

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СЭТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТИ

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Кумаров Тамирлан Токтарбекулы

Способы определение мест повреждения кабельных линий

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В071800 – «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  
«10» июня 2021 г.

## **ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Способы определение мест повреждения кабельных линий

Специальность 5В071800 – «Электроэнергетика»

Выполнил

Кумаров Т. Т

Научный руководитель  
лектор, маг.техн.наук



—Т.С. Малдыбаева  
«10» июнь 2021г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ  
Институт дистанционного образования

Кафедра «Энергетика»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой,  
PhD, ассоц. профессор



Е.А.Сарсенбаев  
«10» июня 2021 г.

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

Обучающегося Кумарова Тамирлана Токтарбекулы

Тема: «Способы определения мест повреждения кабельных линий».

Утверждена приказом проректора университета №345 - П от «24» октября 2019г.

Срок сдачи законченной работы «11» июня 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе: *Питание осуществляется от подстанции энергосистемы, где работают 2 трансформатора мощностью 40 МВт, напряжением 110/10,5кВ. Расстояние от энергосистемы до завода 4,7 км. Завод работает в 3 смены.*

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

а) электроснабжение завода;

б) методы определения повреждения кабельных линий;

Перечень графического материала: Графический материал подготовить в виде презентации



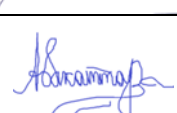
Рекомендуемая основная литература: 18 наименования.

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Основная часть. Электроснабжение завода	20.04.2021г.	<i>Выполнено</i>
Специальная часть. Методы определения повреждения кабельных линий	10.05.2021г.	<i>Выполнено</i>

**Подписи**

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

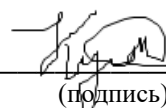
Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Малдыбаева Т.С., лектор, маг.техн.наук	2021г.	
Специальная часть	Малдыбаева Т.С., лектор, маг.техн.наук	2021г.	
Нормаконтроль	Бердибеков А.О., сениор-лектор	2021г.	

Научный руководитель



Малдыбаева Т.С.

Задание принял к исполнению обучающийся

  
(подпись)

Кумаров Т.Т

Дата « 03 » февраля 2021 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Кабельная продукция предназначена для передачи электрической энергии или информации на расстояние, и любая неисправность может привести к поломкам дорогостоящего оборудования или авариям.

Как известно износ является одной из основных проблем, приводящих к электрическим неисправностям, таким как потеря мощности. Поэтому износ жил или же самой изоляции является наиболее часто встречающейся причиной.

В данный момент повреждение кабельной линии происходит из-за 3 основных типов неисправностей:

1. Это неисправность разомкнутой цепи, замыкание на землю и короткое замыкание. Неисправность разомкнутой цепи приводит к тому, что металлический проводник ломается и для его проверки используется мегарегулятор.

2. Это износ изоляционного покрытия многожильного кабеля приводит к тому, что его проводники находятся в непосредственном контакте друг с другом, что приводит ко второму типу неисправности-к короткому замыканию.

3. Это замыкание на землю или заземление, возникающее в результате контакта проводника с заземлением.

Вышеприведенные типы неисправностей были классифицированы в зависимости от того, что их вызывает. В качестве альтернативы можно также провести классификацию в зависимости от того, являются ли неисправности временными или постоянными. Постоянные неисправности — это необратимый результат отказа оборудования. Когда происходит полный отказ изоляции

**Актуальность темы:** Неизбежные материальные и финансовые потери, вызванные выходом из строя кабельной линии, заставляют искать наиболее эффективные способы минимизировать эти потери, способы устранения повреждений. Правильный выбор метода и оборудования для поиска мест повреждений определяет эффективность решения проблемы, т.е. максимальную вероятность правильного определения места повреждения и минимальные затраты времени на это.

Цель дипломной работы: на сегодняшний день определение места повреждения является наиболее сложной и зачастую самой продолжительной операцией по восстановлению поврежденной линии электропередачи. Использование прогрессивных технических решений для обнаружения мест повреждений повысит надежность внутреннего электроснабжения.

## **АҢДАТПА**

Бұл дипломдық жұмыста кабельдік желіге зақым келген жерлерді анықтауға арналған әртүрлі әдістер болған. Зақымдану орындарын табу үшін жетілдірілген техникалық шешімдер қолданылды. Әр түрлі әдістерге практикалық қорытындылар мен талдау жасалды.

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дипломной работе были рассмотрены различные способы определения мест повреждения кабельной линии. Используются прогрессивные технические решения для обнаружения мест повреждений. Были сделаны практические выводы и анализ различных методов.

## **ANNOTATION**

In this thesis, there were various ways to determine the locations of damage to the cable line. Advanced technical solutions were used to locate damage sites. Practical conclusions and analysis of various methods were made.



# СОДЕРЖАНИЕ

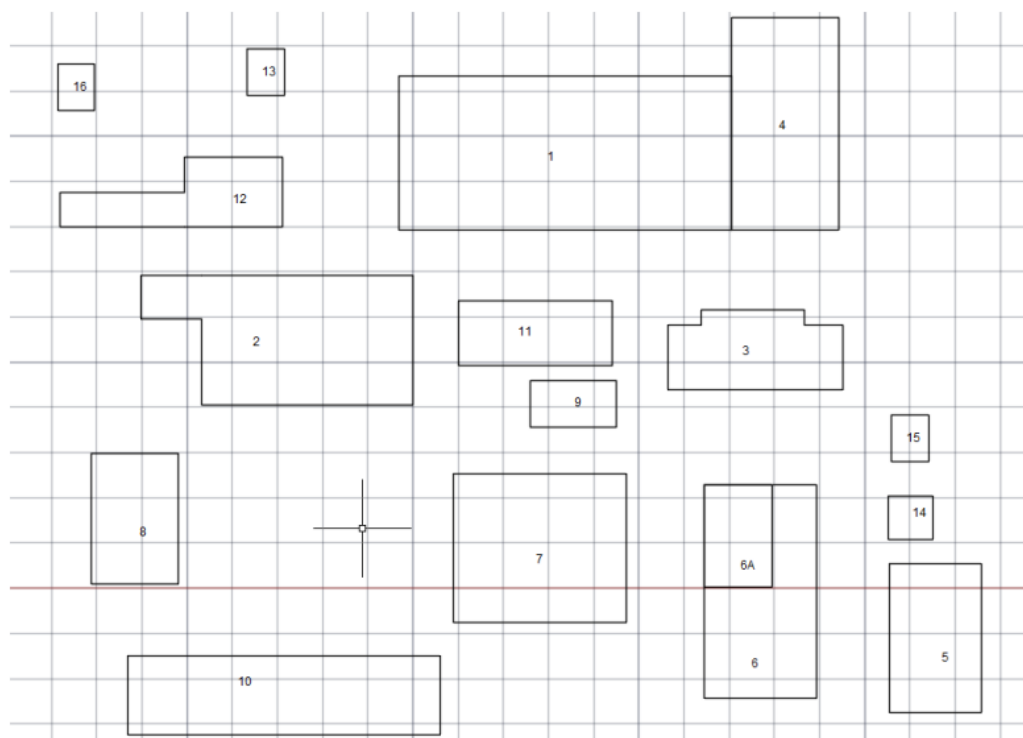
## Введение

1	Основная часть. Электроснабжение завода	10
1.1	Сведения об электрических нагрузках завода	10
2	Расчет низковольтных электрических нагрузок по предприятию	12
2.1	Расчёт электрических нагрузок по цехам	12
2.2	Расчёт масштаба (размеров) цехов и площади	16
2.3	Выбор типа лампы	17
3	Проектирование систем внешнего электроснабжения	18
3.1	Выбор числа цеховых трансформаторов	18
3.2	Баланс реактивной мощности на шинах 0,4 кВ	20
3.3	Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	23
3.4	I - вариант внешнего электроснабжения	23
3.5	II - вариант внешнего электроснабжения	28
4	Специальная часть. Методы определения мест повреждения кабельных линий.	33
5	Практические выводы и технические решения по проблемным вопросам, решаемым в дипломной работе	46
	Заключение	47
	Список использованной литературы	49

## **1. Основная часть. Электроснабжение завода**

### **1.1 Сведения об электрических нагрузках завода**

Исходные данные на проектирование



**Рисунок 1** Схема генерального плана завода

Общие сведения указаны в таблице 1.

**Таблица 1 – Общие сведения об энергосистеме в заводе**

Мощность трансформаторов подстанции энергосистемы	Напряжение трансформаторов энергосистемы	Мощность подстанции энергосистемы	Мощность КЗ на стороне 115кВ трансформаторов	Расстояние от подстанции энергосистемы до завода	Количество рабочих смен завода
$S_{n/ст}^m$ , МВ * А	$U_{ном}$ , кВ	$S_{п/ст}$ , МВ * А	$S_{кз}$ , МВ*А	L, км	$n_{раб.смен}$ , шт
2*40	115/37/10,5	∞	1200	4,7	3

Исходные данные по электрическим нагрузкам цехов указаны в таблице № 2

**Таблица 2– Сведения об электрических нагрузках завода**

Наименование	Вариант А	
	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность, кВт

		Одного ЭП, Р <sub>н</sub>	Σ Р <sub>н</sub>
Блок механических цехов №1	300	1-80	7100
Блок механических цехов №2	100	1-50	1700
Цех металлоконструкций	50	1-40	900
Сборочный цех	30	1-50	450
Экспериментальный цех	20	1-40	350
Термический цех	80	1-80	1500
Отделение термического цеха	51	5-40	400
Кузнечно-штамповочный цех	40	1-80	780
Ремонтно-механический цех	40	1-40	350
ЦЗЛ	15	1-30	150
Заводоуправление	20	1-30	300
Тарный цех	30	1-30	350
Блок складов	10	1-20	110
Насосная	10	1-80	400
Компрессорная:			
а) СД 10кВ	2	1000	2000
б) 0,4 кВ	15	1-20	180
Кислородная	10	1-40	180
Склад масел, мазута	10	1-10	60

## **2. Расчет низковольтных электрических нагрузок по предприятию**

### **2.1 Расчёт электрических нагрузок по цехам**

(Приводится расчет для 1 цеха, все остальные вычисляются аналогично и будут

занесены в таблицу 3.)

Расчет силовых нагрузок на шинах 0,4 кВ производим по методу «Упорядоченных диаграмм», порядок расчета и заполнения таблицы:

- 1) В графе №1 - проставляем нумерацию цехов. Номер цеха = 1
- 2) В графе №2 - для каждого узла питания указывается наименование и номер узла питания.

Блок механических цехов №1

- 3) В графе №3 - записываем количество электроприемников. Количество электроприёмников равно 300
- 4) В графе №4 - записываем номинальную установленную мощность наименьшего и наибольшего по мощности электроприемников.

Номинальная установленная мощность наименьшего и наибольшего = 1-80

- 5) В графе №5 - записываем суммарную установленную мощность электроприемников.

Суммарная установленная мощность равна 7100

- 6) Графа №6 – число  $m$ , определяемое по формуле

$$m = \frac{P_{н, макс}}{P_{н. мин}} \quad (1)$$

$$m = \frac{80}{1} = 80$$

$$M > 3$$

где  $P_{н. макс}$ ,  $P_{н. мин}$  – номинальные активные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников. Если  $m$  больше 3, то эффективное число электроприемников определяется по формуле, если  $m$  меньше 3, то эффективное число электроприемников принимается равным фактическому  $n_{эф}=n$ .

**6.1** Графа №7 - значение коэффициента использования.

Выбрав из приложения 1 = 0.4

- 7) В графе №8 - в числителе записываем значение коэффициент мощности, а в знаменателе соответствующий тангенс.

Выбрав из приложения 1 = 0.75

- 8) В графе №9 - подсчитываем среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену по формуле

$$P_{см} = K_U * \sum P_H \quad (2)$$

$$P_{см} = 0.4 * 7100 = 2840$$

где  $K_U$  – коэффициент использования, значения которого выбирается по

приложению 1;

$P_H$  – номинальная активная нагрузка

9) В графе №10 - подсчитывается средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену по формуле

$$Q_{cm} = P_{cm} * \operatorname{tg}\varphi \quad (3)$$

$$Q_{cm} = 2840 * 0.75 = 2130$$

где  $P_{cm}$  средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену;

$\operatorname{tg}\varphi$  – реактивный коэффициент мощности.

10) В графе №11 подсчитываем эффективное число электроприемников по упрощенной формуле

$$n_э = \frac{(2 * \sum P_H)}{P_H} \quad (4)$$

$$n_э = \frac{2 * 7100}{80} = 178$$

11) Графа №12 - коэффициент максимума  $K_M$  определяем в зависимости от эффективного числа электроприемников и коэффициента использования  $K_i$ .

При  $K_i=0.4$  и  $n=178$ ,  $K_M$  принимается = 1

12) Графа №13 - максимальная активная нагрузка от силовых электроприемников

$$P_m = K_M * \sum P_{cm} \quad (5)$$

$$P_m = 2840 * 1 = 2840$$

где  $K_M$  – коэффициент максимума;

$P_{cm}$  – средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену.

13) Графа №14 - максимальная реактивная нагрузка от силовых электроприемников:

– при  $n_э \leq 10$ ,

$$Q_m = 1.1 * \sum Q_{cm} \quad (6)$$

– при  $n_э > 10$

$$Q_m = \sum Q_{cm} \quad (7)$$

Так как  $Q_{cm} = 2130$ , и  $n_э > 10$ , то  $Q_M$  принял 2130

14) Графа №15 - полная максимальная нагрузка, определяемая по формуле

$$S_m = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (8)$$

где  $Q_{p0,4}$  – реактивная нагрузка 0,4 кВ;  
 $P_{p0,4}$  – активная нагрузка 0,4 Кв.

$$S_m = \sqrt{2840^2 + 2130^2} = 3550$$

15) Расчетный максимальный ток определяется по формуле для трехфазного тока

$$S_m = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_m} \quad (9)$$

$$I_m = \frac{3550}{1.73 * 220} = 9.34$$

**Таблица 3- Расчёт нагрузок по цехам**

№ цехов	Наименование цехов	Кол-во ЭП, n	Установленная мощность		m	K <sub>н</sub>	Cosφ/ tgφ	Средние нагрузки		n <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Расчётные нагрузки			I <sub>м</sub> , А
			P <sub>нмин</sub> /P <sub>нmax</sub>	ΣP <sub>н</sub>				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	
1	Блок механических цехов №1	300	1-80	7100	>3	0.4	0.75	2840	2130	178	1	2840	2130	3550	9.34
2	Блок механических цехов №2	100	1-50	1700	>3	0.4	0.75	680	510	68	1.08	735	510	850	2.23
3	Цех металлоконструкций	50	1-40	900	>3	0.5	0.6	450	270	45	1.11	500	270	524	1.38
4	Сборочный цех	30	1-50	450	>3	0.25	0.65	113	73	18	1.34	150	73	134	0.35
5	Экспериментальный цех	20	1-40	350	>3	0.4	0.7	140	98	18	1.24	174	98	171	0.45
6	Термический цех	80	1-80	1500	>3	0.6	0.75	900	675	38	1.08	972	675	1125	2.96
6а	Отделение термического цеха	51	5-40	400	>3	0.6	0.75	240	180	20	1.1	264	180	300	0.78
7	Кузнечно-штамповочный цех	40	1-80	780	>3	0,65	0,75	507	380	20	1,12	568	380	633	1,66
8	Ремонтно-механический цех	40	1-40	350	>3	0,25	0,6	86	53	18	1,15	101	53	102	0,26
9	ЦЗЛ	15	1-30	150	>3	0,3	0,7	45	32	10	1,52	98	32	54	0,14
10	Заводоуправление	20	1-30	300	>3	0,4	0,8	120	96	20	1,24	147	96	154	0,40
11	Тарный цех	30	1-30	350	>3	0,3	0,7	105	74	24	1,1	116	74	128	0,33
12	Блок складов	10	1-20	110	>3	0,4	0,8	44	35	11	1,43	63	44	56	0,14
13	Насосная	10	1-80	400	>3	0,4	0,8	160	128	10	1,43	229	160	205	0,53
14	Компрессорная														
	А) СД 10 кВ	2	1	1000	>3	0,6	0,8	1200	960	2	1,26	1512	1320	1537	4,04
	Б) 0,4 кВ	15	1-20	180	>3	0,8	0,8	144	115	15	1,07	154	144	184	0,48
15	Кислородная	10	1-40	180	>3	0,4	0,8	72	58	9	1,43	103	72	92	0,24
16	Склад масел, мазута	10	1-10	60	>3	0,4	0,8	24	19	10	1,43	34	24	31	0,09

## 2.2 Расчёт масштаба (размеров) цехов и площади

В масштабе измеряем длину, ширину помещения и находим площадь цеха

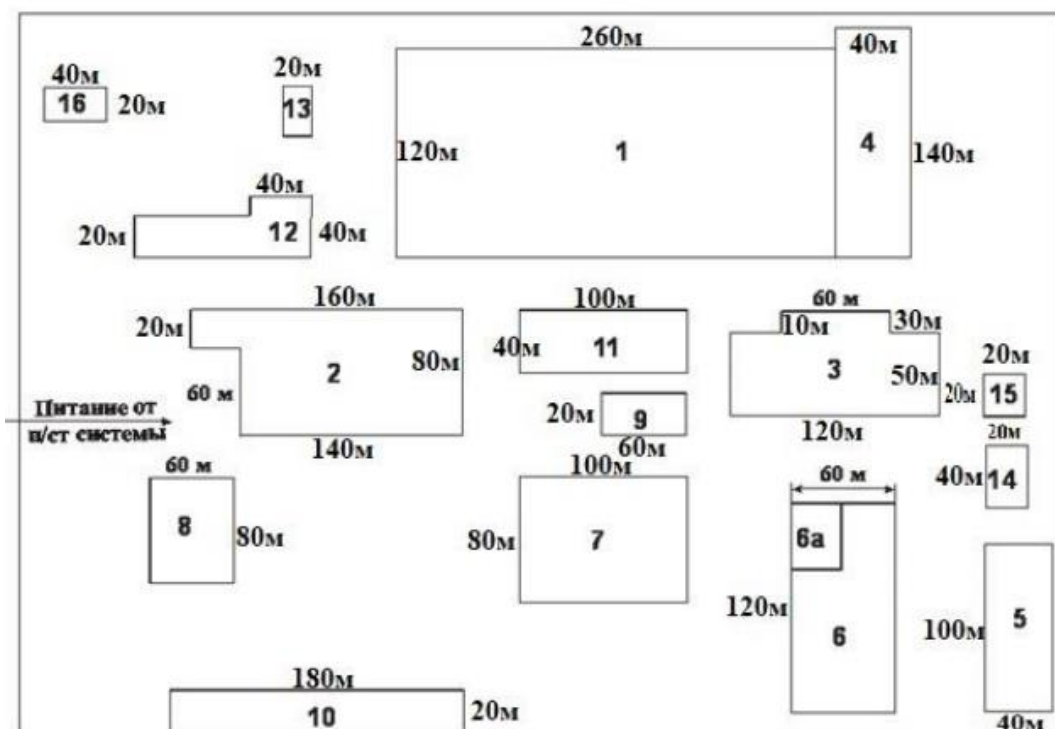


Рисунок 2. Размеры цехов (масштабы)

Таблица 4 - Размеры цехов (помещений)

Номер цеха	Ширина, м X Длина м	Площадь, м <sup>2</sup>	Высота, м
1	120x260	31200	10
2	160x80	12800	10
3	120x50	6000	10
4	40x140	5600	10
5	100x40	4000	10
6	60x120	7200	10
7	100x80	8000	10
8	60x80	4800	10
9	60x20	1200	10
10	180x20	3600	10
11	100x40	40000	10
12	80x40	3200	10
13	20x30	600	10
14	20x20	800	10
15	20x20	400	10
16	40x20	800	10



### 2.3 Выбор типа лампы.

Принимаем светильник РСП07. По справочнику определяем коэффициент использования и коэффициенты отражения (от потолка, стен, рабочей поверхности)

$\rho=0,47\%$ ,  $\rho_n=70\%$ ,  $\rho_c=50\%$ ,  $\rho_p=30\%$  - Принимаем лампу ДРИ400

Таблица 5 - Тип лампы

Наименование	Мощность, Вт	Напряжение, В	Световой поток, лм
ДРИ 400	400	220	35000

Проверим отклонение светового потока от номинального

$$\Delta\Phi=-0,15\%$$

Отклонение светового потока от номинального должно лежать в пределах  $\Delta\Phi = -10\% \dots +20\%$ . Лампа ДРИ-400 подходит

### 3. Проектирование систем внешнего электроснабжения

#### 3.1 Выбор числа цеховых трансформаторов

Для каждой технологически концентрированной группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности минимальное их число, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, рассчитывается по формулам.

Принимаю трансформатор ТМ-1000-6/0.4

Т — трехфазный

М — масляный, с естественной циркуляцией масла и воздуха

1000 — номинальная мощность, кВА

6 — высшее напряжение (напряжение на стороне ВН), кВ

0,4 — низшее напряжение (напряжение на стороне НН), кВ

У — вид климатического исполнения по ГОСТ 15150-69

1 — категория размещения по ГОСТ 15150-69

У — схема соединения обмотки высшего напряжения (звезда)

Ун — схема соединения обмотки низшего напряжения (звезда)

0 — группа соединения обмоток.

Минимальное число трансформаторов, необходимое для питания наибольшей расчетной активной нагрузки, рассчитывается по формуле:

$$N_{t.min} = \frac{P_p 0.4}{K_3 * S_{нт}} + \Delta N \quad (10)$$

$$N_{t.min} = \frac{8730}{0.7 * 1000} + 0.86 = 14$$

где  $P_p 0,4$  – суммарная расчетная активная нагрузка;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$\Delta N$  – добавка до ближайшего целого числа;

$S_{н.тр}$  – принятая номинальная мощность трансформатора, выбирается.20

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{t.э} = N_{t.min} + m \quad (11)$$

$$N_{t.э} = 14 + 1 = 15$$

По выбранному числу трансформаторов определяют наибольшую реактивную мощность  $Q_1$

$$N_{т.э} = \sqrt{(N_{трэ} * S_{нт} * K_3)^2 - P_{0,4}^2} \quad (12)$$

$$N_{т.э} = \sqrt{15 * 1000 * 24^2 - 8730^2} = 7621$$

Определяется мощность батареи конденсаторов, приходящаяся на каждый трансформатор

$$Q_{нбк.тп} = \frac{Q_{нбк}}{N_{т.э}} \quad (13)$$

$$Q_{нбк.тп} = \frac{110}{15} = 8$$

**Таблица 6- Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП**

<b>№ТП, S<sub>н тп</sub>, Q<sub>нбк тп</sub></b>	<b>№ Цеха</b>	<b>P<sub>р0,4</sub> , кВт</b>	<b>Q<sub>р0,4</sub> , квар</b>	<b>S<sub>р0,4</sub> , кВА</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
ТП1-ТП6	1-5, 6а, 7	4969	3641	6163
ТП7	12,16	68	97	87
ТП8-ТП9	14	1344	1075	1721
ТП10	13	160	228	204
ТП11	15	74	57	92
ТП12-ТП13	6	900	675	1125
ТП14	8-9	132	84	156
ТП15	10-11	225	170	281

### 3.2 Баланс реактивной мощности на шинах 0.4 кВ

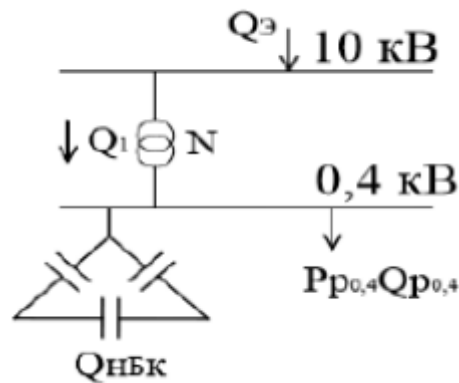


Рисунок 3 – Расчётная схема

Составим баланс мощности реактивной на шинах 0,4 кВ

$$Q_{\text{НБК1}} + Q_1 = Q_{\text{р0,4}}$$

$$Q_{\text{НБК1}} = Q_{\text{р0,4}} - Q_1 = 8730 - 7621 = 1109 \text{ квар}$$

Дополнительная мощность  $Q_{\text{НБК2}}$  НБК для данной группы трансформаторов находится по формуле:

$$Q_{\text{нбк2}} = Q_{\text{р0,4}} - Q_{\text{нбк1}} - y - N_{\text{тр.э.}} \cdot S_{\text{нт}}$$

$K_1 = 16, K_2 = 2$  - для средней Азии и Казахстана  $\Rightarrow \gamma = 0,85$

$$Q_{\text{НБК2}} = 8730 - 1109 - 0,85 \cdot 14 \cdot 2000 = -11079 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{НБК}} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}} = 1109 + 0 = 1109 \text{ квар}$$

Определяется мощность батареи конденсаторов, приходящуюся на каждый трансформатор

$$Q_{\text{нбктп}} = Q_{\text{нбк}} / N_{\text{т.э.}}$$

$$Q_{\text{нбктп}} = 1109 / 14 = 80 \text{ квар} = 100 \text{ квар}$$

Нахождение установленной мощности синхронных двигателей.

Используем СД для компенсации мощности реактивной на стороне ВН

$$\text{СД1: } P_{\text{НСД}} = 1000 \text{ кВт}; \cos\varphi = 0,9; N_{\text{СД}} = 4; K_3 = \beta = 0,85$$

Найдем установленные мощности для СД1

$$P_{\text{рсд}} = P_{\text{нсд}} \cdot N_{\text{сд}} \cdot K_3 = 1000 \cdot 1 \cdot 0,85 = 850 \text{ кВт}$$

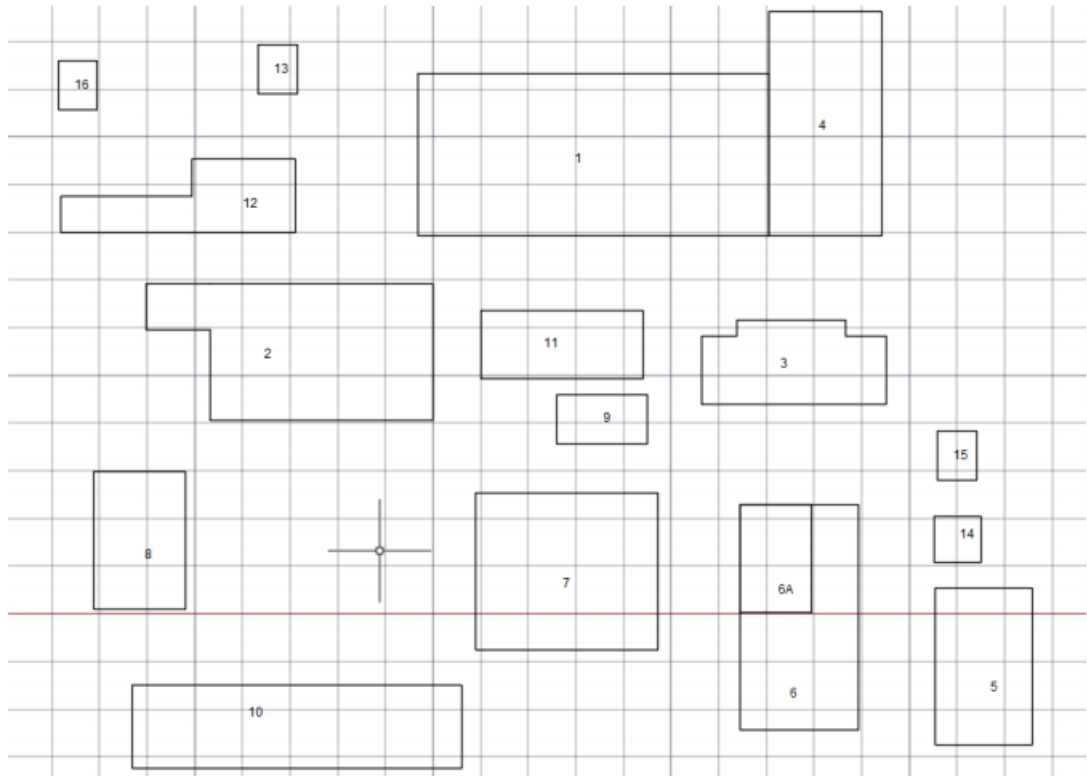
$$P_{\text{рсд}} = P_{\text{рсд}} / N = 850 / 1 = 850 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{рсд}} = P_{\text{рсд}} \cdot \tan\varphi = 850 \cdot 0,48 = 408 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{сд}} = Q_{\text{рсд}} / N = 1320 / 1 = 1320 \text{ квар}$$

**Таблица 7 - Распределение низковольтной нагрузки по цеховым ТП**

№ ТП, $S_{H\ TП}$ , $Q_{HБК\ TП}$	№ Цеха	$P_{p0,4}$ , кВт	$Q_{p0,4}$ , квар	$S_{p0,4}$ , кВА
1	2	3	4	5
ТП1-ТП6 $\sum S_H=6*1000=6000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=6*100=600\text{ квар}$	1- 5,6а,7	4969	3651	6163
Всего		4969	3651- 600=3041квар	6163
ТП7 $\sum S_H=1*1000=1000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=1*100=100\text{квар}$	12,16	68	97	87
всего		68	97-10=-3квар	87
ТП8-ТП9 $\sum S_H=2*1000=2000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=2*100=200\text{квар}$	14	1344	1075	1721
всего		1344	1075- 200=875квар	1721
ТП10 $\sum S_H=1*1000=1000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=1*100=100\text{квар}$	13	160	228	204
		160	228- 100=127квар	204
ТП11 $\sum S_H=1*1000=1000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=1*100=100\text{квар}$	15	74	57	92
всего		74	57	92
		74	57-100=- 43квар	92
ТП12-ТП13 $\sum S_H=2*1000=2000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=2*100=200\text{квар}$	6	900	675	1125
всего		900	675-200=- 475квар	1125
ТП14 $\sum S_H=1*1000=1000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=1*100=100\text{квар}$	8-9	132	84	156
всего		132	84-100=- 16квар	156
ТП15-ТП16 $\sum S_H=1*1000=1000\text{кВА}$ $Q_{HБК}=1*100=100\text{квар}$	10-11	225	170	281
		225	170- 100=70квар	281



**Рисунок 4 - Расположение трансформаторов по предприятию**

### 3.3 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

Питание может быть осуществлено от гидроэлектростанции, на которой работают 4 генератора мощностью по 50 МВт, напряжением 10,5 кВ. При ГЭС имеется повысительная подстанция 10,5/115 кВ с двумя трансформаторами по 40 МВА. Генераторы работают на две секции шин, секционированные реактором РБ-10-10-3000. Трансформаторы работают отдельно. Для технико-экономического сравнения вариантов электроснабжения завода рассмотрим два варианта:

- а) I вариант – Подстанция 115 кВ;
- б) II вариант – Подстанция 10 кВ.

### 3.4 I - вариант внешнего электроснабжения

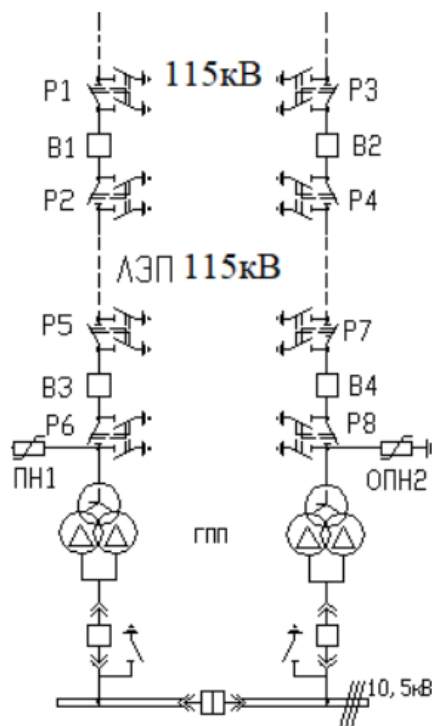


Рисунок 5 - I вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по I варианту.

- 1) Выбираем трансформаторы ГПП:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_s^2} = \sqrt{5259^2 + 2239^2} = 5715 \text{ кВА} \quad (14)$$

Выбираем два трансформатора мощностью 4000 кВА.

Коэффициент загрузки

$$K_3 = \frac{S_p}{2 \cdot S_H} = \frac{5715}{2 \cdot 4000} = 0.7$$

Паспортные данные трансформатора:

Тип т-ра ТМН –4000/35/10;

$$S_H=4000 \text{ кВА}, U_{BH}=35\text{кВ}, U_{HH}=10\text{кВ},$$

$$\Delta P_{xx}=5,6\text{кВт}, \Delta P_{кз}=33,5\text{кВт}, U_{кз}=7,5\%, I_{xx}=0.9\%$$

2) Потери мощности в трансформаторах:

а) активной:

$$\Delta P_{тгпп} = 2 \cdot (\Delta P_{xx} + \Delta P_{кз} \cdot K_3^2) = 2 \cdot (5,6 + 33,5 \cdot 0,7^2) = 44.03 \text{ кВт} \quad (15)$$

б) реактивной

$$\Delta Q_{тгпп} = 0.02 \cdot (I_{xx} + U_{кз} \cdot K_3^2) \cdot S_H \quad (16)$$

$$\Delta Q_{тгпп} = 0.02 \cdot (0.9 + 7.5 \cdot 0.7^2) \cdot 4000 = 366 \text{ квар}$$

Потери энергии в трансформаторах

При трехменном режиме работы  $T_{вкл}=4280$  ч.  $T_{макс}=4280$  ч.

тогда время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + T_m \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = (0,124 + 4280 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 2669 \text{ ч}$$

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta W = 2 \times (\Delta P_{xx} \times T_{вкл} + \Delta P_{кз} \times \tau \times K_3^2) \quad (17)$$

$$\Delta W = 2 \times (5,6 \times 4280 + 33,5 \times 2669 \times 0,7^2) = 135559 \text{ кВтч.}$$

ЛЭП –115 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S_{лэп} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{тгпп})^2 + Q_3^2} = \sqrt{(5259 + 44.03)^2 + 2239^2} = 5756 \text{ кВА} \quad (18)$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:



$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{5756}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 115} = 14.4 \text{ А.} \quad (19)$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_p = 2 \times 14.4 = 28.8 \text{ А.} \quad (20)$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$F = \frac{I_p}{j} = \frac{14.4}{1.1} = 13 \text{ мм}^2 \quad (21)$$

где  $j=1,1$  А/мм<sup>2</sup> экономическая плотность тока при  $T_{\text{м}}=4280$ ч.

Принимаем провод АС –16/2.7 с  $I_{\text{доп}}=111$ А.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе:

$$I_{\text{доп}}=111 \text{ А} > I_p=14.4 \text{ А.}$$

При аварийном режиме:

$$I_{\text{доп ав}}=1,3 \times I_{\text{доп}}=1,3 \times 111=144.3 \text{ А} > I_{\text{ав}}=28.8 \text{ А.}$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\Delta W_{\text{лэп}} = 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 \cdot 3 \cdot 14.4^2 \cdot 2.7 \cdot 10^{-3} \cdot 2669 = 8965 \text{ кВтч}$$

где  $R=r_0 \times L=0,59 \times 4,7=2,7$  Ом,

где  $r_0=0.59$  Ом/км - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 16 мм<sup>2</sup>,  $l=4,7$  км - длина линии.

## Выбор выключателей на $U=115$ кВ

Перед выбором аппаратов составим схему замещения (рис.3.4.) и рассчитаем ток короткого замыкания в о.е.

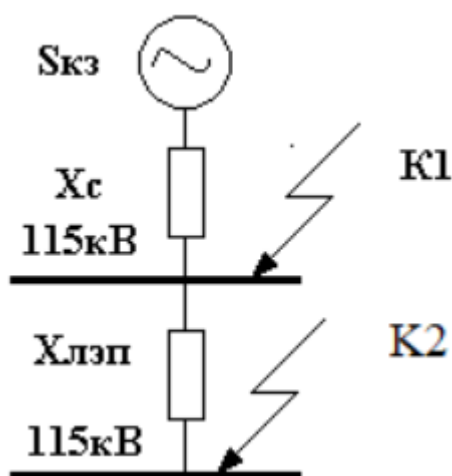


Рисунок 6 – Схема КЗ

$$S_6=1000 \text{ МВА}; U_6=115 \text{ кВ.}$$

$$x_c = S_6 / S_{кз} = 1000 / 1200 = 0.83 \quad (22)$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_H} = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 115} = 5.02 \text{ кА}; \quad (23)$$

$$X_L = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2} = 0.4 \cdot 4.7 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0.14 \quad (24)$$

$$I_{к1} = \frac{I_6}{x_c} = \frac{5.02}{0.83} = 6.04 \text{ кА} \quad (25)$$

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к1} = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 6.04 = 15.2 \text{ кА}; \quad (26)$$

$$I_{к2} = \frac{I_6}{x_c + x_l} = \frac{5.02}{0.83 + 0.14} = 5.17 \text{ кА} \quad (27)$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к2} = \sqrt{2} \cdot 1.8 \cdot 5.17 = 13 \text{ кА} \quad (28)$$

1) Выключатели В1, В2, В3, В4.

Выбираем выключатель МКП-110Б-630-20У1

**Таблица 8 – параметры выключателя**

Каталожные данные выключателя	Расчетные данные	
	B1,B2	B3,B4
$I_{ном}=630 \text{ А}$ $I_{откл}=20 \text{ кА}$ $I_{пред}= 64 \text{ кА}$ $I_{терм}= 25 \text{ кА}$ $S_{кз} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{откл} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 20 = 3979 \text{ МВА};$	$>I_{ав}=62,6 \text{ А}$ $>I_{к1}=4,4 \text{ кА}$ $>i_{у\text{кк}1}=11,2 \text{ кА};$ $>S_{кз1}=875,4 \text{ кА}$	$>I_{ав}=62,6 \text{ А}$ $>I_{к2}=3,96 \text{ кА}$ $>i_{у\text{кк}2}=9,98 \text{ кА};$ $>S_{кз2}=781,9 \text{ кА}$

2) Разъединитель

Принимаем разъединитель РНДЗ-110/1000У1

$$I_{ном}=1000\text{А} > I_{ав}=62,6 \text{ А};$$

$$I_{пред}= 80 \text{ кА} > i_{у\text{кк}2} = 9,96 \text{ кА};$$

$$I_{терм}= 31,5\text{кА} > I_{к2}=3,96 \text{ кА};$$

3) Ограничители перенапряжения ОПН

Выбираем ОПНН-110-420-77-10 УХЛ1

### 3.5 II - вариант внешнего электроснабжения

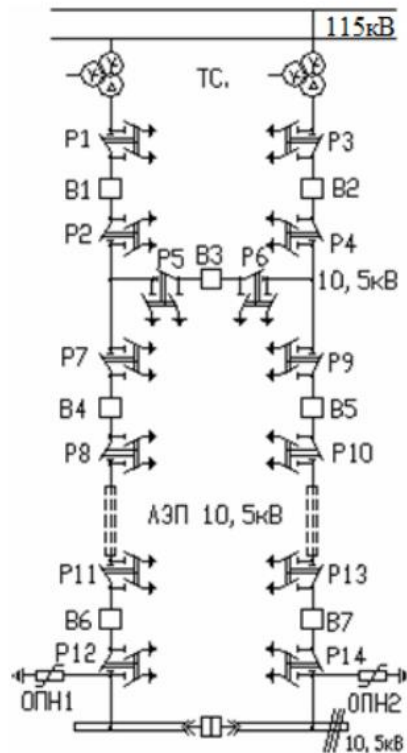


Рисунок 7 – II вариант схемы электроснабжения

1) Выбираем электрооборудование по II варианту.

ЛЭП – 10,5 кВ.

Полная мощность, проходящая по ЛЭП:

$$S = \sqrt{P_p^2 + Q_3^2} = \sqrt{5259^2 + 2239^2} = 5715 \text{ кВа} \quad (29)$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_p = \frac{S_{\text{лэп}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{5715}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 157 \text{ А} \quad (30)$$

Ток аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_p = 2 \times 157 = 314 \text{ А} \quad (31)$$

По экономической плотности тока определяем сечение проводов:

$$S = \frac{I_p}{j} = \frac{314}{1.1} = 288 \text{ мм}^2 \quad (32)$$

где  $j=1,1$  А/мм<sup>2</sup> экономическая плотность тока при  $T_m=4280$ ч

Принимаем провод АС –300/39 с  $I_{доп} = 710$  А

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе:

$$I_{доп} = 710 \text{ А} > I_p = 157 \text{ А.} \quad (33)$$

При аварийном режиме:

$$I_{доп.ав.} = 1,3 * I_{доп} = 1,3 * 710 = 923 \text{ А} > I_{ав} = 314 \text{ А.} \quad (34)$$

Потери электроэнергии в ЛЭП:

$$\begin{aligned} \Delta W_{лэп} &= 2 \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau = 2 * 3 * 157^2 * 0,94 * 10^{-3} * 2669 \quad (34) \\ &= 371045 \text{ кВтч} \end{aligned}$$

где  $R=r_0 \times L=4,7 \times 0,2=0,94$  Ом,

где  $r_0=0,2$  Ом/км - удельное сопротивление сталеалюминиевого провода сечением 240 мм<sup>2</sup>,  $l=4,7$  км - длина линии.

Выбираем выключатели типа ВВЭ-10-4000

**Таблица 9 – параметры выключателя В1-В2 ВВЭ-10-4000**

Паспортные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_H=10$ кВ	$U_p=10$ кВ	$U_H \geq U_p$
$I_H=4000$ А	$I_{ав}=314$ А	$I_H \geq I_{ав}$
$I_{откл}=40$ кА	$I_{к1}=2,03$ кА	$I_{откл} \geq I_{к1}$
$I_{дин}=128$ кА	$i_{уд1}=5,1$ кА	$I_{дин} \geq i_{уд1}$

**Таблица 10 – параметры разъединителя типа РВРЗ–10/4000 МУЗ**

Паспортные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_H=10$ кВ	$U_p=10$ кВ	$U_H \geq U_p$
$I_H=4000$ А	$I_{ав}=314$ А	$I_H \geq I_{ав}$
$I_{скв.ампл}=50$ кА	$i_{уд2}=3,12$ кА	$I_{скв.ампл.} \geq i_{уд2}$
$I_{пред.терм. ст.}=125$ кА	$I_{к2}=1,24$ кА	$I_{пред.терм. ст} \geq I_{к2}$

Выбираем секционный выключатель ВЭ-10-40/2500У3

**Таблица 11 – параметры выключателя типа ВЭ-10-40/2500У3**

Паспортные данные	Расчётные данные	Условия выбора
$U_H=10$ кВ $I_H=2500$ А $I_{откл}=40$ кА $I_{дин}=100$ кА	$U_p=10$ кВ $I_{ав}=314$ А $I_{к1}=2,03$ кА $i_{уд1}=5,1$ кА	$U_H \geq U_p$ $I_H \geq I_{ав}$ $I_{откл} \geq I_{к1}$ $I_{дин} \geq i_{уд1}$

*Выбор силовых кабелей отходящих линий*

Выбор кабелей производится по следующим условиям:

по экономической плотности тока:  $F_{э} = I_p / j_{э}$ ;

по минимальному сечению  $F_{min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_n}$ ;

по условию нагрева рабочим током  $I_{дон каб} \geq I_p$ ;

по аварийному режиму  $I_{дон ав} \geq I_{ав}$ ;

по потере напряжения  $\Delta U_{дон} \geq \Delta U_{рас}$

Все расчетные данные выбора кабелей занесены в таблицу 12 «Кабельный журнал»

**Таблица 12 – Кабельный журнал**

Наименов. участка	S <sub>р</sub> , кВА	Кол-во каб. в траншее	Нагрузка		По экономич. плот. тока		По току короткого замыкания		По условию нагрева рабочим током		По аварийному режиму		По доп. нагр. К <sub>п</sub>	Выбранный кабель	I <sub>доп</sub> , А
			I <sub>р</sub> , А	I <sub>ав</sub> , А	j <sub>э</sub>	F <sub>э</sub> , мм <sup>2</sup>	I <sub>к</sub> , кА	S, мм <sup>2</sup>	I <sub>дл.доп</sub> , А	I <sub>р</sub> , А	1,3I <sub>доп</sub>	I <sub>ав</sub> , А			
ГПП-ТП1	3255	6	89,6	179	1,4	64	4,67	39,23	234	89,6	312	179	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x120)	240
ТП1-ТП2	1627	4	44,8	89,6	1,4	32	4,67	39,23	145,6	44,8	182	89,6	0,8	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x50)	140
ГПП-ТП3	3249	6	89,4	178,8	1,4	63,8	4,67	39,23	234	89,4	312	178,8	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x120)	240
ТП3-ТП4	1624	2	44,7	89,4	1,4	31,9	4,67	39,23	163,8	44,7	182	89,4	0,9	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x50)	140
ГПП-ТП5	2509	6	69,1	138,2	1,4	49,4	4,67	39,23	199,9	69,1	266,5	138,2	0,75	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x95)	205
ТП5-ТП6	1254	5	34,5	69	1,4	24,6	4,67	39,23	141,9	34,5	182	69	0,78	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x50)	140
ГПП-СД	700	4	38,5	77	1,4	27,5	5,07	39,23	145,6	38,5	182	77	0,8	ААШ <sub>в</sub> -10-(3x50)	140

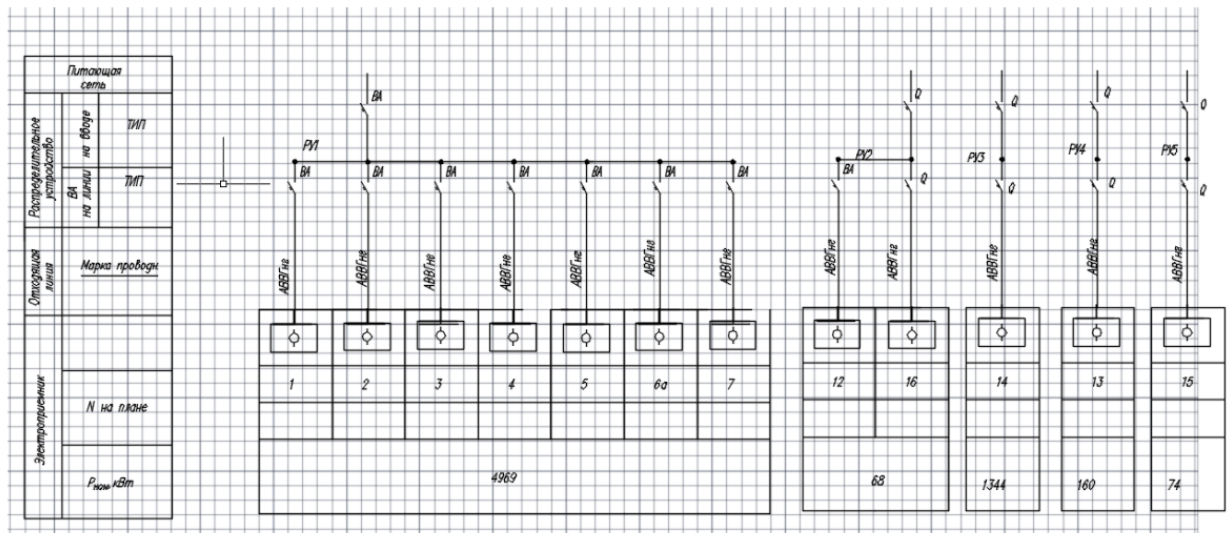


Рисунок 8 – Схема КРУ

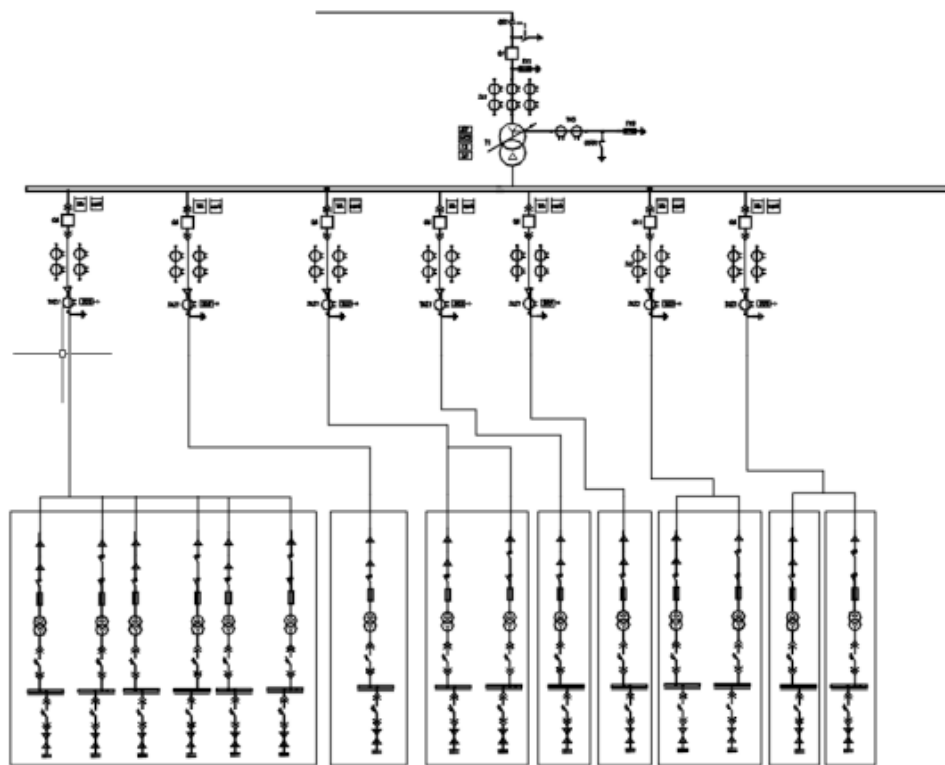


Рисунок 9 – Схема заполнения ячеек



#### 4. Специальная часть. Методы определения мест повреждения кабельных линий.

Кабельные линии 6-10 кВ широко используются в распределительных сетях энергосистем, в городах и на промышленных предприятиях. Повреждаемость кабельных линий в 2-3 раза выше, чем в других элементов электросети, что требует выявления в 500 000 повреждений в год. Анализ эксплуатационных свойств кабельных сетей показывает, что более 90% отказов в эксплуатации происходят на кабельных линиях, проложенных в земле. Время поиска такого повреждения, как 5 суток, является наиболее сложной и дорогостоящей операцией, так как до 50% стоимости устранения повреждений идет на определение места повреждения кабельной линии на трассе.

Причинами повреждения кабельных линии могут быть следующие:

- 1) бывают повреждены одна или несколько жил. Замыкание при этом осуществляется на грунт;
- 2) повреждены несколько жил с замыканием друг на друга;
- 3) разрыв кабеля с заземлением;
- 4) разрыв без заземления;
- 5) возникновение так называемого «заплывающего пробоя», когда замыкание происходит при повышении напряжения, после нормализации ситуация стабилизируется;
- б) нарушена целостность изоляционного слоя.

Повреждения любого вида требует скорейшего устранения. Так как происходит нарушение схем подачи энергии, что приводит к ухудшению надёжности всего электроснабжения конечных пользователей.

Отыскание повреждений кабельных линий начинается с определения предварительной зоны, где произошло нарушение. Только после этого уточняется конкретное место, а затем и тип повреждения. В зависимости от того, с какой по характеру поломкой пришлось столкнуться специалистам, они подбирают оптимальную методику.

##### *Методы обнаружения места повреждения*

Кабели для передачи энергии широко используются для распределения и передачи электроэнергии потребителям. Кабельные линии, как и элемент электрических сетей, могут повредиться в процессе эксплуатации.

Одно из основных проблем в электроэнергетике - обеспечить конечным установкам бесперебойного электроснабжения, в том числе опционально, по возможности максимально минимизируя риск пробоя кабеля.

Изучим разнообразие видов кабельных повреждений, так же причину того или иного случая поломки.

##### *Однофазное замыкание на землю*

Однофазное короткое замыкание одной из фаз кабеля на массу - одно из наиболее частых повреждений кабельных линий. При таком повреждении одна из токопроводящих фаз из-за нарушения целостности изоляции контактирует с внешней, экранирующей оболочкой кабеля, которая заземлена.

Однофазные короткие замыкания, в свою очередь, классифицируются по величине переходного сопротивления в точке короткого замыкания.

Первый тип - цепь с повышенным сопротивлением в точке соприкосновения, так называемый как заплывающий пробой изоляции. При этом повреждении в электрической сети наблюдается хаотическое изменение фазных напряжений.

Второй тип - это короткое замыкание с небольшим сопротивлением от нескольких Ом до нескольких десятков кОм. В этом случае произойдет значительный перекося фазных напряжений в электрической сети, при этом напряжение будет ниже на поврежденной фазе и выше на двух других фазах. Чем меньше сопротивление при фазном коротком замыкании, тем больше перекося напряжения.

Третий тип - полное короткое замыкание одной жилы кабеля, т.е. переходное сопротивление в точке короткого замыкания близко к нулю. При этом повреждении напряжение на поврежденной фазе отсутствует, на двух других фазах напряжение достигает линейного.

Однофазное замыкание на землю в сетях с заземленной нейтралью является аварийным режимом, поэтому линия с таким повреждением будет обесточена за счет максимальной токовой защиты.

В сетях, работающих в режиме изолированной нейтрали, этот тип повреждения не является аварийным, поэтому кабель может находиться под напряжением в течение длительного времени, пока поврежденная область не будет обнаружена и отключена от сети. Поэтому очень часто однофазное замыкание на землю на кабельной линии в сети с изолированной нейтралью быстро переходит в межфазное короткое замыкание и происходит автоматическое отключение линии

### *Междуфазное замыкание двух или трех фаз*

Второй по распространенности вид повреждений - короткое замыкание двух или трех фаз кабельной линии. В большинстве случаев короткое замыкание между жилами кабеля происходит через экранированную заземленную оболочку, то есть в этом случае происходит двух- или трехфазное замыкание на землю.

Этот вид повреждений является наиболее тяжелым и характеризуется, как правило, большими токами, которые необходимо отключать срабатыванием защиты независимо от класса напряжения и режима работы электрической сети. Если по каким-то причинам происходит задержка срабатывания защиты кабельной линии, то в месте короткого замыкания видны повреждения, вплоть

до полного разрыва кабеля в месте короткого замыкания.

Причины однофазных и межфазных коротких замыканий:

- неправильный выбор типа и сечения кабеля, защитных устройств или неправильный выбор настроек устройств релейной защиты и автоматики;
- эксплуатация кабеля в недопустимых условиях окружающей среды;
- заводские дефекты или дефекты, вызванные ошибками при монтаже кабельной линии;
- повреждение кабельной линии в процессе эксплуатации в результате внешнего механического воздействия, негативного воздействия посторонних предметов и коммуникаций, находящихся на недопустимом расстоянии от кабеля (из-за ошибок при прокладке кабеля или из-за несогласованных действий при строительстве различных объектов. и коммуникации);
- естественный износ изоляционного материала и коррозия металлических элементов конструкции кабельной линии.

### *Обрыв одной или нескольких жил*

Другой возможный вид повреждения кабеля - обрыв одной или нескольких жил. Разрыв жил происходит в результате нежелательного смещения или растяжения кабеля, из-за неправильно подобранного типа кабеля, ошибок при установке на опорах, различных конструкциях или укладке в грунт, а также в результате внешних механических воздействий.

Обрыв также может сопровождаться замыканием на землю, если нарушена целостность изоляции между поврежденным корпусом и внешней заземленной оболочкой кабеля. При этом заземление может быть как рваным, так и неразрывным.

Часто обрыв жил кабельной линии происходит возле муфт, как наиболее уязвимой части кабельной линии. Причиной такого повреждения может быть ошибка при установке муфты, а также из-за постоянных оползней и проседаний.

### *Комбинированное повреждение*

На одной кабельной линии одновременно может быть несколько поврежденных участков, причем повреждения могут иметь разный характер. Такое повреждение может произойти из-за механического воздействия на кабель на разных участках.

Также не исключено, что причиной может быть наличие «слабых мест» (частичное нарушение целостности изоляционных материалов, заводские дефекты), выдержавших номинальную нагрузку, но при значительном превышении протекающего в цепи тока кабеля был поврежден в этих местах.

По этой причине часто возникают ситуации, когда после устранения повреждения на кабель подается напряжение и защита повторно активизируется, что указывает на наличие другого поврежденного участка на кабельной линии.

Поэтому перед подачей напряжения убедитесь, что на кабеле нет других

поврежденных участков. Для этого измерить сопротивление изоляции кабеля мегаомметром, а в высоковольтных сетях на длинных кабельных линиях выявить повреждения с помощью специального испытательного стенда.

### *Определение места повреждения кабеля*

Как правило, потребители подключаются к источникам электроэнергии (трансформаторным и распределительным подстанциям) с помощью кабельных линий (КЛ). Это связано с тем, что этот способ имеет массу преимуществ перед ВЛ (ВЛ). Но, если на кабеле произошла авария, то найти место повреждения кабеля без специальных приспособлений практически невозможно. Рассмотрим несколько способов локализации аварийного участка кабельной трассы, проложенного в земле.

### *Причины и виды повреждений кабельных линий*

Существует множество факторов, негативно влияющих на целостность силовых кабелей, наиболее распространенными из которых являются следующие:

- Перемещение почвы может быть вызвано аварией в водопроводных, канализационных или тепловых сетях, а также сезонным явлением, например, весенним таянием.
- Превышение допустимых норм эксплуатации кабеля, что может привести к тепловой перегрузке линии, вызванной увеличением токовой нагрузки.
- Образование в КЛ высокого уровня электрического тока от транзитного короткого замыкания.
- Механические повреждения при земляных работах без учета прохождения подземных коммуникаций и глубины трассы.
- Ошибки при прокладке кабеля. В качестве примера можно привести нарушение технологии соединения жил кабельной муфтой.
- Заводской дефицит.

Учтите, что при прокладке кабельных трасс на открытом воздухе некоторые из вышеперечисленных причин повреждений встречаются крайне редко. В частности, снижается вероятность воздействия движения грунта и механических воздействий из-за земляных работ. Кроме того, область повреждения открытого КЛ, в большинстве случаев, можно обнаружить при визуальном осмотре, без применения специальных методов.

Разобравшись в причинах, перейдем к типам повреждений, так как это напрямую зависит от того, каким методом будет локализован аварийный участок КЛ.

*Чаще всего ремонтным бригадам приходится сталкиваться со следующими видами неисправностей:*

- Неисправность, вызванная полной или частичной поломкой КЛ. Самая частая причина аварии - земляные работы без определения прохождения кабельных трасс. Чуть реже причиной такого повреждения может быть короткое замыкание в муфтах.

- В силовых кабелях (более 1 кВ) одна из жил на землю часто обрывается (однофазное короткое замыкание). Ток утечки обычно вызывается снижением качества изоляции при эксплуатации кабеля.

- Повреждение INTERPHASE, а также типы коротких замыканий металла могут возникать в любых линиях, причина повреждения та же, что и в предыдущем абзаце.

- Обычный тест высоковольтного кабеля показывает низкую надежность изоляции и пробой. При определенных обстоятельствах такая линия может продолжать работать, но из-за ее низкого уровня надежности в любой момент может произойти авария.

#### *Кратко о ремонте кабельной линии*

Ремонтные работы на кабельных линиях подразделяются на плановые и аварийные. Что касается объема такой работы, то в первом он обычно капитальный, во втором - текущий.

В ходе капитальных работ проводится плановая замена кабельных линий, прокладка новых трасс и т. Д. При необходимости также выполняется ремонт и / или модернизация сопутствующего оборудования. К последним относятся системы вентиляции и освещения кабельных тоннелей, а также насосы для откачки грунтовых вод. Учитывая специфику планируемых работ, они не требуют локализации дефектных участков.

Иначе обстоит дело с аварийным ремонтом. Чтобы не копать всю трассу, необходимо точно определить место обрыва провода, пробоя изоляции и т. Д. Для этого используются различные методы, для которых применяется специальное оборудование. Подробнее об этом будет сказано ниже.

#### *Методики определения повреждения кабеля в земле*

Как правило, дефектоскопия кабеля проводится в два этапа:

- 1) Устанавливаются границы зоны, в которой находится аварийная зона.
- 2) Идет поиск точного места повреждения в определенной местности.

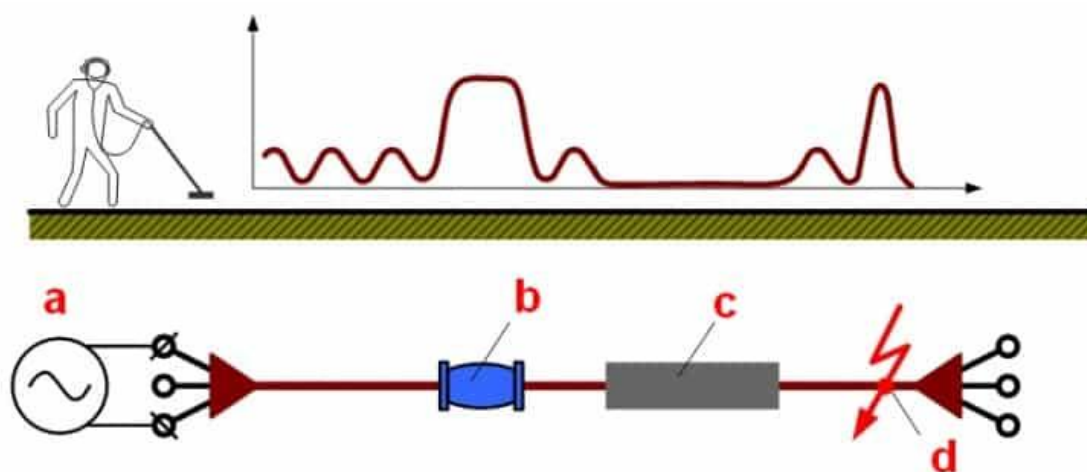
Соответственно, на первом этапе используются относительные методы, а на втором широко используются технологии с высокой точностью обнаружения повреждений. Перечислим основные методы дефектоскопии и особенности их применения.

#### *Индукционный метод*

Эта технология позволяет определить место, где происходит пробой изоляционного слоя токопроводящих элементов кабеля. Для этого с помощью

специального генератора в КЛ подается переменный ток силой до 20,0 ампер и частотой от 800,0 до 1200,0 герц. В результате вокруг КЛ образуется электромагнитное поле определенной интенсивности. Если вставить в него рамку антенны, подключенную к наушникам через усилитель, то над неповрежденными токопроводящими элементами можно услышать звук определенной частоты.

По характеру звукового сигнала можно определить местонахождение дефекта, положение муфт для подключения, топографию трассы (след), в том числе наличие защитных труб. Ниже приведен рисунок, показывающий уровень изменения сигнала на разных участках кабеля.



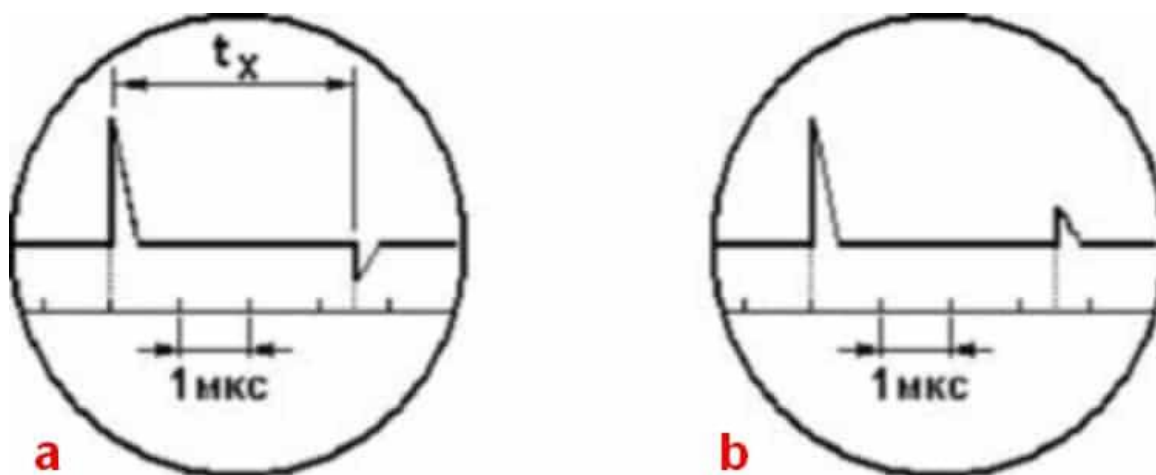
**Рисунок 10 - Поиск повреждений кабеля индукционным методом**

*Обозначения:*

- 1) Задающий генератор.
- 2) Расположение соединительных элементов.
- 3) Защита кабеля.
- 4) Дефектное место.
- 5)

*Импульсный метод*

Как уже говорилось выше, этот метод относится к относительным, т. Е. Позволяет установить дефектный участок повреждения (обычно межфазное короткое замыкание). Принцип действия заключается в подаче специальным устройством опорного высоковольтного импульса в КЛ и последующем определении расстояния аварийного участка по отраженному сигналу импульсных токов.



**Рисунок 11 - Экран прибора ИКЛ с отображением отраженного импульса в случае замыкания (а) и обрыва (б) кабеля**

В приведенном на рисунке примере расстояние до дефектного участка определяется следующим образом:

$t_x$  – интервал времени между посланным и отраженным электрическим сигналом, измеряется в микросекундах. Как видно из рисунка, он равен 3,5 мкс. Учитывая, что скорость распространения импульса ( $v$ ) примерно равна 160,0 м/мкс, то для решения необходимо применить следующую формулу:

$$l_x = (t_x * v) / 2,$$

где  $l_x$  – расстояние от генератора импульсов до поврежденного участка кабеля.

В результате мы получим:

$$(3.5 * 160) / 2 = 280,0 \text{ метров.}$$

Обратим внимание, что в некоторых приборах по форме отраженного сигнала можно судить о характере дефекта.

#### *Емкостной метод*

Технология этого метода позволяет искать повреждения, в частности обрыв токопроводящих элементов кабеля, путем измерения емкости жил. Как известно, этот параметр напрямую зависит от длины кабеля. Упрощенную схему высоковольтных колебаний для такого устройства можно найти ниже.

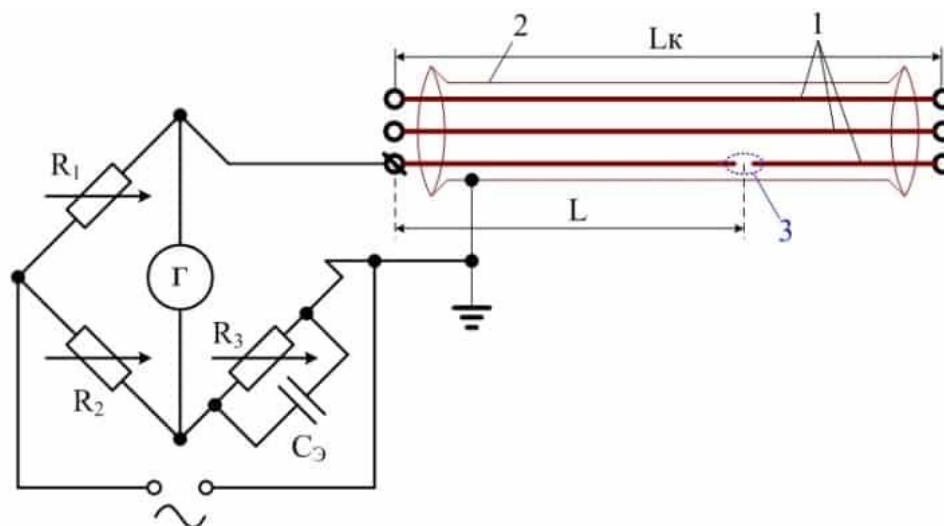


Рисунок 12 - Мост переменного тока, используемый в емкостном методе обнаружения повреждения кабеля

*Обозначения:*

- $R_1, R_2, R_3$  – регулируемые резисторы.
- $C_3$  – эталонный высоковольтный конденсатор.
- $L$  – расстояние до места обрыва.
- $L_k$  – общая длина КЛ.
- 1 – токоведущие элементы кабеля.
- 2 – защитная оболочка.
- 3 – место обрыва.

Подбирая сопротивление переменных резисторов, добиваются минимального отклонения стрелки прибора  $\Gamma$ , что указывает на равновесие между плечами моста, что говорит о следующем соотношении:

$$R_1 / R_2 = C_x / C_3,$$

это позволяет установить емкость поврежденной жилы:

$$C_x = C_3 * (R_1 / R_2).$$

Подобным способом производим определение емкости на другом конце КЛ, то есть, подключаем к нему генератор и повторяем измерения. В результате, вычисляем расстояние до поврежденной зоны:

$$L = L_k * C_1 / (C_1 + C_2),$$

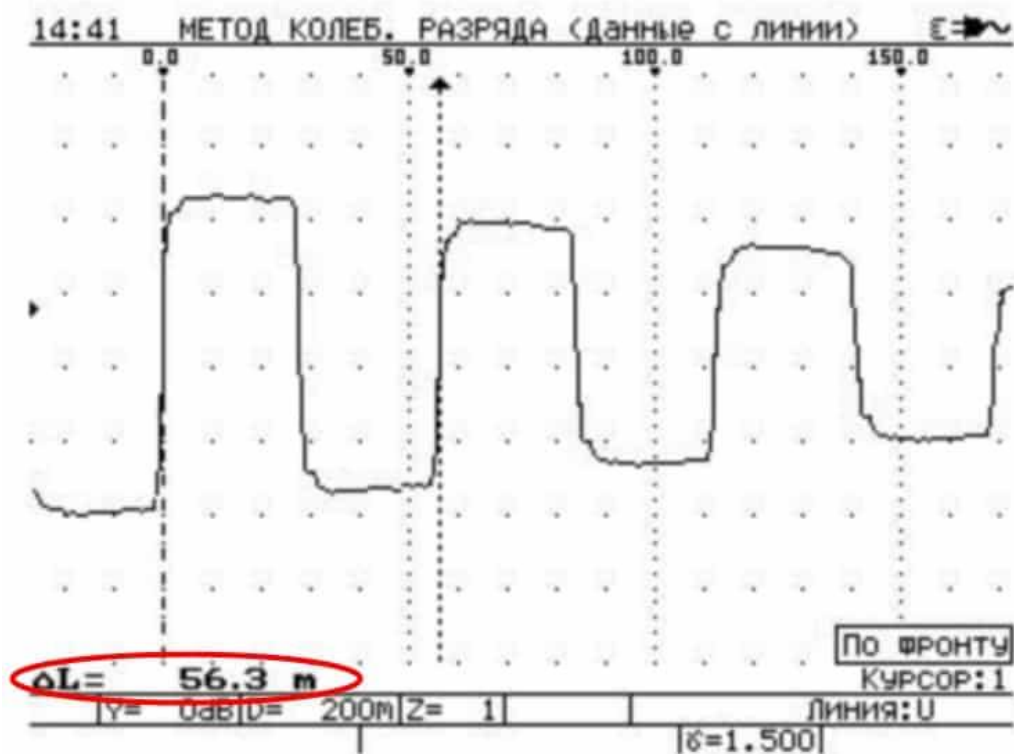
где  $C_1$  и  $C_2$  – емкости поврежденных токоведущих элементов кабеля, измеренные в начале и конце КЛ.

### *Метод колебательного разряда*

Этот метод позволяет более эффективно определять расстояние до дефекта кабеля, известного как заплывающий. Для этого в поврежденную линию подаются импульсные колебательные разряды, после чего данные о расстоянии до дефектного места отображаются на экране специального устройства



(например, ЭМКС58).

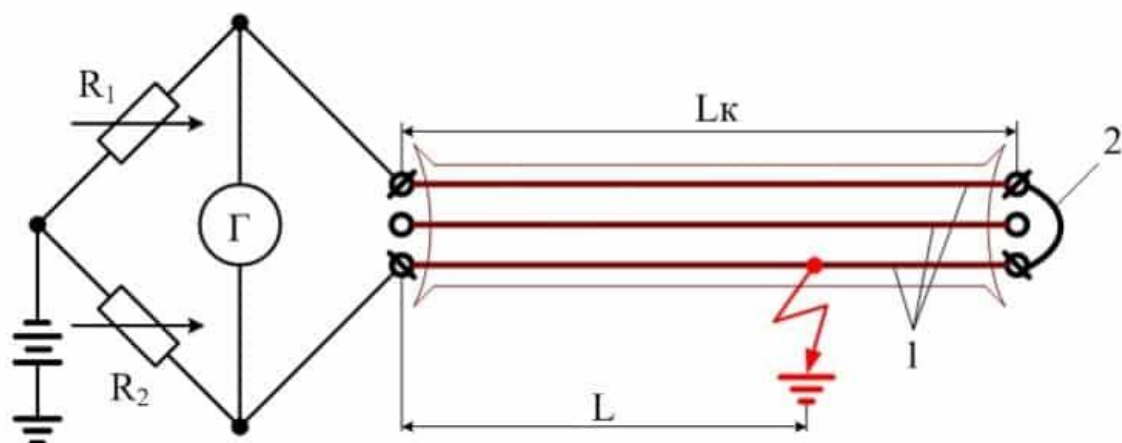


**Рисунок 13 - Экран прибора РЕИС-305 с указанием расстояния до поврежденного участка кабеля**

Принципа работы данного метода во многом напоминает импульсный способ дефектоскопии.

#### *Метод петли*

Этот метод хорошо работает в тех случаях, когда нет обрыва токопроводящих элементов кабеля в месте разрыва изоляции, а переходное сопротивление в месте дефекта составляет не более 5,0 кОм. При несоблюдении последнего условия кабель может сгореть (сгорает изоляция для уменьшения переходного сопротивления). Упрощенный пример электрической схемы для метода петли показан ниже.



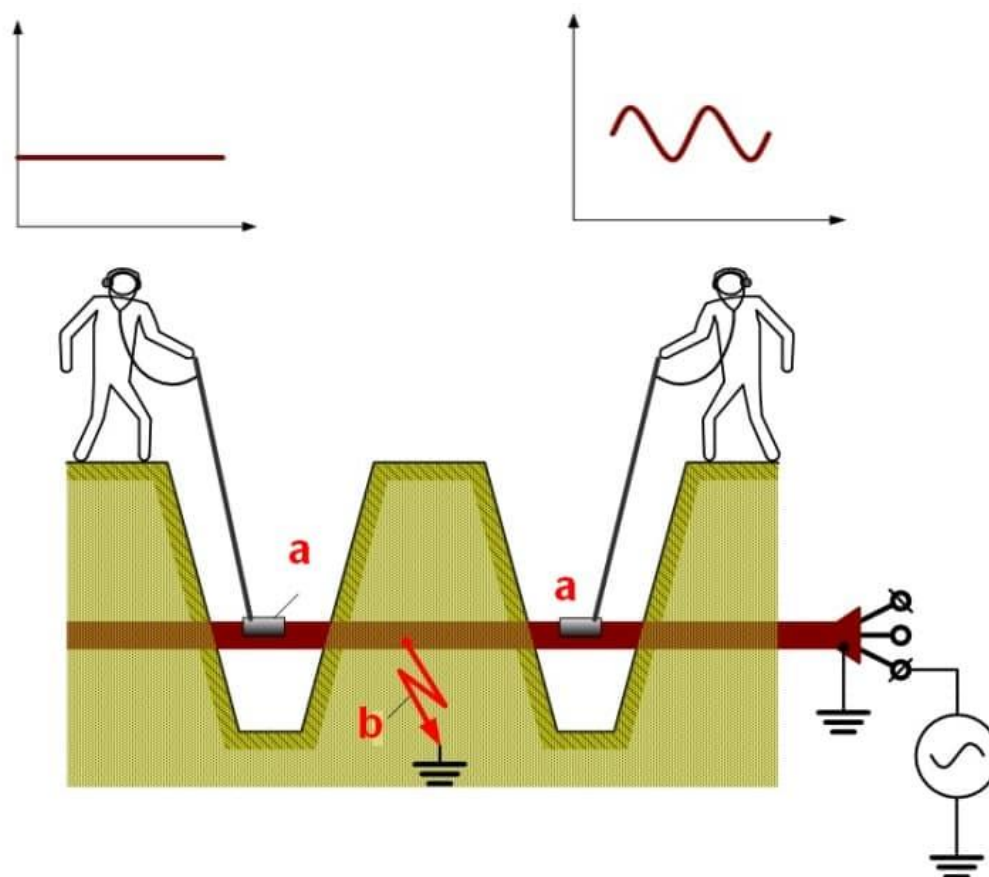
**Рисунок 14 -Устройство для поиска повреждения кабеля методом петли**

*Обозначения:*

- Г – гальванометр.
- R1 и R2 – переменные резисторы, измерение сопротивления которых осуществляется после уравнивания моста.
- $L_k$  – длина КЛ.
- L – расстояние до дефектного участка.
- 1 – токопроводящие элементы кабеля.
- 2 – перемычка между целой и дефектной жилой.

*Метод накладной рамки*

Этот вариант поиска повреждения в кабеле можно рассматривать как один из видов индукционного метода, когда необходимо найти пробой между токопроводящим элементом кабеля и его металлической оболочкой (броней). Данная технология предназначена для поиска дефектных мест при открытой прокладке кабельных трасс, но ее можно успешно использовать и при прокладке КЛ в земле. В последнем случае нужно выкопать ямы в области дефекта.



**Рисунок 15 - Локализация повреждения кабеля методом накладной рамки**

*Обозначения:*

- 1) Накладные рамки.
- 2) Место пробоя изоляции.

Поиск обрыва кабеля в бетонной стене и под гипсокартоном с помощью трассоискателя

В повседневной жизни также найдутся применения методы дефектоскопии кабеля, особенно когда необходимо определить точное место повреждения скрытой проводки. Рассечение трассы, особенно если речь идет о бетонных стенах, допустимо только при капитальном ремонте. Поэтому наиболее щадящим способом в данном случае является использование специальных устройств - треновых детекторов.

*Процесс определения места повреждения.*

Определение места повреждения кабеля требуется в любом месте, где его нельзя увидеть.

Это многэтапный процесс, который необходимо выполнять как можно быстрее и безопаснее, чтобы клиенты не остались без электричества.

Шаг 1) Изоляция кабеля и меры безопасности: неисправность кабеля почти

всегда является постоянной неисправностью. Это означает, что рассматриваемый кабель будет в состоянии, при котором защитные устройства на одном или обоих концах кабеля сработают, в результате чего кабель останется изолированным, но НЕ заземленным (заземленным).

Первая задача для уполномоченного лица на объекте - сделать кабель безопасным, изолировав, а затем заземлив один или оба конца. Только после выполнения соответствующих процедур любому персоналу, проводящему тестирование, разрешается приближаться к кабелю и готовиться к тестированию.

Шаг 2) - Идентификация кабеля: при наличии нескольких кабелей тестирование идентификации кабеля определит правильный кабель для работы. Четкая идентификация перед разрезанием кабеля является неотъемлемой частью безопасного технического обслуживания. Любые ошибки здесь могут быть фатальными и могут привести к более длительным отключениям подключенных клиентов.

Шаг 3) - Отслеживание кабеля: при первой прокладке подземного кабеля он редко проходит по прямой линии, а скорее извивается по глубине и направлению. Отслеживание кабеля выполняется для определения того, что маршрут кабеля следует ожидаемому пути.

Шаг 4) - Идентификация неисправности: первая основная процедура - определить фазу, на которой произошла неисправность, и определить, имеет ли она низкое или высокое сопротивление. Этот тест определяет правильную технику и, следовательно, оборудование, необходимое для диагностики неисправности. Обычно, если обнаруживается, что неисправность ниже 100 Ом, можно использовать импульс низкого напряжения (например, 40 В) от TDR (рефлектометра во временной области). Если неисправность связана с более высоким сопротивлением ( $> 100$  Ом), импульс низкого напряжения, скорее всего, его не увидит. Для таких типов неисправностей потребуется импульсный генератор (ударный разряд) или мост.

Шаг 5) - Предварительное определение места повреждения: для быстрого и эффективного определения места повреждения кабеля необходим надежный и точный метод предварительного определения местоположения. Правильное предварительное определение местоположения может определить место повреждения с точностью до нескольких процентов длины кабеля и сократит время точного определения местоположения до нескольких минут.

Помнить:

а) Если это короткое замыкание с низким сопротивлением, предварительное определение местоположения, вероятно, будет единственным средством, необходимым для определения местоположения.

б) Для повреждений с высоким сопротивлением следует использовать методы ARM (отражение дуги) или ICE (импульсный ток) на SWG (генераторе

импульсных волн). В качестве альтернативы для предварительного определения местоположения можно использовать метод затухания с помощью тестера постоянного тока высокого напряжения (мост).

Шаг 6) - Точное определение: вышеупомянутые методы испытаний позволяют оператору находиться на расстоянии 5% от места повреждения. На этом этапе необходимо использовать методы акустической локализации, чтобы сузить погрешность до 0,1%. В большинстве случаев генераторы ударного разряда используются для точной локализации в сочетании с акустическими методами. Разряд создает громкий шум, который точно определяется с помощью акустического устройства определения местоположения. Этот прибор оценивает разницу во времени между акустическим сигналом (скоростью звука) и электромагнитным (почти со скоростью света) импульсом ударного разряда. Когда указывается самая короткая разница во времени, выявляется точное место неисправности.

## **5 Практические выводы и технические решения по проблемным вопросам, решаемым в дипломной работе.**

Для повышения надежности потребителей и количества кабельных линий, необоснованно выведенных в ремонт при профилактических испытаниях повышенным выпрямленным напряжением, лучше использовать методы неразрушающего контроля и диагностики кабельных линий электропередач. Неразрушающие методы, основанные на периодическом измерении наиболее информативных показателей работы изоляции, позволяя не повредить ее, для прогнозирования остаточного ресурса долго эксплуатируемых кабелей. На основании этой информации может быть скорректирован план профилактических испытаний кабельных линий и разработка стратегии кабелей с опасными дефектами или с изможденным ресурсом изоляции.

В последние годы проводятся интенсивные исследования с целью разработки и внедрения методов неразрушающего контроля и диагностики силовых вытяжных кабелей в рабочих условиях. Больших успехов в этом направлении достигнуто в Германии, США, Японии и ряде других стран.

Приборы Неразрушающий диагностики кабельных линий электропередачи в условиях эксплуатации, которые могут быть встроены в мобильные кабельные измерительные лаборатории.

С разработанных методов можно использовать такие широко применяются за рубежом методы диагностики кабельных линий электропередачи напряжением до 35 кВ включительно:

- метод измерения характеристик частичных разрядов;
- метод измерения напряжения и анализа обратных сигналов;
- метод измерения релаксационного тока в кабелях с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- метод измерения диэлектрической характеристик изоляции.

Методы измерения характеристик частичных разрядов в кабельных линиях электропередач. В силовых кабелях с номинальным напряжением до 35 кВ включительно предпосылкой диэлектрической прочности изоляции при длительной эксплуатации (т. Е старения изоляции) является эффект чистящие разрядов (ЧР) и повышенных температур.

К настоящему времени достаточно хорошо изучены физические процессы в изоляции силовых кабелей под воздействием частичных разрядов, т.е. микроразряды, нарастающие в местах неоднородности изоляции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушение нормальной работы электросистемы, как правило, происходит из-за повреждения ее элементов, в частности, кабельных линий. Причины поломки - природные и технические факторы.

Повреждение кабельных линий приводит к отключению электроэнергии, снижению качества и увеличению потерь энергии. Также следует отметить, что увеличение потерь приводит к удорожанию электроэнергии. Учитывая ограниченное количество энергоресурсов, эти затраты также значительны.

Чтобы восстановить нормальную работу электрических систем, и удешевить, необходимо быстро и точно определить местонахождение кабельных линий.

Обзор основных видов исследований методов и средств обнаружения повреждений кабельных линий распределительных сетей 6-10 кВ, анализ основных перспективных исследований показывает, что на промышленных предприятиях проблема быстрого и точного поиска повреждений пока не решена. получил удовлетворительное решение.

Для повышения надежности потребителей и количества кабельных линий, необоснованно выводимых в ремонт при профилактических испытаниях повышенным выпрямленным напряжением, предпочтительнее использовать методы неразрушающего контроля и диагностики кабельных линий электропередач в условиях. Неразрушающие методы, основанные на периодическом измерении наиболее информативных характеристик службы изоляции, позволяют не повредить ее, не повредить кабели, не повредить ее, но используются для прогнозирования остаточного ресурса долго эксплуатируемых кабелей. На основании этой информации может быть скорректирован план профилактических испытаний кабельных линий и разработка стратегии замены кабелей с опасными дефектами или с истощенным ресурсом изоляции.

Анализ использования современных методов неразрушающей диагностики показывает, что при переходе на техническую диагностику кабельных линий электропередач одним из наиболее эффективных является метод измерения и локализации частичных разрядов по колеблющемуся затухающему напряжению с использованием системы диагностики OWTS, разработанной в Компании Себа КМТ.

Во втором разделе представлены вопросы устройства и эксплуатации внутренних электрических сетей, слаботочных устройств в жилых домах.

Также были рассмотрены вопросы охраны труда: техника безопасности при проведении работ по ремонту повреждений кабельных линий.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лавров Ю. Кабели высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. Журнал «Новости Электротехники» №2 (50) 2008 г.
- 2 Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов — Москва. Энергоатомиздат., 1986.
- 3 Петров Г. Н. Электрические машины. Ч. 1. М.: Энергия, 1974, 240 с. 2
- 4 Миткевич А.С., Паверман Н.Г., Елагина А.Н. Кабельные композиции на основе полиэтилена и поливинилхлорида. Тенденции развития в России. Журнал «Кабели и провода», 2007 г.
- 5 Основы кабельной техники: учебное пособие /Л.А. Ковригин. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета, 2006.
- 6 Федорова А.А. Справочник по Электроснабжению и оборудованию ч.2. М.: Электрооборудование, 2008.
- 7 Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высшая школа, 2010.
- 8 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013.
- 9 Коновалова Л.П., Рожков Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Энергоатомиздат. 2008.
- 10 Аникушин Д.Г. Анализ методов определения мест повреждения кабельных линий на основе неразрушающей диагностики//Известия ТулГУ. Технические науки. 2012.
- 11 Аксенов Ю.П., Ляпин А.Г., Певчев Б.Г. Применение рефлектометрии для диагностики кабелей // Электрические станции. 2007.
- 12 Аксенов Ю.П. Определение характеристик неоднородностей в кабельных линиях методом рефлектометрии / Электрические станции. 2007.
- 13 Кадомская К.П. и др. Диагностика и мониторинг кабельных сетей средних классов напряжения // Электротехника. 2010.
- 14 Кадомская К.П., Сахно В.В. Импульсный метод диагностики силовых кабельных линий // Труды Третьей Международной конференции «Электрическая изоляция - 2012», 2012.
- 15 Фирма «ЭРСТЕД» – [[www.ersted.ru](http://www.ersted.ru)]
- 16 Натанович И.Г. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: «Атомиздат» Москва, 2011.
- 17 Омаров А.Д., Целиков В.В., Зальцман Н.Д. Экологическая безопасность на транспорте. Алматы, 1999.
- 18 Е.Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. - 2-е изд., доп. - СПб. Лань, 2012. - 512 с.: ил. - (Учеб. для вузов. Спец. лит.) Электроснабжение и электропотребление в строительстве: учеб. Пособие



1 безопасность на транспорте. Алматы, 1999.

**ОТЗЫВ**

**НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

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

Тема: **Способы определения мест повреждения  
кабельных линий**

Кумаров Тамирлан приступил к выполнению дипломной работы  
согласно графику.

За время дипломирования показал себя специалистом, умеющим  
заниматься поиском литературы для решения поставленных задач, умеющим  
пользоваться справочной литературой, компьютерной техникой.

Дипломная работа выполнена в достаточном объеме, состоит из  
пояснительной записки на 48 стр. машинописного текста.

Считаю, что дипломная работа Кумарова Тамирлана заслуживает  
оценки «хорошо» (75%), а ее автор – присвоения степени «бакалавр».

**Научный руководитель**

лектор

( должность, уч. степень, звание)



Малдыбаева Т.С.

(подпись)

«9» июня 2021 г

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: Кумаров Тамирлан Тоқтарбекұлы

Название: Способы определение мест повреждения кабельных линий

Координатор: Толкын Малдыбаева

Коэффициент подобия 1:1.8

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв: 176

Интервалы: 6

Микропробелы: 28

Белые знаки: 0

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

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: Кумаров Тамирлан Тоқтарбекұлы

Название: Способы определение мест повреждения кабельных линий

Координатор: Толкын Малдыбаева

Коэффициент подобия 1:1.8

Коэффициент подобия 2:0

Замена букв:176

Интервалы:6

Микропробелы:28

Белые знаки:0

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:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....




Дата

  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Дата

  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения