

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Усенова Назугум Азизжановна

Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5B071800 – «Электроэнергетика»

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой

PhD, ассоц профессор



\_\_\_\_\_  
Е.А.Сарсенбаев

«09» июнь 2021 г.

## ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами

Специальность 5B071800 – «Электроэнергетика»

Выполнила

Усенова Н. А.



Научный руководитель

лектор, маг.техн.наук



\_\_\_\_\_  
Т.С. Малдыбаева

«» июнь 2021г.

Алматы 2021  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

**УТВЕРЖАЮ**

Заведующий кафедрой

PhD, ассоц профессор

  
Е.А.Сарсенбаев  
«09» июня 2021 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломной работы**

Обучающейся Усеновой Назугум Азизжановне

Тема: «Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводниками».

Утверждена приказом проректора университета №345 - П от «27» января 2021г.

Срок сдачи законченной работы «» июня 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе: Питание осуществляется от подстанции энергосистемы, где работают 2 трансформатора мощностью 40 МВт, напряжением 110/37кВ. Трансформаторы работают параллельно. Реактивное сопротивление системы на стороне 110кВ, отнесенное к мощности системы -0,4. Расстояние от энергосистемы до завода 5 км. Завод работает в 2 смены.

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

- а) электроснабжение завода тяжелого машиностроения;
- б) воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводниками;

Перечень графического материала: Графический материал подготовить в виде презентации


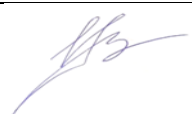

Рекомендуемая основная литература: 10 наименований.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

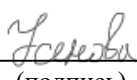
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Основная часть. Электроснабжение завода тяжелого машиностроения	20.04.2021г.	<i>Выполнено</i>
Специальная часть. Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами	10.05.2021г.	<i>Выполнено</i>

**Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием  
относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Малдыбаева Т.С., PhD, ассистент-профессор	20.04.2021г.	
Специальная часть	Малдыбаева Т.С., PhD, ассистент-профессор	10.05.2021г.	
Нормаконтроль	Бердибеков А.О., сениор-лектор	09.06.2021г.	

Научный руководитель  \_\_\_\_\_ Малдыбаева Т.С.

Задание принял к исполнению обучающийся  \_\_\_\_\_ Усенова Н.А.  
(подпись)

Дата « 03 » февраля 2021 г.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс өздігінен оқшауланған сымдармен электр берудің әуе желілерінің зерттеуіне арналған. Жұмыста оқшауланған өзін-өзі қолдайтын сымдардың түрлері, қолдану салалары, артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Жұмыстың екінші бөлімінде энергия саласындағы әлемдік ғалымдардың зерттеулеріне сүйене отырып, өзін-өзі ақтайтын оқшауланған сымды қолданғаннан кейінгі энергия тиімділігіне талдау жасалынды.

## **АННОТАЦИЯ**

Дипломная работа посвящена исследованию воздушных линий электропередач с самонесущими изолированными проводами. В работе выявлены модели СИП, области применения, преимущества и недостатки.

Во второй части работы проведен анализ энергоэффективности после замены обычных проводов на провода СИП, на основании исследований мировых ученых в области энергетики.

## **ANNOTATION**

Thesis is devoted to the study of overhead power lines with self-supporting insulated wires. The work identifies self-supporting insulated wire models, areas of application, advantages and disadvantages.

In the second part of the work, an analysis of energy efficiency after the use of self-supporting insulated wire is carried out, based on research by world scientists in the field of energy.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Основная часть. Электроснабжение завода тяжелого машиностроения	10
1.1	Исходные данные на проектирование	10
1.2	Расчет электрических нагрузок	11
1.2.1	Расчет электрических силовых нагрузок по цехам 0,4кВ	11
1.2.2	Расчет осветительных нагрузок	12
1.2.3	Нахождение числа трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4кВ	17
1.2.4	Компенсация реактивной мощности	17
1.2.5	Детализированный расчет электрических нагрузок по заводу тяжелого машиностроения	19
1.3	Выбор схемы внешнего электроснабжения	25
2	Специальная часть. Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами	31
2.1	Общие сведения о самонесущих изолированных проводах	31
2.2	Виды и устройство самонесущих изолированных проводов	32
2.3	Основные преимущества СИП	34
2.3.1	Преимущества СИП над обычными проводами ВЛ	34
2.4	Сравнительный анализ обычных проводов и ВЛ с СИП	35
	Заключение	39
	Список использованной литературы	40



## ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день оптимизация электрической энергии является одной из основных задач внутренней политики Казахстана. В связи с постоянным ростом стоимости электроэнергии и потерь, которым ранее практически не оказывали внимание, сегодня стали стоить очень дорого.

Для решения данной проблемы последние несколько лет активно запускаются проекты, исследования направленные на энергоэффективность и энергосбережение. Поставлены определенные задачи, а именно:

- 1) Повышение пропускной способности электросетей;
- 2) Снижение потерь при передаче энергии;
- 3) Повышение долговечности и надежности ЛЭП, наладка бесперебойности электроэнергии в зонах с очень холодным и очень жарким климатом.

Рост числа потребителей электроэнергии и ежедневное развитие электрических сетей обуславливают множественные подключения. Некоторые ответвления невозможно выполнить с помощью обычных оголенных проводов, из-за риска схлестывания и т.д. В таких случаях на смену обычным проводам приходят самонесущие изолированные провода (СИП).

СИП прочно основались не только для создания вводов в промышленные объекты или жилые помещения, но и используются в магистральных линиях воздушных линий электропередачи. Такая популярность провода СИП связана с его многочисленными преимуществами в сравнении с другими проводами.

# 1. Основная часть. Электроснабжение завода тяжелого машиностроения

## 1.1 Исходные данные на проектирование

- 1) Схема генерального плана завода (см. рисунок 1).
- 2) Сведения об электрических нагрузках по цехам завода.
- 3) Питание осуществляется от подстанции энергосистемы, где работают 2 трансформатора мощностью 40 МВт, напряжением 110/37кВ. Трансформаторы работают параллельно. Реактивное сопротивление системы на стороне 110кВ, отнесенное к мощности системы -0,4.
- 4) Расстояние от энергосистемы до завода 5 км.
- 5) Завод работает в 2 смены.

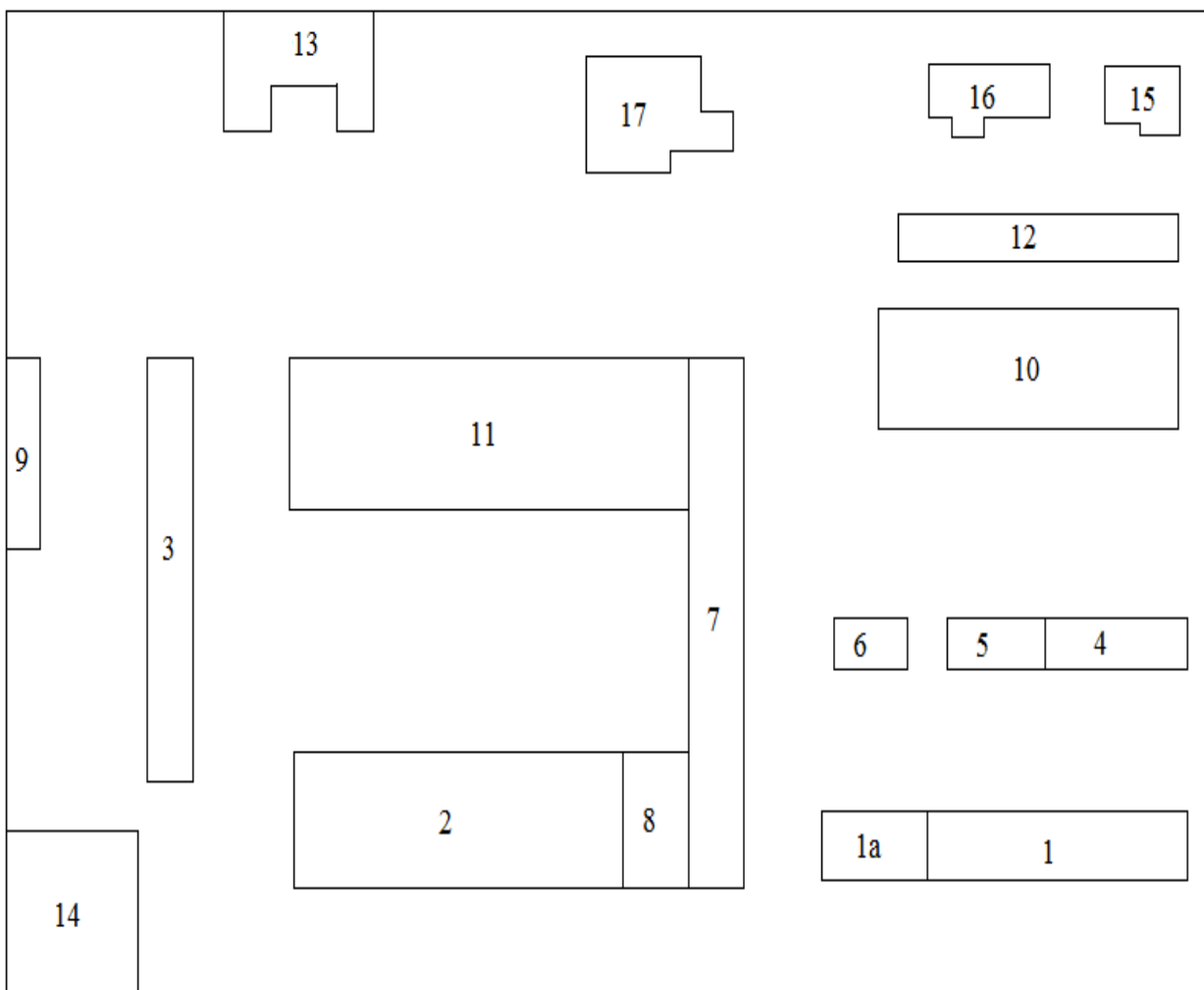


Рисунок 1- Генплан завода тяжелого машиностроения

Таблица 1 – Исходные данные по заводу

№ цехов	Наименование цехов	n	Номинальная мощность, кВт		m	К <sub>и</sub>	cosφ / tgφ
			Одного ЭП, P <sub>н</sub>	ΣP <sub>н</sub>			
1	Цех обработки цветных металлов	100	1-40	1800	>3	0,7	0,8/0,75
1a	Отделение цеха обработки цветных металлов	34	10-175	650	>3	0,4	0,8/0,75
2	Механический цех №2	250	1-50	3700	>3	0,3	0,7/1
3	Механический цех №3	120	1-40	1900	>3	0,3	0,7/1
4	Инструментальный цех	40	1-80	950	>3	0,3	0,7/1
5	Электроремонтный цех	50	1-50	870	>3	0,35	0,75/0,88
6	Деревообрабатывающий цех	30	1-30	250	>3	0,25	0,7/1
7	Сборочный цех	50	1-80	1400	>3	0,3	0,7/1
8	Склад готовой продукции	10	1-30	70	>3	0,2	0,5/1,73
9	Компрессорная						
	а) 0,4кВ	10	10-20	180	<3	0,6	0,7/1
	б) СД 10кВ	4	1600	6000	>3	0,75	0,85/0,62
10	Цех черного литья						
	а) 0,4кВ	50	1-50	2250	>3	0,6	0,75/0,88
	б) ДСП 12т	2					
11	Механический цех №4	80	1-40	1800	>3	0,3	0,7/1
12	Цех цветного литья	50	2-48	1500	>3	0,65	0,85/0,62
13	Заводоуправление	30	1-20	250	>3	0,4	0,7/1
14	Кузнечнопрессовый цех	60	14-80	1500	>3	0,4	0,75/0,88
15	Насосная	10	50-100	800	<3	0,6	0,75/0,88
16	Гараж	30	1-120	1800	>3	0,2	0,7/1
17	Испытательная станция	30	1-150	1900	>3	0,4	0,8/0,75

## 1.2 Расчет электрических нагрузок

### 1.2.1 Расчет электрических нагрузок по цехам 0,4кВ

Все расчеты ведутся на примере цеха обработки цветных металлов.

Расчет нагрузок по цехам осуществляется по следующим формулам:

- 1) Графа 1-8 исходные данные.
- 2) Графа 9: средняя активная мощность за наиболее загруженную смену  $P_{см}$  для каждого характерного цеха завода.

$$P_{cm} = K_{II} P_H, \quad (1)$$

$$P_{cm} = 0,7 \cdot 1800 = 1260 \text{ кВт.}$$

- 3) Графа 10: средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену  $Q_{cm}$  для каждого характерного цеха завода.

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

$$Q_{cm} = 1260 \cdot 0,75 = 945 \text{ квар.}$$

- 4) Графа 11: искомое значение эффективного числа электроприемников.

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{\text{Hmax}}}, \quad (3)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 1800}{40} = 90.$$

- 5) Графа 12: значение коэффициента максимума  $K_M$ .

- 6) Графа 13: максимальная активная получасовая нагрузка данного узла.

$$P_M = K_M P_{cm}, \quad (4)$$

$$P_M = 1,05 \cdot 1260 = 1323 \text{ кВт.}$$

- 7) Графа 14: максимальная реактивная получасовая нагрузка данного узла.

$$\text{При } n_{\text{э}} \geq 10, \quad Q_{cm} = Q_M = 945 \text{ квар.} \quad (5)$$

$$\text{При } n_{\text{э}} \leq 10, \quad Q_M = 1,1 \cdot Q_{cm}.$$

- 8) Графа 15: максимальная полная нагрузка расчетного узла.

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (6)$$

$$S_M = \sqrt{1323^2 + 945^2} = 1625,8 \text{ МВА}$$

### 1.2.2 Расчет осветительной нагрузки

Расчетная осветительная нагрузка принимается равной:

$$P_{po} = K_{co} \cdot P_{yo} \text{ кВт,} \quad (7)$$

$$Q_{po} = \operatorname{tg} \varphi_o \cdot P_{po} \text{ квар,} \quad (8)$$

где  $K_{co}$  - коэффициент спроса активной мощности осветительной нагрузки;  
 $\operatorname{tg} \varphi_o$  - коэффициент реактивной мощности, этот коэффициент находится по

$\cos\varphi$ ;

$P_{y0}$  - установленная мощность приемников освещения по цеху, устанавливается по осветительной удельной нагрузке на  $1\text{ м}^2$  поверхности пола известной работающей площади:

$$P_{y0} = \rho_0 \cdot F \text{ кВт.} \quad (9)$$

где  $F$ -площадь производственного помещения, которая находится по генеральному плану завода,  $\text{м}^2$ ;

$\rho_0$ - удельная расчетная мощность,  $\text{кВт}/\text{м}^2$ .

Данные по расчету сведены в таблицу 2.

Таблица 2-Расчет нагрузок по цехам завода на напряжении 0,4кВ

№ по плану	Наименование узлов питания и групп ЭП	n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	Cosφ/ tgφ	Средние мощности		n <sub>с</sub>	Км	Максимальная расчетная нагрузка		
			одного ЭП	Суммарная				Рсм, кВт	Qсм. квар			Рм, кВт	Qм, квар	Sm, кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Цех обработки цветных металлов № 1	100	1-40	1800	>3	0,7	0,8 0,75	1260	945	90	1,05	1323	945	
	Осветительная нагрузка											132,3	94,5	
	Итого по цеху											1455,3	1039,5	1788,4
1а	Отделение цеха обработки цветных металлов	34	10-175	650	>3	0,4	0,8 0,75	260	195	7	1,58	410,8	214,5	
	Осветительная нагрузка											41,1	214,5	
	Итого по цеху											451,9	236	509,8
2	Механический цех №2	250	1-50	3700	>3	0,3	0,7 1,02	1110	1132,4	148	1,08	1198,8	1132,4	
	Осветительная нагрузка											119,9	113,2	
	Итого по цеху											1318,7	1245,6	1814
3	Механический цех №3	120	1-40	1900	>3	0,3	0,7 1,02	570	581,4	95	1,1	627	581,4	
	Осветительная нагрузка											62,7	58,1	
	Итого по цеху											689,7	639,5	940,6
4	Инструментальный цех	40	1-80	950	>3	0,3	0,7 1,02	304,5	268	24	1,28	364,8	290,7	
	Осветительная нагрузка											36,5	29,1	
	Итого по цеху											401,3	319,8	513,14
5	Электроремонтный цех	50	1-50	870	>3	0,35	0,75 0,88	304,5	268	35	1,21	368,5	268	

Продолжение таблицы 2

№ по плану	Наименование узлов питания и групп ЭП	n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	Cosφ/ tgφ	Средние мощности		n <sub>3</sub>	Км	Максимальная расчетная нагрузка		
			одного ЭП	Суммарная				P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>м</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> , квар	S <sub>м</sub> , кВА
	Осветительная нагрузка											36,9	26,8	
	Итого по цеху											405,4	294,8	501,3
6	Деревообрабатывающий цех	30	1-30	250	>3	0,25	0,7 1,02	62,5	63,75	17	1,61	100,6	63,75	
	Осветительная нагрузка											10,1	6,4	
	Итого по цеху											110,7	70,38	131,1
7	Сборочный цех	50	1-80	1400	>3	0,3	0,7 1,02	420	428,4	35	1,21	508,2	428,4	
	Осветительная нагрузка											50,8	42,8	
	Итого по цеху											559	471,2	731,1
8	Склад по готовой продукции	10	1-30	70	>3	0,2	0,5 1,73	14	24,3	5	2,42	34	26,4	
	Осветительная нагрузка											3,4	2,6	
	Итого по цеху											37,4	29	47,3
9	Компрессорная 0,4 кВ	10	10-20	180	<3	0,6	0,7 1,02	108	110,2	10	1,26	136,08	121,22	
	Осветительная нагрузка											13,6	12,1	
	Итого по цеху											143,7	133,3	196
10	Цех черного литья а) 0,4 кВ	50	50	2250	>3	0,6	0,75 0,88	1350	1188	50	1,08	1458	1188	
	Осветительная нагрузка											145,8	118,8	
	Итого по цеху											1603,8	1306,8	2068,8
11	Механический цех №4	80	1-40	1800	>3	0,3	0,7 1,02	540	550,8	80	1,1	594	550,8	
	Осветительная нагрузка											59,4	55,1	
	Итого по цеху											653,4	605,9	891,1
12	Цех цветного литья	50	2-48	1500	>3	0,65	0,85 0,62	975	604,5	50	1,09	1062,8	604,5	

Продолжение таблицы 2

№ по плану	Наименование узлов питания и групп ЭП	n	Установленная мощность, кВт		m	Ки	Cosφ/ tgφ	Средние мощности		n <sub>э</sub>	Км	Максимальная расчетная нагрузка		
			одного ЭП	Суммарная								Рм, кВт	Qм, квар	Sm, кВА
	Осветительная нагрузка											106,2	60,5	
	Итого по цеху											1169,1	665	1345
13	Заводоуправление	30	1-20	250	>3	0,4	0,7 1,02	100	102	25	1,28	128	102	
	Осветительная нагрузка											12,8	10,2	
	Итого по цеху											140,8	112,2	180
14	Кузнечнопрессовый цех	60	14-80	1500	>3	0,6	0,75 0,88	600	528	38	1,13	678	528	
	Осветительная нагрузка											67,8	52,8	
	Итого по цеху											745,8	580,8	945,3
15	Насосная	10	50-100	800	<3	0,6	0,75 0,88	480	422,4	10	1,05	504	464,64	
	Осветительная нагрузка											50,4	46,5	
	Итого по цеху											554,4	511,14	754,1
16	Гараж	30	1-120	1800	>3	0,2	0,7 1,02	360	367,2	30	1,12	403,2	367,2	
	Осветительная нагрузка											40,3	36,7	
	Итого по цеху											443,5	403,9	600
17	Испытательная станция	30	1-150	1900	>3	0,4	0,8 0,75	1520	1140	25	1,07	1626,4	1140	
	Осветительная нагрузка											162,6	114	
	<b>Итого по цеху</b>											<b>1789</b>	<b>1254</b>	<b>2185</b>
	<b>Освещение территории</b>											<b>1267,2</b>	<b>992</b>	
	<b>Итого на шинах 0.4кВ</b>											<b>15080</b>	<b>11558</b>	<b>19000</b>



### 1.2.3 Нахождение числа трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности на напряжении 0,4кВ

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{P_{p0,4}}{S_{н.тр} \cdot K_3} + \Delta N, \quad (10)$$

где  $P_{p0,4} = 15080$  кВт ;  
 $K_3 = 0,8$ .

Принимаем  $S_{н.тр} = 1600$ кВА  
 $\Delta N$  – добавка до ближайшего большего числа,

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{15080}{1600 \cdot 0,8} + 0,2 = 12 \text{ шт}$$

По зонам определим дополнительное число трансформаторов  $m = 0$ , отсюда:

$$N_{\text{тр.эк}} = N_{\min \text{ тр}} + m = 12 + 0 = 12 \text{ шт} \quad (11)$$

### 1.2.4 Компенсация реактивной мощности

Определим наибольшую реактивную мощность:

$$Q_T = \sqrt{(N_{\text{тр.эк}} \cdot S_{н.тр} \cdot K_3)^2 - P_{p0,4}^2}, \quad (12)$$

$$Q_T = \sqrt{(12 \cdot 1600 \cdot 0,8)^2 - 15080^2} = 2919,5 \text{ квар.}$$

Отсюда мощность НБК равна:

$$Q_{\text{НБК1}} = Q_{P0,4} - Q_T, \text{ квар,} \quad (13)$$
$$Q_{\text{НБК1}} = 11558 - 2919,5 = 8638,5 \text{ квар.}$$

Определим дополнительную мощность НБК по условию потерь:

$$Q_{\text{НБК2}} = Q_{P0,4} - Q_{\text{НБК1}} - \gamma \cdot S_{н.тр} \cdot N_{\text{тр.эк}} \quad (14)$$

Определим расчетный коэффициент  $\gamma = f(K_1; K_2)$ ,

где  $K_1=16$  – удельный коэффициент потерь для энергосистемы Казахстана с числом рабочих смен равным 2.

$K_2=2$  – коэффициент при длине питающей линии  $l=0,5 \div 1$  км для трансформатора с  $S_{н.тр} = 1600$ кВА.

Отсюда по кривым определим:  $\gamma = 0,85$ .

Тогда:

$$Q_{\text{НБК2}} = 11558 - 8638,5 - 0,85 \cdot 1600 \cdot 12 = - 13400,5 \text{ квар.}$$

$Q_{\text{НБК2}} < 0$ , то принимаем  $Q_{\text{НБК2}} = 0$ , тогда:

$$Q_{\text{НБК}\Sigma} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}}, \quad (15)$$

$$Q_{\text{НБК}\Sigma} = 8638,5 + 0 = 8638,5 \text{квар}$$

Определим мощность  $Q_{\text{НБК}}$  на один трансформатор:

$$Q_{\text{НБК}} = 8638,5/12 = 720 \text{квар}. \quad (16)$$

К установке НБК принимаем 675 квар.

Таблица 3 -Разделение нагрузок низковольтных по цеховым ТП

№ ТП SHOM ТП ОНБК ТП	№ цехов	РР 0,4 , кВт	QР0,4 , квар	SР0,4 , кВА	Кз
1	2	3	4	5	6
ТП 1-(2x1600) ТП 2-(2x1600) $\Sigma S_H = 4 \cdot 1600 = 6400$ кВА $Q_{\text{НБК}} = 4 \cdot 675 = 2700$ квар	2	1318,7	1245,6		
	3	689,7	639,5		
	7	559	471,2		
	8	37,4	29		
	9	143,7	133,3		
	11 14	653,4 745,8	605,9 580,8		
		4147,7	3705,3 -2700		
Всего		4147,7	1005,3	4267,8	0,7
ТП3-(2x1600) ТП4-(2x1600) $\Sigma S_H = 4 \cdot 1600 = 6400$ кВА $Q_{\text{НБК}} = 4 \cdot 675 = 2700$ квар	12	1169,1	665		
	13	140,8	112,2		
	15	554,4	511,14		
	16	443,5	403,9		
	17	1789	1254		
			2946,24 -2700		
Всего		4096,8	246,24	4104,2	0,64
ТП5-(2x1600) ТП6-(2x1600) $\Sigma S_H = 4 \cdot 1600 = 6400$ кВА $Q_{\text{НБК}} = 4 \cdot 675 = 2700$ квар	1	1455,3	1039,5		
	1a	451,9	236		
	4	401,3	319,8		
	5	405,4	294,8		
	6	110,7	70,38		
	10 освещение	1603,8 200	1306,8 100		
			3367,28 -2700		
Всего		4628,4	667,28	4676,3	0,73

Распределим  $Q_{\text{рНБК}}$  пропорционально реактивной нагрузки ТП.

Исходные данные:  $Q_{\text{р} 0,4} = 11558$  квар;  $Q_{\text{НБК}} = 8638,5$  квар.

ТП1, ТП2:  $Q_{\text{р} \text{ТП1, 2}} = 1005,3$ квар.

$$Q_{\text{р} \text{НБК} \text{ТП1,2}} = \frac{Q_{\text{НБК}} \cdot Q_{\text{ртп1,2}}}{Q_{\text{р0,4}}}, \quad (17)$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП1,2}} = \frac{8638,5 \cdot 1005,3}{11558} = 751,4 \text{ квар,}$$

то действительная мощность реактивная:

$$Q_{\text{ФАКТ.}} = 2700 \text{ квар,}$$

а мощность некомпенсированная будет равна:

$$Q_{\text{НЕСК.}} = Q_{p \text{ ТП1,2}} - Q_{\text{ФАКТ.}}$$

$$Q_{\text{НЕСК.}} = 1005,3 - 2700 = -1694,7 \text{ квар. (0)}$$

$$\text{ТП3, ТП4: } Q_{p \text{ ТП3,4}} = 246,24 \text{ квар,}$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП3,4}} = \frac{Q_{\text{НБК}} \cdot Q_{p \text{ ТП3,4}}}{Q_{p0.4}}, \quad (18)$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП3,4}} = \frac{8638,5 \cdot 246,24}{11558} = 184,04 \text{ квар,}$$

то действительная мощность реактивная:

$$Q_{\text{ФАКТ.}} = 2700 \text{ квар,}$$

а мощность некомпенсированная будет равна:

$$Q_{\text{НЕСК.}} = Q_{p \text{ ТП1,2}} - Q_{\text{ФАКТ.}} = 184,04 - 2700 = -2516 \text{ квар} < 0.$$

$$\text{ТП5, ТП6: } Q_{p \text{ ТП5,6}} = 667,28 \text{ квар,}$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП5,6}} = \frac{Q_{\text{НБК}} \cdot Q_{p \text{ ТП5,6}}}{Q_{p0.4}}, \quad (19)$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП5,6}} = \frac{8638,5 \cdot 667,28}{11558} = 498,7 \text{ квар,}$$

то действительная мощность реактивная:

$$Q_{\text{ФАКТ.}} = 2700 \text{ квар,}$$

а мощность некомпенсированная будет равной:

$$Q_{\text{НЕСК.}} = Q_{p \text{ ТП1,2}} - Q_{\text{ФАКТ.}} = 667,28 - 2700 = -2033 \text{ квар} < 0.$$

Таблица 4- Уточненный расчет Q НБК по ТП пропорционально мощности

№ТП	Q <sub>p</sub> ТП, квар	Q <sub>p</sub> НБК ТП, квар	Q <sub>факт.</sub> НБК ТП, квар	Q <sub>нескомп.</sub> квар
ТП1, ТП2	1005,3	751,4	2700	-1694,7
ТП3, ТП4	246,24	184,04	2700	-2516
ТП5, ТП6	667,28	498,7	2700	-2033

1.2.5 Детализированный расчет электрических нагрузок по заводу тяжелого машиностроения

Найдем потери мощности в ТП.

Подбираем трансформаторы ТМЗ – 1600 – 10/0,4 с параметрами:

$$S_{\text{H}} = 1600 \text{ кВА, } I_{\text{XX}} = 1,0 \%, U_{\text{K3}} = 6,0 \%, U_{\text{B}} = 10 \text{ кВ, } U_{\text{H}} = 0,4 \text{ кВ, } \Delta P_{\text{XX}} = 2,65 \text{ кВт, } \Delta P_{\text{K3}} = 16,5 \text{ кВт.}$$

ТП1, ТП2:  $K_3 = 0,7$ ;  $N = 4$ .

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{K3}, \text{ кВт} \quad (20)$$

$$\Delta P_T = 2,65 + 16,5 \cdot 0,7^2 = 10,74 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} S_H + \frac{U_{K3}}{100} S_H K_3^2, \text{ квар} \quad (21)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{100} 1600 + \frac{6}{100} 1600 \cdot 0,7^2 = 63,04 \text{ квар.}$$

ТП3, ТП4:  $K_3 = 0,64$ ;  $N = 4$

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{K3} \cdot K_3, \text{ кВт}, \quad (22)$$

$$\Delta P_T = 2,65 + 16,5 \cdot 0,64^2 = 9,41 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} S_H + \frac{U_{K3}}{100} S_H K_3^2, \text{ квар}, \quad (23)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{100} 1600 + \frac{6}{100} 1600 \cdot 0,64^2 = 55,3 \text{ квар.}$$

ТП5, ТП6:  $K_3 = 0,73$ ;  $N = 4$ .

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{K3} \cdot K_3, \text{ кВт} \quad (24)$$

$$\Delta P_T = 2,65 + 16,5 \cdot 0,73^2 = 11,4 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = \frac{I_{xx}}{100} S_H + \frac{U_{K3}}{100} S_H K_3^2, \text{ квар}, \quad (25)$$

$$\Delta Q_T = \frac{1}{100} 1600 + \frac{6}{100} 1600 \cdot 0,73^2 = 67,2 \text{ квар.}$$

$$\sum \Delta P_T = 10,74 + 9,41 + 11,4 = 31,6 \text{ кВт}, \quad (26)$$

$$\sum \Delta Q_T = 63,04 + 55,3 + 67,2 = 185,5 \text{ квар.} \quad (27)$$

Найдем установленные мощности синхронных двигателей. Используем СД для компенсации мощности реактивной на стороне ВН:

СД с параметрами:

$$P_{НСД} = 1600 \text{ кВт},$$

$$\cos \varphi = 0,9,$$

$$N = 4,$$

$$K_3 = \beta = 0,85,$$

$$K_{и} = 0,75,$$

$$\text{tg} \varphi = 0,62,$$

$$\Sigma P_H = 6000 \text{ кВт.}$$

$$P_{P \text{ СД}} = P_{H \text{ СД}} \cdot N_{\text{СД}} \cdot K_3, \text{ кВт,} \quad (28)$$

$$P_{P \text{ СД}} = 1600 \cdot 4 \cdot 0,75 = 4800 \text{ кВт,}$$

$$P_{P \text{ СД}} = \frac{P_{P \text{ СД}}}{N}, \text{ кВт,} \quad (29)$$

$$P_{P \text{ СД}} = \frac{4800}{4} = 1200 \text{ кВт,}$$

$$Q_{P \text{ СД}} = P_{P \text{ СД}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ квар} \quad (30)$$

$$Q_{P \text{ СД}} = 4800 \cdot 0,62 = 2976 \text{ квар,}$$

$$Q_{P \text{ СД}} = \frac{Q_{P \text{ СД}}}{N}, \text{ квар} \quad (31)$$

$$Q_{P \text{ СД}} = \frac{2976}{4} = 744 \text{ квар.}$$

#### Определение расчетных мощностей ДСП

Для электродуговой печи выбираем трансформатор ЭТЦПК-6300/10, с параметрами:  $S_H = 2,4 \text{ МВА}$ ,  $\cos\varphi = 0,86$ ,  $K_3 = 0,7$ ,  $U_{\text{ВН}} = 6 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{НН}} = 220 \text{ В}$ .

Определим расчетные активные и реактивные мощности для ДСП:

$$P_{P \text{ ДСП}} = S_{H \text{ ДСП}} \cdot N_{\text{ДСП}} \cdot \cos\varphi \cdot K_3, \text{ МВт,} \quad (32)$$

$$P_{P \text{ ДСП}} = 2,4 \cdot 2 \cdot 0,86 \cdot 0,7 = 2,9 \text{ МВт.}$$

$$Q_{P \text{ ДСП}} = P_{P \text{ ДСП}} \cdot \text{tg}\varphi, \text{ Мвар,} \quad (33)$$

$$Q_{P \text{ ДСП}} = 2,9 \cdot 0,6 = 1,74 \text{ Мвар.}$$

Определим потери в трансформаторах ДСП:

$$\Delta P_{\text{трДСП}} = 0,02 S_{H \text{ ДСП}}, \text{ кВт,} \quad (34)$$

$$\Delta P_{\text{трДСП}} = 0,02 \cdot 2400 = 48 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{H \text{ ДСП}} = 0,1 S_{H \text{ ДСП}}, \text{ квар,} \quad (35)$$

$$\Delta Q_{H \text{ ДСП}} = 0,1 \cdot 2400 = 240 \text{ квар.}$$

Для компенсации реактивной мощности выбираем две конденсаторные установки типа КУ-6,3-1000УЗ:

$$Q_H=1000 \text{ квар,}$$

$$N=2 \text{ шт,}$$

$$\sum Q_H=200 \text{ квар.}$$

Напишем баланс мощности реактивной для шин 10 кВ ГПП:

$$\begin{aligned} \sum Q &= 0; \\ \sum Q_{\text{потр}} &= \sum Q_{\text{ист}}, \text{ квар,} \end{aligned}$$

$$Q_{P0,4} + \Delta Q_{\text{ТР}} + Q_{\text{рез}} + Q_{\text{Э}} - Q_{\text{НБК}} - Q_{\text{СД}} - Q_{\text{ВБК}} = 0, \quad (36)$$

$$\sum Q_P = Q_{P0,4} + \Delta Q_{\text{ТР}} = 11558 + 185,5 = 11743,5 \text{ квар.}$$

Мощность резервная:

$$Q_{\text{рез}} = 0,15 \cdot \sum Q_P, \text{ квар,} \quad (37)$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,15 \cdot 11743,5 = 1761,5 \text{ квар.}$$

Мощность, прибывающая от энергосистемы:

$$Q_{\text{Э}} = \text{tg } \varphi_{\text{Э}} \cdot \sum P_{\text{зав}} = (0,23 - 0,25) \cdot \sum P_{\text{зав}}, \text{ квар,} \quad (38)$$

$$\sum P_{\text{зав}} = P_{P0,4} + \Delta P_{\text{ТР}} + P_{\text{СД}} = 15080 + 31,6 + 4800 = 19911,6 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{Э}} = 0,23 \cdot 19911,6 = 4579,7 \text{ квар.}$$

Мощность ВБК найдем из условия баланса мощности реактивной:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{P0,4} + \Delta Q_{\text{ТР}} + Q_{\text{рез}} - Q_{\text{Э}} - Q_{\text{НБК}} - Q_{\text{СД}}, \text{ квар,} \quad (39)$$

$$Q_{\text{ВБК}} = 11558 + 185,5 + 1761,5 - 4579,7 - 8638,5 - 2976 = -2689,2 \text{ квар.}$$

Мы имеем, что на месте 10кВ восполнение реактивной мощности не нужно, поэтому компенсирующие конструкции не устанавливаются. Уточненный расчет нагрузок по заводу приведен в таблице 5.

Таблица 5 - уточненный расчет нагрузок по заводу

№ ТП $\Sigma S_{н тр}$ QHБК	№ цехов	п	Номинальная мощность		К <sub>и</sub>	Средние нагрузки		п <sub>э</sub>	К <sub>м</sub>	Расчетная мощность		
			$P_{нmin} \div P_{нmin}$	$\Sigma P_{н}, кВт$		$P_{см}, кВт$	$Q_{см}, квар$			$P_p, кВт$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ТП 1,2 (6400)	2	250	1-50	3700	0,3	1110	1132,4	148	1,08			
	3	120	1-40	1900	0,3	570	581,4	95	1,1			
	7	50	1-80	1400	0,3	420	428,4	35	1,21			
	8	10	1-30	70	0,2	14	24,3	5	2,42			
	9	10	10-20	180	0,6	108	110,2	10	1,26			
	11	80	1-40	1800	0,3	540	550,8	90	1,1			
	14	60	14-80	1500	0,4	600	528	50	1,13			
Силовая		580	1-80	10550	0,3	3362	3355,5	433	1,26	4236,12	3355,5	
Осветительная										37,8	33,7	
QHБК											-2700	
<b>Итого</b>										<b>4274</b>	<b>689,2</b>	<b>4329,1</b>
ТП 3,4 (6400)	12	50	2-48	1500	0,65	975	604,5	50	1,09			
	13	30	1-20	250	0,4	100	102	17	1,28			
	15	10	50-100	800	0,6	480	422,4	10	1,05			
	16	30	1-120	1800	0,2	360	367,2	30	1,12			
	17	30	1-150	1900	0,4	1520	1140	25	1,07			
Силовая		150	1-150	6250	0,4	3435	2636,1	132	1,07	3675,5	2636,1	
Осветительная										37,2	26,8	

Продолжение таблицы 5

№ ТП $\Sigma S_{н тр}$ QHБК	№ цехов	n	Номинальная мощность		К <sub>и</sub>	Средние нагрузки		n <sub>э</sub>	К <sub>м</sub>	Расчетная мощность		
			P <sub>нmin</sub> P <sub>нmin</sub>	$\Sigma P_{н}$ , кВт		P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА
QHБК											-2700	
<b>Итого</b>										<b>3712,7</b>	<b>-37,1</b>	<b>3712,9</b>
ТП 5,6 (6400)	1	100	1-40	1800	0,7	1260	945	90	1,05			
	1a	34	10-175	650	0,4	260	195	7	1,58			
	4	40	1-80	950	0,3	285	290,7	24	1,28			
	5	50	1-50	870	0,35	304,7	268	35	1,21			
	6	30	1-30	250	0,25	62,5	63,75	17	1,61			
	10	50	50	2250	0,6	1350	1188	50	1,08			
Силовая		304	1-175	6770	0,4	3522,2	2950,5	223	1,28	4508,4	2950,5	
Осветительная										40,3	30	
Освещ. терр.										126,7	99,2	
QHБК											-2700	
<b>Итого</b>										<b>4675,4</b>	<b>379,7</b>	<b>4690,8</b>
<b>Итого 0,4 кВ</b>										<b>12662,1</b>	<b>1031,8</b>	
$\Sigma \Delta P_T, \Sigma \Delta Q_T$										31,6	185,5	
Всего нагрузка 0,4кВ, доведенная к шинам 10 кВ.										12693,7	1217,3	
Компрессорная(10кВ)	96	4	1600	6000	0,75					1200	-744	
<b>Цех черного литья</b>	<b>106</b>	<b>2</b>								<b>2900</b>	<b>-1740</b>	
<b>Итого по заводу</b>										<b>16793,7</b>	<b>-1266,7</b>	<b>16841,4</b>



### 1.3 Выбор схемы внешнего электроснабжения

Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим два варианта:

I вариант - ВЛ 37кВ,

II вариант – ВЛ с СИП 37кВ.

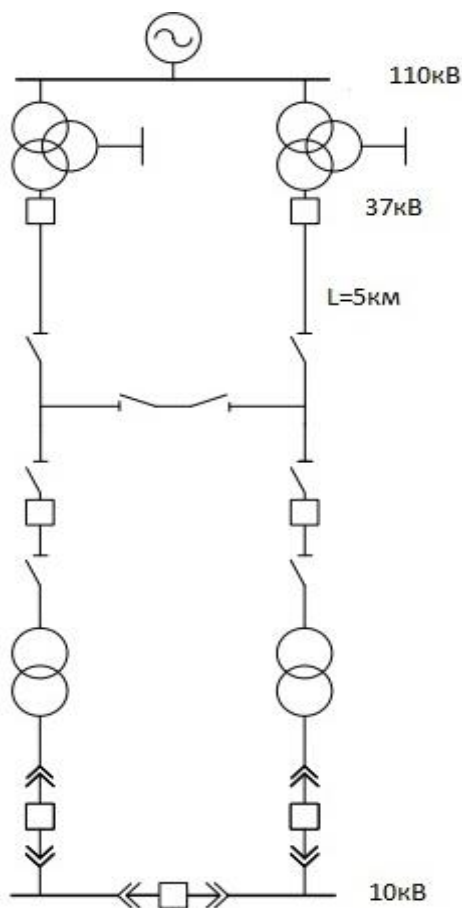


Рисунок 2- Схема внешнего электроснабжения на напряжение 37кВ

Рассмотрим I Вариант схемы внешнего электроснабжения завода (37 кВ)

Выбираем электрооборудование по I варианту.

Выбираем трансформаторы ГПП:

Паспортные данные трансформатора:

Тип трансформатора-ТДН -16000/37/10,5;  $S_H = 16000$  кВА;  $\Delta P_{XX} = 21$  кВт;  $\Delta P_{K3} = 90$  кВт;  $U_{K3\%} = 8\%$ ;  $I_{XX\%} = 0,75\%$ .

Потери мощности в трансформаторах. Потери активной мощности, кВт, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{ТГПП}} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + \Delta P_{\text{K3}} \cdot K_3^2), \text{ кВт}, \quad (40)$$

$$\Delta P_{\text{тгпп}} = 2(21 + 90 \cdot 0,71^2) = 188,07 \text{ кВт.}$$

Потери реактивной мощности, кВар, определяются по формуле:

$$Q_{\text{тгпп}} = 2 \left( \frac{\Delta I_{xx}}{100} S_{\text{н}} + \frac{U_{\text{кз}}}{100} S_{\text{н}} K_3^2 \right), \text{ кВар} \quad (41)$$

$$Q_{\text{тгпп}} = 2 \left( \frac{0,75}{100} 16000 + \frac{8}{100} 16000 \cdot 0,71^2 \right) = 1530,5 \text{ кВар.}$$

Потери энергии в трансформаторах при двухсменном режиме работы составляют  $T_{\text{вкл}}=4000\text{ч}$  ,  $T_{\text{макс}}=3000\text{ч}$ . Тогда время максимальных потерь, ч, определяются по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_{\text{м}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \text{ ч}, \quad (42)$$

$$\tau = (0,124 + 3000 \cdot 10^{-4}) 8760 = 3714,24 \text{ ч.}$$

Потери активной энергии в трансформаторах, кВт/ч, определяется по формуле:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau \cdot K_3^2), \text{ кВт/ч}, \quad (43)$$

$$\Delta W = 2(21 \cdot 4000 + 90 \cdot 3714,24 \cdot 0,71^2) = 5050,23 \frac{\text{кВт}}{\text{ч}}.$$

Расчет ЛЭП-37 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП, кВА, определяется по формуле:

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{\left( P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{тгпп}} \right)^2 + Q_{\text{г}}^2}, \text{ кВА}, \quad (44)$$

$$S_{\text{лэп}} = \sqrt{(16793,7 + 188,07)^2 + 4579,7^2} = 17407 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии, А, вычисляется по формуле:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \text{ А}, \quad (45)$$

$$I_{\text{р}} = \frac{17407}{2 \sqrt{3} \cdot 37} = 140 \text{ А.}$$

Ток аварийного режима, А, находится по формуле:

$$I_{\text{аб}} = 2 \cdot I_{\text{р}} = 2 \cdot 140 = 280 \text{ А.}$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов, мм<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \text{ мм}^2, \quad (46)$$

$$F_{\text{э}} = \frac{140}{1,1} = 127,3 \text{ мм}^2.$$

где  $j=1,1$  - экономическая плотность тока при  $T_m=3000\text{ч}$  и алюминиевых проводах, А/мм<sup>2</sup>.

Принимаем провод АС -70 с  $I_{\text{доп}}=445$  А.

Проверим выбранные провода по допустимому току:

а) при расчетном токе:  $I_{\text{доп}}=445 \text{ А} > I_p=140 \text{ А}$ ;

б) при аварийном режиме:  $I_{\text{доп ав}}=1,3 \cdot I_{\text{доп}}=1,3 \cdot 445=578,5 \text{ А} > I_{\text{ав}}=280 \text{ А}$ .

Окончательно выбираем провод АС-70.

Определим потери электроэнергии в ЛЭП37, кВт·ч, определим по формуле:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (47)$$

$$\Delta W = 2 \cdot 3 \cdot 140^2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} \cdot 3714,24 = 1004627,64 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $R=r_0 \cdot L=0,46 \cdot 5=2,3$  Ом;

$r_0=0,46$  Ом/км;

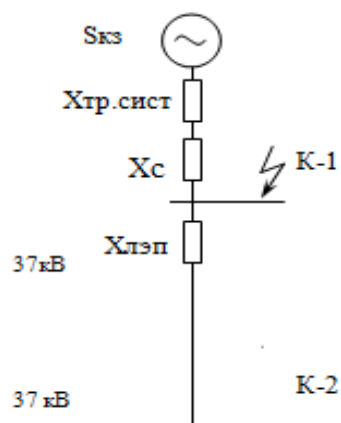
$l=5$  - длина линии, км.

Выбираем трансформаторы энергосистемы:

Тип трансформатора: ТДТН - 40000/110;  $S_n=40000$ кВА;  $U_{\text{вн}}=115$ кВ;  $U_{\text{нн}}=38,5$ кВ;  $\Delta P_{\text{хх}}=43$ кВт;  $\Delta P_{\text{кз}}=200$ кВт;  $U_{\text{кз}}=10,5\%$ ;  $I_{\text{хх}}=0,6\%$ .

Выбор выключателей, разъединителей и ОПН на  $U=37$  кВ.

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рисунок 2) и рассчитаем ток короткого замыкания.



**Рисунок 3 - Схема замещения для расчета токов к.з.**

Найдем параметры схемы замещения:

$$S_6 = 1000 \text{ МВА};$$

$$U_6 = 37 \text{ кВ};$$

$$X_{\text{трсист}} = \frac{U_6 S_6}{100 S_H}, \quad (48)$$

$$X_{\text{трсист}} = \frac{37 \cdot 1000}{100 \cdot 40} = 2,63 \text{ о. е.}$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ кА}, \quad (49)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 37} = 15,62 \text{ кА.}$$

$$X_{\text{лэп}} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}^2}, \quad (50)$$

$$X_{\text{лэп}} = 0,35 \cdot 5 \frac{1000}{38,5^2} = 1,18 \text{ о. е.}$$

Определим токи и мощности короткого замыкания по формулам:

$$I_{k1} = \frac{I_6}{X_c + X_{\text{трсист}}}, \text{ кА}, \quad (51)$$

$$I_{k1} = \frac{15,62}{0,4 + 2,63} = 5,16 \text{ кА.}$$

$$i_{y_{k-1}} = \sqrt{2} k_y I_{k1}, \text{ кА}, \quad (52)$$

$$i_{y_{k-1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,16 = 13,1 \text{ кА.}$$

$$S_{k1} = \sqrt{3}U_6 I_{k1}, \text{ MVA}, \quad (53)$$

$$S_{k1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 5,16 = 330,29 \text{ MVA}. \quad (54)$$

$$I_{k2} = \frac{I_6}{X_c + X_l + X_{\text{трсист}}}, \text{ кА},$$

$$I_{k2} = \frac{5,03}{0,4 + 2,63 + 1,08} = 3,8 \text{ кА}.$$

$$i_{yk-2} = \sqrt{2}k_y I_{k2}, \text{ кА}, \quad (55)$$

$$i_{yk-2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,8 = 9,64 \text{ кА}.$$

$$S_{k2} = \sqrt{3}U_6 I_{k2}, \text{ MVA}, \quad (56)$$

$$S_{k2} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 3,8 = 243,24 \text{ MVA}.$$

Выбираем В1, В2 по аварийному току трансформаторов системы, рассчитанному по формулам:

$$S_{\text{ав}} = 2 \cdot S_{\text{н}} = 2 \cdot 40 = 80 \text{ MVA},$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{S_{\text{ав}}}{1,73 \cdot U} = \frac{80000}{1,73 \cdot 37} = 1250 \text{ А},$$

$$I_{\text{р}} = \frac{I_{\text{ав}}}{2} = \frac{1250}{2} = 625 \text{ А}.$$

Выбираем выключатели типа ВМУЭ-35Б-25/1250УХЛ1. Его параметры приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Параметры выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_{\text{н}} = 37 \text{ кВ}$ $I_{\text{н}} = 1250 \text{ А}$ $I_{\text{откл}} = 25 \text{ кА}$ $I_{\text{дин}} = 64 \text{ кА}$	$U_{\text{р}} = 37 \text{ кВ}$ $I_{\text{автр сист}} = 1249,8 \text{ А}$ $I_{\text{к1}} = 5,16 \text{ кА}$ $I_{\text{уд1}} = 13,1 \text{ кА}$	$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}$ $I_{\text{н}} \geq I_{\text{ртр сист}}$ $I_{\text{откл}} \geq I_{\text{к1}}$ $I_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд1}}$

Найдем ток, проходящий через выключатель В3:

$$I_{B3} = I_{AB}/2 = 179,39 \text{ А,}$$

$$I_{B3} = 179,39 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель ВМУЭ-35Б-25/1250УХЛ1. Его параметры приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Параметры выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n = 37 \text{ кВ}$ $I_n = 1250 \text{ А}$ $I_{откл} = 25 \text{ кА}$ $I_{дин} = 64 \text{ кА}$	$U_p = 37 \text{ кВ}$ $I_{автр сист} = 624,9 \text{ А}$ $I_{к1} = 5,1 \text{ кА}$ $i_{уд1} = 13,1 \text{ кА}$	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{ртр сист}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

Выключатели В4-В5 выбираем как выключатель-разъединитель. Его параметры сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Характеристики выключателя - разъединителя

Тип	ЛТВ 72.5
Номинальное напряжение, кВ	35
Номинальный ток, А	3150
Номинальный ток отключения, кА	40
Номинальная частота, Гц	50/60

Выключатели В6-В7 выбираем по аварийному току завода:

$$I_{ав.завода} = 358,8 \text{ А.}$$

Принимаем выключатель С-35М-630-10У1 с параметрами сведенными в таблицу 9.

Таблица 9 - Параметры выключателя

Паспортные данные	Расчетные данные	Условия выбора
$U_n = 37 \text{ кВ}$ $I_n = 630 \text{ А}$ $I_{откл} = 10 \text{ кА}$ $I_{дин} = 64 \text{ кА}$	$U_p = 37 \text{ кВ}$ $I_{автр сист} = 358,8 \text{ А}$ $I_{к1} = 5,16 \text{ кА}$ $i_{уд1} = 13,1 \text{ кА}$	$U_n \geq U_p$ $I_n \geq I_{ртр сист}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

Принимаем ОПНп-35/400/40,5-10УХЛ.1

Второй вариант внешнего электроснабжения рассмотрим в специальной части.

## **2 Специальная часть. Воздушные линии электропередач с самонесущими изолированными проводами**

### **2.1 Общие сведения о самонесущих изолированных проводах**

Протяжённость казахстанских распределительных сетей составляет более 25 000 км, большая часть которых была построена в 70-е годы. Сегодня более 125000 км ВЛ-0,4кВ находится в аварийном состоянии. В последнее десятилетие прокладывается не более 1000 км новых сетей ежегодно, а между тем срок службы ВЛ, в среднем равняется 30-35 годам, т.е. в ближайшее время количество аварий на них будет возрастать. И совершенно очевидно, что сегодняшнее переоснащение ВЛ необходимо вести с применением новых технологий. Вводимые новшества в сфере энергоснабжения значительно повышают качество и снижают потери электроэнергии в сетях.

Самонесущий изолированный провод (СИП)- это жилы изолированные скрученные в жгут, без специального несущего троса. Провода СИП в распределительных сетях начали использоваться сравнительно недавно. Механическая нагрузка может восприниматься несущей жилой либо всеми проводниками жгута. Изоляцию жил СИП обычно изготавливают из материала, устойчивого к влиянию внешней среды (жаркий или очень холодный климат) и отвечающим требованиям по нераспространению горения. Самонесущая четырехпроводная система состоит из четырех между собой скрученных изолированных алюминиевых проводов одинакового сечения. В такой системе равномерно распределяется механическая нагрузка по всем четырем проводам, отсутствует одна несущая жила.

Для обеспечения нормальной работы электроприемников, нормированного уровня электробезопасности и защиты от атмосферных перенапряжений на СИП в электрических сетях с глухозаземленной нейтралью должны быть заземляющие устройства, предназначенные для повторного заземления нулевой жилы СИП; защиты от атмосферных перенапряжений; заземления электрооборудования, установленного на опорах ВЛИ, заземления разрядников или ограничителей перенапряжения. На ВЛИ металлоконструкции железобетонных и металлических опор должны быть присоединенные к нулевому проводу на каждой опоре. В населенной местности с одно- и двухэтажной застройкой ВЛИ, не экранированные промышленными дымовыми и другими трубами, высокими деревьями, зданиями и т.п., должны иметь заземляющие устройства, предназначенные для защиты от грозовых перенапряжений. Сопротивление заземления этих устройств должно быть не более 35 Ом, а расстояние между ними не больше 300 м для районов с числом грозовых часов за год до 40; 100 м для районов с числом грозовых часов за год больше 40. Кроме того, заземляющие устройства должны быть: на опорах с ответвлениями от магистрали СИП к вводам в здания, в которых возможно пребывание большого количества людей (кафе, детские сады, школы, больницы, трц, и прочее) или которые представляют большую хозяйственную ценность.

## 2.2 Виды и устройство самонесущих изолированных проводов

Самонесущие изолированные провода наружно представляют собой жгут который проводит ток, скрученный из изолированных фазных жил. В зависимости от конструкции и материала СИП, подразделяется на следующие виды:

- Самонесущий изолированный провод СИП-1 состоящий из жил из алюминия, устойчив к влиянию ультрафиолетовых лучей благодаря покрытию из «сшитого» полиэтилена. В СИП-1 содержится нулевая неизолированная несущая жила.

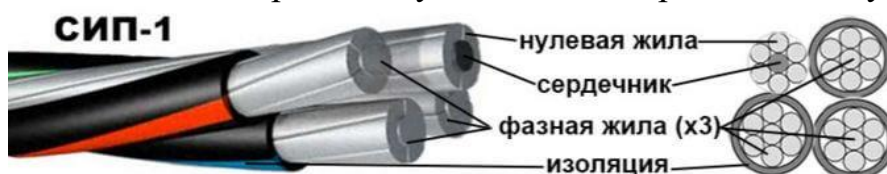


Рисунок 4 – Самонесущий изолированный провод СИП-1

- Самонесущий изолированный провод СИП-2 выгодно использовать для северных регионов и районов с умеренным климатом. Он также может применяться для дачных участков. Применяется для магистральной прокладки воздушных линий. Токоведущие жилы могут выдерживать продолжительный нагрев до 90С. Его используют при создании линий электропередач до 1кВ, в экстремальных климатических условиях. Самонесущий изолированный провод СИП-2 имеет изолированную несущую жилу в отличие от СИП-1.

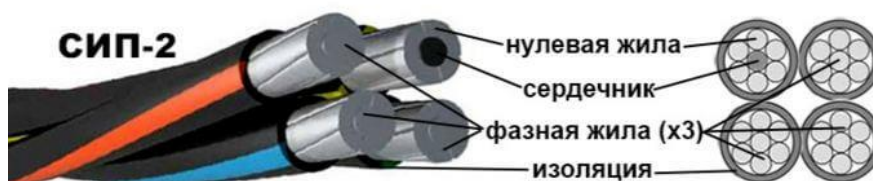


Рисунок 5 – Самонесущий изолированный провод СИП-2

- Самонесущий изолированный провод СИП-3 используется для создания воздушных линий электропередач в условиях любого климата, как холодного, так и жаркого. Провод с жилой из полиэтиленовой изоляции, который устойчив к влиянию ультрафиолетовых лучей. Рассчитан СИП-3 на напряжение 6-20кВ. Рабочий диапазон температуры провода от -60С до +50С.





**Рисунок 6 – Самонесущий изолированный провод СИП-3**

- СИП-4 применяется для ввода и для прокладки по стенам инженерных сооружений и зданий на номинальное напряжение до 0,6/1кВ. В самонесущем изолированном проводе СИП-4 отсутствует несущая токопроводящая жила, и состоит из 2-х или 4-х токопроводящих жил.



**Рисунок 7 – Самонесущий изолированный провод СИП-4**

## **2.3 Основные преимущества СИП**

В виду того что в мире истощаются природные ресурсы, все страны мира, в том числе и Казахстан все чаще задумываются об энергосбережении и энергоэффективности. Все чаще запускаются проекты, направленные на переход на возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В силу этого были приняты законы основанные на энергосбережении. Благодаря замене обычных «голых» проводов на самонесущие изолированные провода можно увеличить качество и количество проводимой энергии.

### **2.3.1 Преимущества СИП над обычными проводами ВЛ**

Преимущества СИП над воздушными линиями (ВЛ) с неизолированными проводами заключаются в следующем:

- 1) ВЛ с применением СИП подлежат быстрому монтажу, ремонту или же реконструкции;
- 2) благодаря применению СИП сокращаются расстояния между линией электропередач и зданиями;
- 3) небольшой риск возникновения короткого замыкания;
- 4) абсолютно безопасно для птиц и животных;
- 5) при прикосновении к обнаженным токопроводящим жилам не происходит поражения электрическим током;
- 6) возможность использования старых опор при монтаже кабеля;
- 7) самонесущий изолированный провод можно прокладывать вдоль фасадов домов, зданий, помещений;
- 8) СИП не пригоден для вторичной переработки, поэтому отсутствуют кражи;
- 9) защита от незаконных подключений к ЛЭП;
- 10) возможность выполнения ответвлений без отключения всей линии;
- 11) кабель выдерживает большие перепады температур от -60 до +50 градусов;
- 12) благодаря своей изоляции и низкому реактивному сопротивлению СИП, позволяет увеличить количество и качество проводимой энергии — снижение затрат на эксплуатацию более чем на 80%;
- 13) используя СИП, нет необходимости вырубать узкие полосы леса.

## 2.4 Расчет затрат на строительство и эксплуатацию ВЛ

Рассмотрим II Вариант схемы внешнего электроснабжения завода (ВЛ с СИП 37 кВ)

Выбираем электрооборудование по II варианту.

Выбираем трансформаторы ГПП.

Паспортные данные трансформатора:

Тип трансформатора: ТДН -16000/37/10,5;  $S_H=16000$ кВА;  $\Delta P_{xx}=21$ кВт;  $\Delta P_{кз}=90$ кВт;  $U_{кз}=8\%$ ;  $I_{xx}=0,75\%$ .

Потери мощности в трансформаторах. Потери активной мощности, кВт, определяются по формуле:

$$\Delta P_{\text{ТГПП}} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot K_3^2), \text{ кВт}, \quad (57)$$

$$\Delta P_{\text{ТГПП}} = 2(21 + 90 \cdot 0,71^2) = 188,07 \text{ кВт}.$$

Потери реактивной мощности, квар, определяются по формуле:

$$Q_{\text{ТГПП}} = 2 \left( \frac{\Delta I_{xx}}{100} S_H + \frac{U_{кз}}{100} S_H K_3^2 \right), \text{ квар}, \quad (58)$$

$$Q_{\text{ТГПП}} = 2 \left( \frac{0,75}{100} 16000 + \frac{8}{100} 16000 \cdot 0,71^2 \right) \\ = 1530,5 \text{ квар}.$$

Потери энергии в трансформаторах при двухсменном режиме работы составляют  $T_{\text{вкл}}=4000$ ч,  $T_{\text{макс}}=3000$ ч. Тогда время максимальных потерь, ч, определяются по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \text{ ч}, \quad (59)$$

$$\tau = (0,124 + 3000 \cdot 10^{-4}) 8760 = 3714,24 \text{ ч}.$$

Потери активной энергии в трансформаторах, кВт·ч, определяется по формуле:

$$\Delta W = 2(\Delta P_{\text{xx}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau \cdot K_3^2), \text{ кВтч}, \quad (60)$$

$$\Delta W = 2(21 \cdot 4000 + 90 \cdot 3714,24 \cdot 0,71^2) = 5050,23 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Расчет ВЛ с СИП -37 кВ.

Полная мощность, проходящая по ВЛ с СИП, кВА, определяется по формуле:

$$S_{лэп} = \sqrt{\left(P_p + \Delta P_{тэпн}\right)^2 + Q_э^2}, \text{ кВА}, \quad (61)$$

$$S_{лэп} = \sqrt{(16793,7 + 188,07)^2 + 4579,7^2} = 17407 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии, А, вычисляется по формуле:

$$I_p = \frac{S_{лэп}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А}, \quad (62)$$

$$I_p = \frac{17407}{2\sqrt{3} \cdot 37} = 140 \text{ А}.$$

Ток аварийного режима, А, находится по формуле:

$$I_{ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 140 = 280 \text{ А}.$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов, мм<sup>2</sup>:

$$F_э = \frac{I_p}{j_э}, \text{ мм}^2, \quad (63)$$

$$F_э = \frac{140}{1,1} = 127,3 \text{ мм}^2.$$

где  $j=1,1$  - экономическая плотность тока при  $T_M=3000$ ч и алюминиевых проводах, А/мм<sup>2</sup>.

Принимаем провод СИП-3 с  $I_{доп}=340$  А.

Проверим выбранные провода по допустимому току:

а) при расчетном токе:  $I_{доп}=340 \text{ А} > I_p=140 \text{ А}$ ;

б) при аварийном режиме:  $I_{доп ав}=1,3 \cdot I_{доп}=1,3 \cdot 340=442 \text{ А} > I_{ав}=280 \text{ А}$ .

Определим потери электроэнергии в ВЛ с СИП 37, кВт·ч, по формуле:

$$\Delta W_{лэп} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВт} \cdot \text{ч} \quad (64)$$

$$\Delta W = 2 \cdot 3 \cdot 140^2 \cdot 1,45 \cdot 10^{-3} \cdot 3714,24 = 633352,2 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где  $R=r_0 \cdot L=0,291 \cdot 5=1,45$  Ом;

$r_0=0,291$  Ом/км;

$l=5$  - длина линии, км.

Таблица 10- Перечень линейной аппаратуры и ее стоимость

Конструктивное исполнение ВЛ					
Неизолированный провод АС -70			Самонесущий изолированный провод СИП-3 (1*70)		
Арматура	Кол-во	Стоимость, тг	Арматура для СИП	Кол-во	Стоимость, тг
Изолятор ТФ 12.01	100	28000	Анкерный кронштейн	12	15156
Хомут Х 10	50	70000	Анкерный зажим	12	22080
Траверса ТН 2	50	130000	Поддерживающий кронштейн	18	18936
			Поддерживающий зажим	18	53730
			Ленточный хомут	60	15660
			Скрепа для хомута	60	3187,44
			Монтажный ремешок	75	9028,8
			Соединительная гильза	4	3000
			Ответвительный зажим	8	9800
Итого:		228000	Итого:		150578,24

Таблица 11- Затраты на строительство и эксплуатацию ВЛ

	Конструктивное исполнение ВЛ	
	Неизолированный провод АС -70	Самонесущий изолированный провод СИП-3 (1*70)
Стоимость провода, тг	1350000	2000000
Стоимость линейной арматуры, тг	228000	150578,24
Общая стоимость материалов, тг	1578000	2150578,24
Стоимость монтажных работ, тг	300000	200000
Капитальные затраты на строительство, тг	1878000	2350578,24
Среднегодовые эксплуатационные затраты, тг	80000	5000
Срок эксплуатации 35 лет, тг	2800000	175000
Итого, тг	4678000	2525578,24

Таблица 12- Сравнительная таблица 2 вариантов внешнего электроснабжения завода

	Конструктивное исполнение ВЛ	
	Неизолированный провод АС -70	Самонесущий изолированный провод СИП-3 (1*70)
Потери активной мощности в трансформаторах, кВт	188,07	188,07
Потери реактивной мощности в трансформаторах, квар	1530,5	1530,5
Потери активной энергии в трансформаторах, кВт·ч	5050,23	5050,23
Потери электроэнергии, кВт·ч	1004627,64	633352,2
Допустимый ток, А	445	340

Расходы на строительство и эксплуатацию провода АС-70 составили 4678000тг что в 1,85 раз больше чем на СИП-3. Следовательно на замене провода можно сэкономить 2152421 тг. Также на потерях было сэкономлено более 350 000 кВт·ч электроэнергии.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В дипломной работе был проведен сравнительный анализ установки и эксплуатации проводов марок АС-70 и СИП-3.

Кроме того, были рассмотрены проблемы энергосбережения и энергоэффективности в Казахстане. Провод СИП является отличной альтернативой для замены обычных проводов. Провод СИП обладает рядом преимуществ: деликатное отношение к природе, т.е. ВЛ с СИП позволяют не вырубать узкие полосы леса для прокладки магистральных линий; благодаря изолированности провода, провод является абсолютно безопасным как для человека, так и для животных. Область применения самонесущих изолированных проводов широка, можно использовать в сетях до 37кВ.

На основе данной дипломной работы, можно утверждать, что самонесущие изолированные провода являются отличной альтернативой обычным проводам.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети. Учебник для вузов / под редакцией В.Т. Федина. – Минск: Технопринт, 2004. – 720 с.: ил.
2. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: справочник. Учеб. пособие. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006. – 480 с.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. Учебник для вузов/ под редакцией М.С. Лисеев – М. Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
4. <https://official.satbayev.university/ru/materialy-satpaevskikh-chteniy>
5. Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. Электрическая часть станций и подстанций: Справочные материалы. - М.: Энергия, 1986. - 460с.
6. Ю.Г.Барыбин, Л.Е. Федоров. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 466с.
7. А.А.Федоров. Справочник по проектированию промышленных предприятий. - М.: Энергия, 1991. - 369с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для студентов высших учебных заведений/ Б.И. Кудрин.-М.: Интенмет Инжиниринг, 2005.-672 с.
9. Неклепаев Б.И., Крючков И.П. Электрическая часть станций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 608с.
10. Бодин А.П., Пятаков Ф.Ю. Электроустановки потребителей: справочник. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2006. – 616 с.: ил.



Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Усенова Назугум Азизжановна

**Название:** Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами

**Координатор:** Толкын Малдыбаева

**Коэффициент подобия 1:**0.7

**Коэффициент подобия 2:**0

**Замена букв:**277

**Интервалы:**0

**Микропробелы:**8

**Белые знаки:**4


После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

обнаруженные в работе  
заимствования являются  
добросовестными


Дата

 Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

*допускается к защите*

Дата

 Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Усенова Назугум Азизжановна

**Название:** Воздушные линии электропередачи с самонесущими изолированными проводами

**Координатор:** Толкын Малдыбаева

**Коэффициент подобия 1:** 0.7

**Коэффициент подобия 2:** 0

**Замена букв:** 277

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 8

**Белые знаки:** 4

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

..... *допускается к защите* .....

..... *10.06.21* .....

Дата

..... *[Подпись]* .....

Подпись Научного руководителя



**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На \_\_\_\_\_ Дипломную работу \_\_\_\_\_  
(наименование вида работы)  
Усеновой Назугум  
(Ф.И.О. обучающегося)  
05B071800 – Электроэнергетика  
(шифр и наименование специальности)

Тема: **Воздушные линии электропередачи с  
самонесущими изолированными проводами**

Усенова Назугум приступила к выполнению дипломной работы в соответствии с графиком.

За время дипломирования показала себя хорошим специалистом, способным заниматься поиском необходимой литературы для решения поставленных задач, умеющей пользоваться справочной литературой, компьютерной техникой и INTERNET.

Дипломная работа выполнена в полном объеме, состоит из пояснительной записки на 40 стр. машинописного текста.

Считаю, что дипломная работа Усеновой Назугум заслуживает оценки «отлично» (90%), а ее автор – присвоения степени «бакалавр».

**Научный руководитель**

лектор

( должность, уч. степень, звание)



Малдыбаева Т.С.

(подпись)

«9» июня 2021 г