = 0,10 \cdot 270 = 27 \text{ тыс. руб}$$

Результаты технико-экономического расчета высоковольтных выключателей для трех вариантов схем электроснабжения приведены в таблицах 18 и 19.

Таблица 18 - ТЭР высоковольтных выключателей (вариант №1)

ТЭР выключателей					
Назначение линии	Кол-во выкл.	Марка выключателей	Цена, тыс.руб.	$K_B$ , тыс.руб.	$C_{ав.}$ , тыс.руб.
ГПП-ТП1	2	ВБЭК6-10-400-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП2	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП3	2	ВБЭК6-10-630-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП4	2	ВБЭК6-10-1600-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП5	2	ВБЭК6-10-630-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП6	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП7	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
ГПП-ТП8	2	ВБЭК6-10-630-20УХЛЗ	135	270	27
		Итого		2160	216

Таблица 19 - ТЭР высоковольтных выключателей (вариант №2)

№ п/п	ТЭР выключателей					
	Назначение линии	Кол-во выкл.	Марка выключателей	Цена, тыс.руб.	К <sub>в</sub> , тыс.руб.	С <sub>алв.</sub> , тыс.руб.
1	ГПП-ТП1	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
2	ГПП-ТП2	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
3	ГПП-ТП3	2	ВБЭК6-10-630-20УХЛЗ	135	270	27
4	ГПП-ТП4	2	ВБЭК6-10-1600-20УХЛЗ	135	270	27
5	ГПП-ТП5	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
6	ГПП-ТП6	2	ВБЭК6-10-1000-20УХЛЗ	135	270	27
7	ГПП-ТП7	2	ВБЭК6-10-630-20УХЛЗ	135	270	27
		Итого			1890	189

### 3.4 Технико-экономическое сравнение вариантов и выбор схемы электроснабжения

Окончательное технико-экономическое сравнение вариантов проводим по формулам (64...68).

Разовые капитальные вложения (64)

$$K = K_T + K_L + K_B \quad (64)$$

Цена потерь электроэнергии (65)

$$C_{\Pi} = C_{\PiЛ} + C_{\PiТ} \quad (65)$$

Стоимость амортизации (66)

$$C_a = C_{ал} + C_{ат} + C_{ав} \quad (66)$$

Годовые расходы на эксплуатацию (67)

$$C_{\text{Э}} = C_{\text{П}} + C_{\text{а}} \quad (67)$$

Затраты (68)

$$З = p_{\text{Н}} \cdot K + C_{\text{Э}} \quad (68)$$

Рассмотрим на примере варианта №1:

$$K = 4560 + 530,14 + 2160 = 7220,14 \text{ тыс.руб.}$$

$$C_{\text{П}} = 164,80 + 599,51 = 764,31 \text{ тыс.руб.}$$

$$C_{\text{а}} = 26,51 + 453 + 216 = 695,51 \text{ тыс.руб.}$$

$$C_{\text{Э}} = 764,31 + 695,51 = 1459,82 \text{ тыс.руб.}$$

$$З = 0,15 \cdot 7220,14 + 1459,82 = 2542,84 \text{ тыс.руб.}$$

Результаты расчетов приведены в таблице 20.

Таблица 20 - Техничко-экономическое сравнение вариантов

№ варианта	$K_{\text{т}}$ , тыс.руб.	$K_{\text{л}}$ , тыс.руб.	$K_{\text{в}}$ , тыс.руб.	$K$ , тыс.руб.	$C_{\text{ав}}$ , тыс.руб.	$C_{\text{ап}}$ , тыс.руб.	$C_{\text{ав}}$ , тыс.руб.	$C_{\text{ип}}$ , тыс.руб.	$C_{\text{ип}}$ , тыс.руб.	$C_{\text{э}}$ , тыс.руб.	$З$ , тыс.руб.
1	4530	530,14	2160	7220,14	453	26,51	216	164,80	599,51	1459,82	2542,84
2	4576	507,93	1890	6973,93	457,6	25,40	189	137,93	626,48	1436,40	2482,49

Таким образом, наиболее экономически выгодным является вариант электроснабжения №2.

### 3.5 Выводы по разделу 3

При сравнении двух возможных вариантов применения систем электроснабжения учитывали два основных фактора, влияющих на выбор того или иного варианта: технический и экономический.

Способом сравнения выбрал оценку эффективности проекта по минимальным приведенным затратам, которые были определены по различным категориям.

Размер затрат по выбранному варианту составил:

- $K = 7220,14$  тыс.руб.
- $C_{\Pi} = 764,31$  тыс.руб.
- $C_a = 695,51$  тыс.руб.
- $C_э = 1459,82$  тыс.руб.
- $Z = 2542,84$  тыс.руб.

Суммарные затраты по второму варианту электроснабжения оказались ниже чем у первого варианта на 60350 рублей.

## **4 Расчет токов короткого замыкания**

### **4.1 Определение тока КЗ**

Проверка правильности выбора аппаратов и проводников напряжением 6 - 35 кВ производится по току трехфазного короткого замыкания (к.з.), а напряжением 110 кВ и выше - по току трехфазного или однофазного к.з. Расчет токов к.з. производят в основных коммутационных узлах схемы электроснабжения. Для определения наибольшего возможного тока к.з. в каждом узле следует считать включенными все генераторы в системе, все трансформаторы и линии электропередачи (ЛЭП) подстанции.

Для вычисления токов короткого замыкания по расчетной схеме составляют схему замещения, в которой указывают сопротивления всех источников и потребителей, и намечают вероятные точки для расчета токов короткого замыкания.

Для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения необходимо правильно определить токи короткого замыкания и по ним выбирать электрооборудование и защитную аппаратуру.

Для выбора аппаратов и проводников, для определения воздействия на несущие конструкции при расчете токов короткого замыкания исходим из следующих положений. Все источники, участвующие в питании рассматриваемых точек короткого замыкания, работают с номинальной нагрузкой.

Короткое замыкание наступает в такой момент времени, при котором ток короткого замыкания имеет наибольшее значение. Электродвижущие силы всех источников питания совпадают по фазе. Расчет производим в относительных единицах.

Схема замещения представлена на рисунке 3.

Определяем базисный ток по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (69)$$

$$I_6 = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 6} = 0,96 \text{ кА.}$$

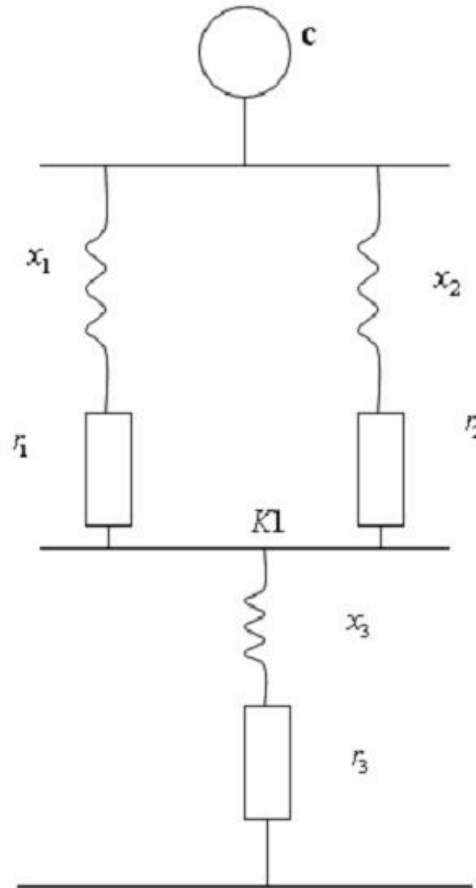


Рисунок 3- Схема замещения

Рассчитаем сопротивления элементов схемы замещения в базисных единицах:

$$r_1 = r_2 = \frac{\Delta P_k \cdot S_{\acute{a}}}{S_{\grave{i}\grave{i}\grave{o}}}, \quad (70)$$

$$x_1 = x_2 = \sqrt{\left(\frac{U_k}{100}\right)^2 - r_1^2} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{НОМ.Т.}}}. \quad (71)$$

Для кабельной линии:

$$x_3 = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\dot{a}}}{U_{\dot{a}}^2}, \quad (72)$$

$$r_3 = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\dot{e}}}{U_{\dot{e}}^2}, \quad (73)$$

$$r_1 = r_2 = \frac{194 \cdot 10^{-3} \cdot 10}{10} = 0,194,$$

$$x_1 = x_2 = \sqrt{\left(\frac{380}{100}\right)^2 - 0,194^2} \cdot \frac{10}{10} = 3,8,$$

$$x_3 = 0,43 \cdot 18 \cdot \frac{10}{6^2} = 2,15,$$

$$r_3 = 0,42 \cdot 18 \cdot \frac{10}{6^2} = 2,1,$$

Суммарное сопротивление до точки К2:

$$x_{\Sigma_2} = x_1 \parallel x_2 + x_3 = 1,9 + 2,15 = 4,05, \quad (74)$$

$$r_{\Sigma_2} = r_1 \parallel r_2 + r_3 = 0,1 + 2,1 = 2,2. \quad (75)$$

Суммарное сопротивление до точки К1:

$$x_{\Sigma_1} = \frac{x_1 + x_2}{2} = 3,8, \quad (76)$$

$$r_{\Sigma_1} = \frac{r_1 + r_2}{2} = 0,194. \quad (77)$$

Производится проверка по условию:

$$r_{\Sigma} < \frac{x_{\Sigma}}{3} \quad (78)$$



Для точки К1:  $0,194 < 3,8/3$  условие выполняется, для точки К2:  $2,2 > 4,05/3$  условие не выполняется. Тогда в первом случае реактивное сопротивление не учитывается, а во втором случае реактивное сопротивление учитывается.

Таким образом, ток короткого замыкания в рассмотренных точках составляет:

$$I_k = \frac{I_a}{Z_\Sigma}, \quad (79)$$

$$I_{k1} = \frac{0,96}{0,194} = 0,93 \text{ кА}$$

$$I_{k2} = \frac{0,96}{\sqrt{2,2^2 + 4,05^2}} = 0,21 \text{ кА}$$

Определяем ударный ток в точках короткого замыкания К1 и К2 в зависимости от отношения реактивного и активного сопротивлений  $X_\Sigma/r_\Sigma$ . Для точки К1  $K_{уд1} = 1,1$ ; для точки К2  $K_{уд2} = 1,1$ .

Ударный ток в рассмотренных точках будет равен:

$$I_{\acute{a}1} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,93 = 1,44 \text{ кА}$$

$$I_{уд2} = 1,1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,21 = 0,33 \text{ кА}$$

Мощность короткого замыкания в рассматриваемых точках:

$$S_k = \sqrt{3} \cdot U_a \cdot I_k$$

$$S_{k1} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,93 = 9,65 \text{ МВА}$$

$$S_{k2} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,21 = 2,18 \text{ МВА}$$

Расчет токов короткого замыкания для остальных точек ведется аналогично, результаты расчетов сведены, результаты расчёта приведены в таблице 21.

Таблица 21- Расчет токов короткого замыкания

Точка	$I_k$ , кА	$I_y$ , кА	$S_k$ , МВА
К1	0,93	1,44	9,65
К2	0,21	0,33	2,18
К3	0,19	0,31	1,95

#### 4.2 Выводы по разделу 4

В результате расчета тока короткого замыкания в системе электроснабжения бумажной фабрики определены ударные токи и мощность короткого замыкания в характерных точках системы. Эти данные позволили правильно выбрать электротехническое оборудование.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными производственными помещениями бумажной фабрики являются цеха бумажных машин. На рассматриваемой фабрике таких цехов пять. Обязательными вспомогательными технологическими помещениями являются трепковарка, дереворубка, варочное отделение и отбельный цеха, занимающиеся подготовкой сырья для бумажной машины. Так как при производстве бумаги используется большое количество воды, то на территории фабрики находится мощная насосная станция, осуществляющая забор воды от находящегося рядом водоема.

Питание фабрики осуществляется от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора мощностью 10000 кВА каждый, с первичным напряжением 110 кВ и вторичным – 35, 20, 10 и 6 кВ.

Был произведен расчет по двум возможным вариантам электроснабжения. В результате расчета был выбран второй вариант электроснабжения бумажной фабрики.

На ГПП установлены трансформаторы марки 2×ТДН 10000.

На предприятии имеется высоковольтная нагрузка (6 кВ), которую составляют насосная и кислородная станция.

Для повышения коэффициента мощности используются батареи конденсаторов марок УКМ-0,4 (установлены на шинах 0,4 кВ ТП).

Для питания цехов 1,7,8,2,3,5,9,10,15,16,17, имеющих небольшую мощность, используются РП питающиеся от шин 0,4 кВ ТП.

Электроснабжение обеспечивается по кабельным линиям разного сечения на напряжение 6 и 0,4 кВ.

Все коммутационные устройства входят в состав ТП, кроме высоковольтных выключателей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Стандарт IEEE 1366-2003 Индексы надежности распределения и факторы, влияющие на их расчеты [Электронный ресурс]: Информационный портал «Standart Association». URL: <https://standards.ieee.org/standard/1366-2003.html> (дата обращения 25.03.2020).
2. ГОСТ Р 51317.1.2-2007 (МЭК 61000-1-2:2001) Совместимость технических средств электромагнитная. Методология обеспечения функциональной безопасности технических средств в отношении электромагнитных помех [Электронный ресурс]: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200062133> (дата обращения 25.03.2020).
3. Коэффициенты спроса и мощности [Электронный ресурс]: Информационный портал «Справочник химика 21». URL: <https://chem21.info/page/179252217164126131217003106092239098158004204254/> (дата обращения 26.03.2020).
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. / ред. А. А. Федоров. / URL: [https://www.studmed.ru/fedorov-aa-spravochnik-po-elektrosnabzheniyu-i-elektrooborudovaniyu-tom-2\\_22d13b2efdc.html](https://www.studmed.ru/fedorov-aa-spravochnik-po-elektrosnabzheniyu-i-elektrooborudovaniyu-tom-2_22d13b2efdc.html) (дата обращения 26.03.2020).
5. Синенко, Л. С. Электроснабжение. Версия 1.0 [Электронный ресурс] : учеб. пособие по курсовому проектированию / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2018 / URL: [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u\\_practice.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/176/u_practice.pdf) (дата обращения 26.03.2020).
6. Алюнов, А.Н. Онлайн Электрик: Интерактивные расчеты систем электроснабжения / А.Н. Алюнов. URL: <https://online-electric.ru>(дата обращения 26.03.2020).
7. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.]

; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>(дата обращения 28.03.2020).

8. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>(дата обращения 28.03.2020).

9. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1> (дата обращения 29.03.2020)

10. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд., испр. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1009603> (дата обращения 01.04.2020)

11. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152> (дата обращения 01.04.2020)

12. Кокин, С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие / С.Е. Кокин, С.А. Дмитриев, А.И. Хальясма. – 2-е изд., стер. – М. : Флинта ; Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 100 с.

13. Ефременко, В. М. Анализ влияния нагрузки силовых трансформаторов на потребление реактивной мощности / В.М. Ефременко, Р.В.Беляевский // Вестн. Кузбасского гос. тех. унив., 2016. № 4. - С. 66-74.

14. Расчеты токов короткого замыкания в сетях 10/0.4 кВ: Учебное пособие. - СПб.: ПЭИПК, 2016. - 56 с.

15. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. – М : Инфра-Инженерия, 2018. – 148 с.

16. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Главы 4.1, 4.2 [Электронный ресурс]. – 7-е изд. – Электрон. текстовые данные. – М. : ЭНАС, 2013. – 104 с.

17. . СТО 56947007-29.240.30.010-2008. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35–750 кВ. Типовые решения [Электронный ресурс]. – Введ. 2007–12–20.

18. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования : РД 153-34.0-20.527-98 [Электронный ресурс] / под ред. Б.Н. Неклепаева. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 152 с.

19. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Чиркова. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2016. – 448 с.

20. Электроснабжение [Электронный ресурс] : методические указания к курсовой работе для студентов по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» профиля подготовки «Электропривод и автоматика» очной и очно-заочной форм обучения / сост. Т. В. Синюкова. - Липецк : ЛГТУ, 2017. - 26 с.

21. Кратность тока электродинамической стойкости трансформаторов тока [Электронный ресурс]: Электронный справочник «Dic.academic.ru». URL: [https://normative\\_reference\\_dictionary.academic.ru/30827/%D0%BA%D1%80%D0%B0%BE%D0%BA%D0%B0](https://normative_reference_dictionary.academic.ru/30827/%D0%BA%D1%80%D0%B0%BE%D0%BA%D0%B0) (дата обращения 18.04.2020).

22. Соколова Е.М. Электрическое и электромеханическое оборудование.- М.: Академия, 2017.- 226 с.

23. Оборудование трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Школа для электрика» URL:

<http://electricalschool.info/elstipod/1663-oborudovanie-transformatornykh.html>

(дата обращения 24.04.2020)

24. Распределительные устройства и трансформаторные подстанции [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Конструкция современного электротехнического оборудования» URL: <http://www.nasosinfo.ru/node/631> (дата обращения 24.04.2020)

25. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «ZPUE» URL: <https://zpue.com/ru/konteynernaya-transformatornaya-podstantsiya-podstantsiya-dlya-kompensatsii-reaktivnoy-moshchnosti/primernoje-resheniye> (Дата обращения 24.04.2020)

26. Трансформаторная подстанция [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «Neftegaz.ru» URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/elektrooborudovanie/141412-transformatornaya-podstantsiya/> (Дата обращения 25.04.2020)

27. National Research Council 2009. America's Energy Future: Technology and Transformation. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12091>[Electronic resource] / URL: <http://nap.edu/12091>

28. QUADRENNIAL TECHNOLOGY REVIEW AN ASSESSMENT OF ENERGY TECHNOLOGIES AND RESEARCH OPPORTUNITIES Chapter 3: Enabling Modernization of the Electric Power System September 2015 [Electronic resource] / URL: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/03/f34/qtr-2015-chapter3.pdf>

29. High and Medium Voltage Switchgear. Portfolio of Solutions EFACEC [Electronic resource] / URL: [https://www.efacec.pt/en/wp-content/uploads/2016/10/CS243I1410B1\\_low.pdf](https://www.efacec.pt/en/wp-content/uploads/2016/10/CS243I1410B1_low.pdf)

30. How Paper is Made. The Fourdrinier Machine. [Electronic resource] / Informational portal «EDUqas» URL: [http://resource.download.wjec.co.uk.s3.amazonaws.com/vtc/2016-17/16-17\\_1-4/website/category/5/1papers\\_and\\_boards/category\\_and\\_standards/media/documents/Making%20Paper.pdf](http://resource.download.wjec.co.uk.s3.amazonaws.com/vtc/2016-17/16-17_1-4/website/category/5/1papers_and_boards/category_and_standards/media/documents/Making%20Paper.pdf)

31. Nita, V., Castellani, V., Sala, S., Consumer's behaviour in assessing environmental impact of consumption - State of the art and challenges for modelling consumer's behaviour in life cycle based indicators , EUR 28886 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017.

32. Joshua Gentges. Electrical Injuries in the Emergency Department: An Evidence-Based Review. *Emergency Medicine Practice*. November 2018 [Electronic resource] / URL: <https://med.fsu.edu/sites/default/files/userFiles/1118%20Electrical%20Injuries%20EMP.pdf>