

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Энергетика»

Шмидт Леонид Владимирович

Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в  
системе электроснабжения (СЭС) предприятия

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

специальность 5В071700– "Теплоэнергетика"

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Энергетика»

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой,  
PhD, асс. д. профессор  
Институт энергетики  
и машиностроения

Е.А.Сарсенбаев  
«24» 05 2022г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в  
системе электроснабжения (СЭС) предприятия

Специальность 5В071700 - «Теплоэнергетика»

Выполнил:

Шмидт Л.В.

Рецензент

к.т.н., стар. преподаватель  
С.А.Юсупова

«24» 05 2022г.



Научный руководитель  
лектор, маг. техн. наук

Т.С.Малдыбаева

«24» 05 2022г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева

Институт энергетики и машиностроения

Кафедра «Энергетика»

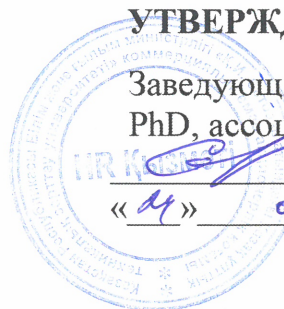
Специальность 5B071700 - «Теплоэнергетика»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой,  
PhD, ассоц. профессор

Е.А.Сарсенбаев

«14» 01 2022г.



**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Шмидт Леониду Владимировичу

Тема: Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия

Утверждена приказом Ректора Университета №489 -П от «24 декабря 2021г.

Срок сдачи законченной работы 24.05.22.

Исходные данные к работе: Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы мощностью 500 МВА. На подстанции установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ (трансформаторы работают отдельно). Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 1100 МВА.

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

а) электроснабжение промышленной базы;

б) мероприятия по снижению потерь.

Перечень графического материала:

Графический материал подготовлен в виде презентации

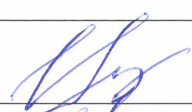
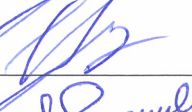
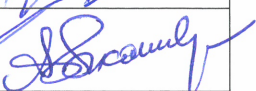
Рекомендуемая литература: из 10 наименований

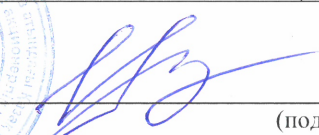
**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

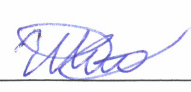
| Наименования разделов, перечень рассматриваемых вопросов | Сроки представления научному руководителю и консультантам | Примечание |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| Основная часть.                                          | 04.05.22                                                  | нет        |
| Специальная часть                                        | 18.05.22                                                  | нет        |

**Подписи**

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

| Наименования разделов | Научный руководитель и консультанты       | Дата подписания | Подпись                                                                               |
|-----------------------|-------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Основной раздел       | Малдыбаева Т.С.,<br>лектор, маг.техн.наук | 24.05.22        |  |
| Специальный раздел    | Малдыбаева Т.С.,<br>лектор, маг.техн.наук | 24.05.22        |  |
| Нормоконтроль         | Бердибеков А.О.,<br>сениор-лектор         | 23.05.2022      |  |

Научный руководитель \_\_\_\_\_  Т.С.Малдыбаева  
(подпись)

Задание принял к исполнению обучающийся \_\_\_\_\_  Л.В.Шмидт  
(подпись)

Дата 07.02.22



## **АНДАТПА**

Дипломдық жұмыс "Кәсіпорынның электрмен жабдықтау жүйесіндегі электр энергиясының шығынын азайту жөніндегі техникалық іс-шараларды талдау" тақырыбында жазылған. Негізгі бөлімде электр жүктемелерін табу, трансформаторларды таңдау және өнеркәсіптік базаны сыртқы электрмен жабдықтау бойынша есептеулер жүргізілді. Арнайы бөлімде электр энергиясы ысырабының түрлері қаралды және электр энергиясы ысырабын төмендету бойынша техникалық іс-шаралар жүргізілді.

## **АННОТАЦИЯ**

Дипломная работа написана по теме «Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия». В основной части проведены расчёты по нахождению электрических нагрузок, выборе трансформаторов и внешнего электроснабжения промышленной базы. В специальной части были рассмотрены виды потерь электроэнергии и проведены технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии.

## **ANNOTATION**

The thesis was written on the topic "Analysis of technical measures to reduce electricity losses in the power supply system of the enterprise". In the main part, calculations were carried out on finding electrical loads, choosing transformers and external power supply of the industrial base. In a special part, the types of electricity losses were considered and technical measures were taken to reduce electricity losses.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                       | 7  |
| 1 Расчет электрических нагрузок промышленной базы                                              | 8  |
| 1.1 Исходные данные к дипломной работе                                                         | 8  |
| 1.2 Расчет электрических нагрузок промышленной базы                                            | 10 |
| 1.3 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ | 18 |
| 1.4 Расчет потерь на группах трансформаторов                                                   | 23 |
| 1.5 Определение расчетных активных и реактивных мощностей СД                                   | 23 |
| 1.6 Расчет компенсации (ВБК) на шинах 6 кВ                                                     | 24 |
| 1.7 Расчёт внешнего электроснабжения 1 варианта                                                | 25 |
| 1.8 Выбор высоковольтной аппаратуры для 1 варианта                                             | 27 |
| 1.9 Расчёт внешнего электроснабжения 2 варианта                                                | 32 |
| 1.10 Выбор высоковольтной аппаратуры 2 варианта                                                | 34 |
| 2 Специальная часть                                                                            | 38 |
| 2.1 Фактические потери мощности                                                                | 38 |
| 2.2 Структура фактических потерь                                                               | 38 |
| 2.3 Структура мероприятий по снижению потерь электроэнергии                                    | 39 |
| 3 Технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии                                    | 41 |
| Заключение                                                                                     | 43 |
| Список использованной литературы                                                               | 44 |

## ВВЕДЕНИЕ

Потери электроэнергии – разница между поступающей в электрическую сеть энергией и энергией, которая была отпущена из сети.

Большая часть из потерь приходится на технические потери. К техническим потерям относятся потери при транспортировке по ЛЭП, потери в обмотках трансформатора. Такие потери обусловлены физическими процессами при которых часть электроэнергии преобразовывается в теплоту.

В настоящее время важной частью в электроснабжении предприятий является контроль и измерение потерь. Максимально допустимые потери на предприятиях это 10%, а основном данные потери занимают 2-3% от максимальной поступающей энергии. Для уменьшения потерь электроэнергии применяются мероприятия по снижению потерь электроэнергии (МСП). Технические МСП применяются для снижения технических потерь – это своевременная замена трансформаторов на более экономичные модели, увеличение сечения ЛЭП, введение дополнительных компенсирующих устройств.

# 1 Расчет электрических нагрузок промышленной базы

## 1.1 Исходные данные к дипломной работе

- 1) Схема генерального плана промбазы (рисунок 1.1).
- 2) Сведения об электрических нагрузках по цехам промбазы (таблица 1.1).
- 3) Питание может быть осуществлено от подстанции энергосистемы мощностью 500 МВА. На подстанции установлены два трёхобмоточных трансформатора мощностью по 40 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ (трансформаторы работают раздельно). Мощность к.з. на стороне 115 кВ равна 1100 МВА.
- 4) Расстояние от подстанции энергосистемы до промбазы 6 км.
- 5) Предприятие работает в три смены.

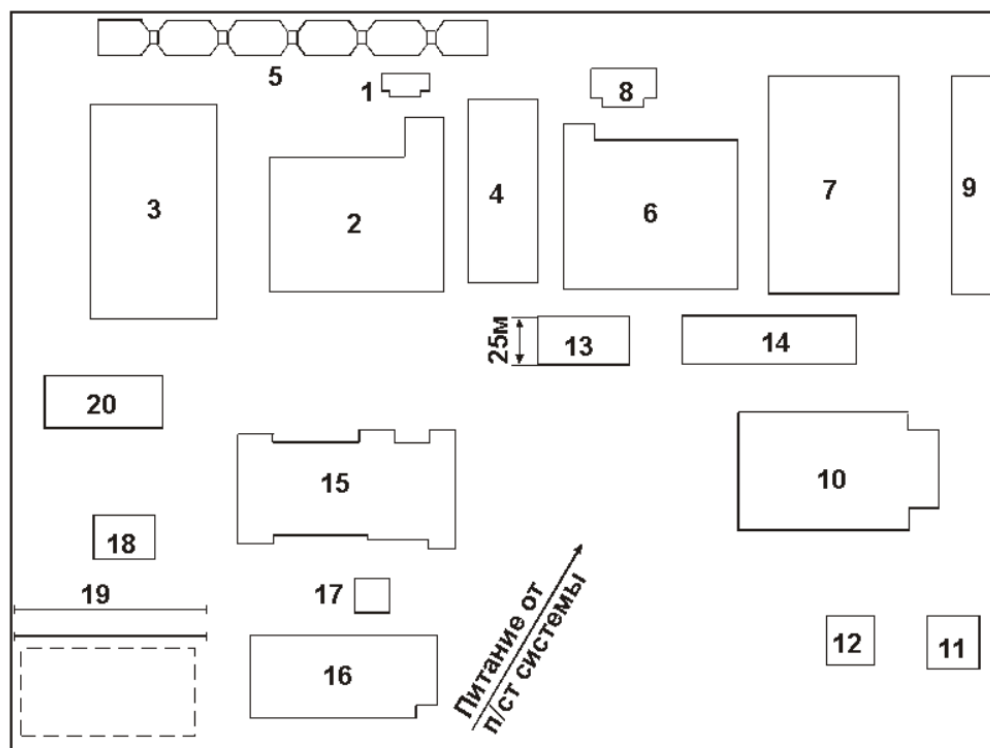


Рисунок 1.1- Генеральный план промышленной базы

**Таблица 1.1 - Сведения об электрических нагрузках промышленной базы**

| Наименование                          | Кол-во<br>ЭП, п | Установленная мощность, кВт |              |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
|                                       |                 | Одного ЭП, $P_n$            | $\Sigma P_n$ |
| 1 Склад цемента                       | 10              | 1÷20                        | 120          |
| 2 Блок цехов ЗЖБИ                     | 50              | 1÷40                        | 1250         |
| 3 Склад готовой продукции             | 20              | 1÷25                        | 150          |
| 4 Склад арматурной стали              | 30              | 1÷25                        | 350          |
| 5 Склад заполнителей                  | 20              | 1÷25                        | 280          |
| 6 Блок цехов силикатобетонных изделий | 80              | 1÷100                       | 3500         |
| 7 Склад готовой продукции             | 20              | 1÷30                        | 150          |
| 8 Известково-помольное производство   | 10              | 1÷30                        | 180          |
| 9 Административный корпус             | 20              | 1÷20                        | 210          |
| 10 Блок цехов асбоцементных труб      | 50              | 1÷40                        | 950          |
| 11 Склад нефтепродуктов               | 2               | 10                          | 20           |
| 12 Насосная станция                   | 10              | 10÷40                       | 280          |
| 13 Ремонтно-механическая база         | 37              | 5÷30                        | 300          |
| 14 Строительный цех                   | 30              | 1÷20                        | 230          |
| 15 Блок цехов гончарных труб          | 60              | 1÷50                        | 1500         |
| 16 Блок цехов шифера                  | 40              | 1÷40                        | 1100         |
| 17 Кислородная станция                | 15              | 1÷80                        | 320          |
| 18 Компрессорная станция:             |                 |                             |              |
| а) 0,4 кВ                             | 10              | 1÷20                        | 150          |
| б) СД 6 кВ                            | 4               | 630                         | 2520         |
| 19 Площадка для открытых работ        | 10              | 1÷50                        | 120          |
| 20 Автогараж                          | 25              | 1÷40                        | 2500         |

**Таблица 1.2 - Размеры и площадь промышленной базы**

| № по плану | Наименование<br>производственного помещения | Размеры<br>помещения,<br>длина(м),<br>ширина (м) | Площадь<br>помещения,<br>м <sup>2</sup> |
|------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1          | 2                                           | 3                                                | 4                                       |
| 1          | Склад цемента                               | 25x12,5                                          | 237,5                                   |
| 2          | Блок цехов ЗЖБИ                             | 80x87,5                                          | 5750                                    |
| 3          | Склад готовой продукции                     | 55x102,5                                         | 5637,5                                  |
| 4          | Склад арматурной стали                      | 30x80                                            | 2400                                    |
| 5          | Склад заполнителей                          | 202,5x12,5                                       | 2531,2                                  |
| 6          | Склад цехов силикатобетонных<br>изделий     | 72,5x75                                          | 4987,5                                  |
| 7          | Склад готовой продукции                     | 55x102,5                                         | 5637,5                                  |
| 8          | Известково-помольное<br>производство        | 25x12,5                                          | 262,5                                   |
| 9          | Административный корпус                     | 22,5x102,5                                       | 2306,25                                 |
| 10         | Блок цехов асбоцементных<br>труб            | 85x55                                            | 4362,5                                  |
| 11         | Склад нефтепродуктов                        | 25x25                                            | 625                                     |
| 12         | Насосная станция                            | 25x25                                            | 625                                     |
| 13         | Ремонтно-механическая база                  | 42,5x27,5                                        | 1168,75                                 |
| 14         | Строительный цех                            | 72,5x27,5                                        | 1993,75                                 |
| 15         | Блок цехов гончарных труб                   | 97,5x55                                          | 5362,5                                  |
| 16         | Блок цехов шифера                           | 87,5x40                                          | 3343,75                                 |
| 17         | Кислородная станция                         | 17,5x17,5                                        | 306,25                                  |
| 18         | Компрессорная станция                       | 30x20                                            | 600                                     |
| 19         | Площадка для открытых работ                 | 80x40                                            | 3200                                    |
| 20         | Автогараж                                   | 55x27,5                                          | 1512,5                                  |
|            |                                             |                                                  | 52849,9                                 |

## 1.2 Расчет электрических нагрузок промышленной базы

Расчет силовых нагрузок на шинах 0,4 кВ производим по методам «Упорядоченных диаграмм», порядок расчета и заполнение таблицы 1.3 рассчитаны на примере склада цемента №1:

- 1) в графе 1 проставлены номера цехов;
- 2) в графе 2 наименование цехов;



- 3) в графе 3 записываем количество электроприемников;  
 4) в графе 4 записываем номинальные установленные наименьшие и наибольшие мощности электроприемников;  
 5) в графе 5 записываем суммарные установленные мощности электроприемников;  
 6) графа 6 - число  $m$ , определяемое по формуле:

$$m = P_{н.макс} / P_{н.мин}, \quad (1.1)$$

$$m = 20 / 1 = 20 > 3,$$

где  $P_{н.макс}$ ,  $P_{н.мин}$  — номинальные активные наибольшие и наименьшие мощности электроприемников;

7) графа 7 - значение коэффициента использования взятые из справочника. Для склада цемента коэффициент использования равен:  $K_{и} = 0.3$ ;

8) в графе 8 - в числителе записываем значения коэффициентов мощностей, а в знаменателе соответствующие тангенсы;  
 Значения для склада цемента  $\cos\varphi / \operatorname{tg}\varphi = 0.6 / 0.82$ .

9) в графе 9 подсчитываем среднюю активную нагрузку за наиболее загруженную смену по формуле:

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}, \quad (1.2)$$

$$P_{см} = 0,3 \cdot 120 = 36 \text{ кВт};$$

где:  $K_{и}$  — коэффициент использования, значения которого выбирается по справочнику;

$P_{н}$  — номинальная активная нагрузка.

10) в графе 10 подсчитывается средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену по формуле:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (1.3)$$

где  $P_{см}$  - средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену;  
 $\operatorname{tg}\varphi$  — реактивный коэффициент мощности, определяется по известному  $\cos\varphi$ .

$$Q_{см} = 36 \cdot 0,82 = 29,52 \text{ квар.}$$

11) в графе 11 подсчитываем эффективное число электроприемников по упрощенной формуле:

$$n_{э} = (2 \cdot \sum P_{н}) / (P_{н \text{ макс}}), \quad (1.4)$$

$$n_э = (2 \cdot 120) / 20 = 10.$$

12) графа 12 - коэффициент максимума  $K_M$  определяем в зависимости от эффективного числа электроприемников и коэффициента использования  $K_{и}$ ,  
Для склада цемента коэффициент максимума равен:  $K_M = 1,7$ .

13) графа 13 максимальная активная нагрузка от силовых электроприемников:

$$P_p = K_M \cdot P_{CM}, \quad (1.5)$$

$$P_p = 1,7 \cdot 36 = 61,2 \text{ кВт.}$$

где  $K_M$  - коэффициент максимума;

$P_{CM}$  - средняя активная нагрузка-за наиболее загруженную смену.

14) графа 14 – максимальная реактивная нагрузка от силовых электроприемников:

$$Q_p = Q_{CM} \text{ при } n_э > 10, \quad (1.6)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_{CM} \text{ при } n_э \leq 10, \quad (1.7)$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 29,52 = 32,47 \text{ квар.}$$

15)Графа 15 полная максимальная нагрузка, определяемая по формуле

$$S_p = \sqrt{Q_{p0.4}^2 + P_{p0.4}^2}, \quad (1.8)$$

$$S_p = \sqrt{32.47^2 + 61.2^2} = 69.3 \text{ кВА}$$

где  $Q_{p0.4}$  - реактивная нагрузка на шинах 0,4кВ;

$P_{p0.4}$  - активная нагрузка на шинах 0,4 кВ.

16) Графа 16- расчетный максимальный ток определяется по формуле для трехфазного тока:

$$I_p = \frac{S_m}{\sqrt{3}U_n}, \quad (1.9)$$

$$I_p = \frac{69,3}{1,73 \cdot 0,4} = 100,14 \text{ А.}$$

Расчётная осветительная нагрузка принимается равной 10% от силовой нагрузки по цеху. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 - Расчет электрических нагрузок промышленной базы

| № цехов | Наименование цехов      | Кол-во ЭП,п | Установленная мощность              |                  | m  | K <sub>n</sub> | cosφ/tgφ     | Средняя нагрузка      |                        | n <sub>э</sub> | K <sub>M</sub> | Расчетные нагрузки   |                       |                      | I <sub>p</sub> , A |
|---------|-------------------------|-------------|-------------------------------------|------------------|----|----------------|--------------|-----------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
|         |                         |             | P <sub>min</sub> ÷ P <sub>max</sub> | ∑ P <sub>H</sub> |    |                |              | P <sub>см</sub> , кВт | Q <sub>см</sub> , квар |                |                | P <sub>p</sub> , кВт | Q <sub>p</sub> , квар | S <sub>p</sub> , кВА |                    |
| 1       | 2                       | 3           | 4                                   | 5                | 6  | 7              | 8            | 9                     | 10                     | 11             | 12             | 13                   | 14                    | 15                   | 16                 |
| 1       | Склад цемента           | 10          | 1÷20                                | 120              | >3 | 0,3            | 0,6/<br>0,82 | 36                    | 29,52                  | 10             | 1,7            | 61,2                 | 29,52                 | 69,3                 | 100,14             |
|         | Освещение               |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 6,12                 | 2,952                 | 6,93                 | 10,014             |
|         | Итого                   |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 67,32                | 32,47                 | 74,74                | 108                |
| 2       | Блок цехов ЗЖБИ         | 50          | 1÷40                                | 1250             | >3 | 0,35           | 0,7/<br>0,76 | 437,5                 | 332,5                  | 50             | 2              | 875                  | 332,5                 | 936,04               | 1352,66            |
|         | Освещение               |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 87,5                 | 33,25                 | 93,604               | 135,266            |
|         | Итого                   |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 962,5                | 365,75                | 1029,6               | 1487,86            |
| 3       | Склад готовой продукции | 20          | 1÷25                                | 150              | >3 | 0,3            | 0,6/<br>0,82 | 45                    | 36,9                   | 12             | 1,7            | 76,5                 | 36,9                  | 84,93                | 122,73             |
|         | Освещение               |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 7,65                 | 3,69                  | 8,493                | 12,273             |
|         | Итого                   |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 84,15                | 40,59                 | 93,43                | 135,01             |
| 4       | Склад арматурной стали  | 30          | 1÷25                                | 350              | >3 | 0,2            | 0,6/<br>0,82 | 70                    | 57,4                   | 28             | 2              | 140                  | 57,4                  | 151,31               | 218,66             |
|         | Освещение               |             |                                     |                  |    |                |              |                       |                        |                |                | 14                   | 5,74                  | 15,131               | 21,866             |

Продолжение таблицы 1.3

| 1  | 2                                          | 3  | 4     | 5    | 6  | 7    | 8             | 9     | 10      | 11 | 12   | 13      | 14      | 15      | 16      |
|----|--------------------------------------------|----|-------|------|----|------|---------------|-------|---------|----|------|---------|---------|---------|---------|
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 154     | 63,14   | 166,44  | 240,52  |
| 5  | Склад<br>заполнителей                      | 20 | 1÷25  | 280  | >3 | 0,2  | 0,6/<br>0,82  | 56    | 45,92   | 20 | 1,95 | 109,2   | 45,92   | 118,46  | 171,18  |
|    | Освещение                                  |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 10,92   | 4,592   | 11,846  | 17,118  |
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 120,12  | 50,512  | 130,31  | 188,31  |
| 6  | Склад цехов<br>силикатобетонных<br>изделий | 80 | 1÷100 | 3500 | >3 | 0,45 | 0,75/<br>0,73 | 1575  | 1149,75 | 70 | 2,3  | 3622,5  | 1149,75 | 3800,58 | 5492,17 |
|    | Освещение                                  |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 362,25  | 114,975 | 380,058 | 549,217 |
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 3984,75 | 1262,52 | 4179,97 | 6040,42 |
| 7  | Склад готовой<br>продукции                 | 20 | 1÷30  | 150  | >3 | 0,25 | 0,6/<br>0,82  | 37,5  | 30,75   | 10 | 1,75 | 65,63   | 33,82   | 73,83   | 106,69  |
|    | Освещение                                  |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 6,563   | 3,382   | 7,383   | 10,669  |
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 72,19   | 37,2    | 81,21   | 117,35  |
| 8  | Известково-<br>помольное<br>производство   | 10 | 1÷30  | 180  | >3 | 0,5  | 0,7/<br>0,76  | 90    | 68,4    | 10 | 1,2  | 108     | 75,24   | 131,62  | 190,2   |
|    | Освещение                                  |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 10,8    | 7,524   | 13,162  | 19,02   |
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 118,8   | 82,76   | 114,78  | 165,87  |
| 9  | Административный<br>корпус                 | 20 | 1÷20  | 210  | >3 | 0,4  | 0,7/<br>0,76  | 84    | 63,84   | 20 | 1,6  | 134,4   | 63,84   | 148,79  | 215,01  |
|    | Освещение                                  |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 13,44   | 6,384   | 14,879  | 21,501  |
|    | Итого                                      |    |       |      |    |      |               |       |         |    |      | 147,84  | 70,22   | 163,67  | 236,52  |
| 10 | Блок цехов<br>асбоцементных<br>труб        | 50 | 1÷40  | 950  | >3 | 0,35 | 0,8/<br>0,7   | 332,5 | 232,75  | 48 | 2,1  | 698,25  | 232,75  | 736,02  | 1063,61 |

Продолжение таблицы 1.3

| 1  | 2                          | 3  | 4     | 5    | 6  | 7    | 8             | 9   | 10     | 11 | 12   | 13     | 14     | 15      | 16      |
|----|----------------------------|----|-------|------|----|------|---------------|-----|--------|----|------|--------|--------|---------|---------|
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 69,825 | 23,275 | 73,602  | 106,361 |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 768,07 | 256,02 | 809,61  | 1169,96 |
| 11 | Склад нефтепродуктов       | 2  | 10    | 20   |    | 0,3  | 0,65/<br>0,79 | 6   | 4,74   | 2  | 1,5  | 9      | 5,21   | 10,4    | 15      |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 0,9    | 0,521  | 1,04    | 1,5     |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 9,9    | 5,731  | 11,44   | 16,5    |
| 12 | Насосная станция           | 10 | 10÷40 | 280  | >3 | 0,75 | 0,8/<br>0,7   | 210 | 147    | 10 | 1,07 | 224,7  | 161,7  | 276,83  | 400,04  |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 22,47  | 16,17  | 27,683  | 40,004  |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 247,17 | 177,87 | 304,52  | 440,06  |
| 13 | Ремонтно-механическая база | 37 | 5÷30  | 300  | >3 | 0,3  | 0,7/<br>0,76  | 90  | 65,7   | 20 | 1,8  | 162    | 65,7   | 174,81  | 252,61  |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 16,2   | 6,57   | 17,481  | 25,261  |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 132,66 | 72,27  | 15,47   | 22,33   |
| 14 | Строительный цех           | 30 | 1÷20  | 230  | >3 | 0,4  | 0,75/<br>0,73 | 92  | 67,16  | 23 | 1,7  | 102,12 | 67,16  | 122,22  | 176,4   |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 10,212 | 6,716  | 12,222  | 17,64   |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 112,33 | 73,88  | 134,45  | 194     |
| 15 | Блок цехов гончарных труб  | 60 | 1÷50  | 1500 | >3 | 0,4  | 0,7/<br>0,76  | 600 | 456    | 60 | 2,2  | 1320   | 456    | 1369,54 | 1979,1  |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 132    | 45,6   | 136,954 | 197,91  |
|    | Итого                      |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 1452   | 501,6  | 1536,2  | 2219,94 |
| 16 | Блок цехов шифера          | 40 | 1÷40  | 1100 | >3 | 0,45 | 0,75/<br>0,73 | 495 | 361,35 | 40 | 1,9  | 940,5  | 361,35 | 1007,53 | 1455,97 |
|    | Освещение                  |    |       |      |    |      |               |     |        |    |      | 94,05  | 36,135 | 100,753 | 145,597 |

Продолжение таблицы 1.3

| 1  | 2                           | 3  | 4    | 5    | 6  | 7    | 8            | 9    | 10    | 11 | 12  | 13      | 14      | 15      | 16      |
|----|-----------------------------|----|------|------|----|------|--------------|------|-------|----|-----|---------|---------|---------|---------|
|    | Итого                       |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 1034,55 | 397,5   | 1108,29 | 1601,57 |
| 17 | Кислородная станция         | 15 | 1÷80 | 320  | >3 | 0,65 | 0,8/<br>0,7  | 208  | 196   | 8  | 1,1 | 228,8   | 215,6   | 314,38  | 454,31  |
|    | Освещение                   |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 22,88   | 21,56   | 31,438  | 45,431  |
|    | Итого                       |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 251,68  | 237,16  | 345,81  | 504,06  |
| 18 | Компрессорная станция       |    |      |      |    | 0,65 | 0,8/<br>0,7  |      |       |    |     |         |         |         |         |
|    | а) 0,4 кВ                   | 10 | 1÷20 | 150  | >3 | 0,65 | 0,8/<br>0,7  | 97,5 | 68,25 | 10 | 1,1 | 107,25  | 75,07   | 130,91  | 189,18  |
|    | Освещение                   |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 10,725  | 7,507   | 13,091  | 18,918  |
|    | Итого                       |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 117,97  | 82,58   | 144     | 208,09  |
| 19 | Площадка для открытых работ | 10 | 1÷50 | 120  | >3 | 0,3  | 0,8/<br>0,7  | 36   | 25,2  | 5  | 1,6 | 57,6    | 27,72   | 63,92   | 92,37   |
|    | Освещение                   |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 5,76    | 2,77    | 6,392   | 9,237   |
|    | Итого                       |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 63,36   | 30,49   | 70,31   | 101,6   |
| 20 | Автогараж                   | 25 | 1÷40 | 2500 | >3 | 0,3  | 0,7/<br>0,76 | 750  | 570   | 25 | 1,9 | 1339,5  | 570     | 1455,73 | 2103,66 |
|    | Освещение                   |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 133,95  | 57      | 145,573 | 210,366 |
|    | Итого                       |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 1473,45 | 627     | 1601,31 | 2314,03 |
|    | По предприятию              |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 11308,8 | 4467,3  | 12159,2 | 17571,1 |
|    | Освещение                   |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 1130,88 | 446,73  | 1215,92 | 1757,11 |
|    | Итого по предприятию        |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 12439,7 | 4914,03 | 13375,1 | 19328,2 |
|    | $\Delta P_T, \Delta Q_T$    |    |      |      |    |      |              |      |       |    |     | 140,79  | 779,03  |         |         |



Продолжение таблицы 1.3

| 1 | 2                                     | 3 | 4   | 5    | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13       | 14      | 15      | 16      |
|---|---------------------------------------|---|-----|------|---|---|---|---|----|----|----|----------|---------|---------|---------|
|   | Нагрузка 0,4 кВ<br>приведенная к 6 кВ |   |     |      |   |   |   |   |    |    |    | 12580,49 | 5693,06 |         |         |
|   | Компрессор СД                         | 4 | 630 | 2520 |   |   |   |   |    |    |    | 1890     | -1323   |         |         |
|   | ВБК                                   |   |     |      |   |   |   |   |    |    |    |          | -1350   |         |         |
|   | Всего по<br>предприятию               |   |     |      |   |   |   |   |    |    |    | 14470,49 | 3020,06 | 14782,3 | 1424,01 |

### 1.3 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности на напряжение 0,4 кВ

Правильное определение числа и мощности цеховых трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов: категории надежности электроснабжения потребителей; компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1кВ; перегрузочной способности трансформаторов в нормальном и аварийном режимах; шага стандартных мощностей; экономичных режимов работы трансформаторов в зависимости от графика нагрузки.

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

$$N_{T.min} = (P_{p0.4} / (K_3 \cdot S_{н.тр})) + \Delta N, \quad (1.10)$$

где  $P_{p0.4}$  - суммарная расчетная активная нагрузка;

$K_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;

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

$S_{н.тр}$  - принятая номинальная мощность трансформатора, выбирается по удельной плотности нагрузок:

$$\rho_{уд} = \frac{S_{p0.4}}{F_{цех}} \quad (1.11)$$

$$\rho_{уд} = \frac{13375,1}{52849,9} = 0,25;$$

при  $\rho_{уд} = 0,2 \div 0,3$  применяются трансформаторы 1600 кВА.

$$N_{T.min} = \frac{12439,7}{0,8 \cdot 1600} + 0,28 = 10 \text{ штук.}$$

Экономически целесообразное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_{T.э} = N_{T.min} + m, \quad (1.12)$$

где  $m$ —дополнительное число трансформаторов,

$$N_{T.э} = 10 + 2 = 12 \text{ штук.}$$

К установке был выбран трансформатор ТМГ-1600-6/0,4.

**Таблица 1.4 - Характеристики трансформатора ТМГ-1600-6/0,4**

| $U_{\text{вн}}, \text{кВ}$ | $U_{\text{нн}}, \text{кВ}$ | $P_{\text{xx}}, \text{Вт}$ | $P_{\text{кз}}, \text{Вт}$ | $I_{\text{xx}}, \%$ | $U_{\text{кз}}, \%$ |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|
| 6                          | 0,4                        | 1950                       | 16500                      | 0,5                 | 6,0                 |

По выбранному числу трансформаторов определяем наибольшую реактивную мощность  $Q_1$ , которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть напряжением до 1 кВ, определяется по формуле:

$$Q_1 = \sqrt{(N_{\text{т.э}} \cdot S_{\text{н.тр}} \cdot K_3)^2 - P_{\text{р}0,4}^2}, \quad (1.13)$$

$$Q_1 = \sqrt{(10 \cdot 1600 \cdot 0,8)^2 - 12439,7^2} = 3015,6 \text{ квар.}$$

Из условия баланса реактивной мощности на шинах 0,4 кВ определяю величину  $Q_{\text{НБК}1}$  по формуле:

$$Q_{\text{НБК}1} = Q_{\text{р}0,4} - Q_1 \quad (1.14)$$

$$Q_{\text{НБК}1} = 4914,03 - 3015,6 = 1898,43 \text{ квар.}$$

Определяю реактивную мощность  $Q_{\text{НБК}1}$  на каждый из трансформаторов по формуле:

$$Q_{\text{НБК ТП}} = \frac{Q_{\text{НБК}1}}{N_{\text{т}}}, \quad (1.15)$$

$$Q_{\text{НБК ТП}} = \frac{1898,43}{10} = 189,843 \text{ квар.}$$

К установке выбирается 12 штук НБК модели: УК-0,4-200 УЗ.

**Таблица 1.5 – Распределение низковольтной нагрузки по цехам ТП**

| № ТП                           | № Цеха | Кол эл-прием, п | $P_{min} - P_{max}$ кВт | $\sum P_H$ кВт | $K_n$ | $P_{см}, кВт$ | $Q_{см}, квар$ | $n_э$ | $K_M$ | $P_p, кВт$ | $Q_p, квар$ | $S_p, кВА$ | $K_э$ |
|--------------------------------|--------|-----------------|-------------------------|----------------|-------|---------------|----------------|-------|-------|------------|-------------|------------|-------|
| 1                              | 2      | 3               | 4                       | 5              | 6     | 7             | 8              | 9     | 10    | 11         | 12          | 13         | 14    |
| ТП1<br>(3·1600)<br>кВА         | 1      | 10              | 1-20                    | 120            | 0,3   | 36            | 29,52          | 10    |       |            |             |            |       |
|                                | 2      | 50              | 1-40                    | 1250           | 0,35  | 437,5         | 332,5          | 50    |       |            |             |            |       |
|                                | 3      | 20              | 1-25                    | 150            | 0,3   | 45            | 36,9           | 12    |       |            |             |            |       |
|                                | 4      | 30              | 1-25                    | 350            | 0,2   | 70            | 57,4           | 28    |       |            |             |            |       |
|                                | 5      | 20              | 1-25                    | 280            | 0,2   | 56            | 45,92          | 20    |       |            |             |            |       |
|                                | 20     | 25              | 1-40                    | 2500           | 0,3   | 750           | 570            | 25    |       |            |             |            |       |
| Силовая:                       |        | 155             | 1-40                    | 4650           | 0.41  | 1394,5        | 1072,24        | 145   | 2,5   | 3486,25    | 1072,24     | 3914,8     |       |
| Осветительная                  |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       | 348,625    | 107,224     | 391,48     |       |
| $Q_{нбк}$                      |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       |            | -600        |            |       |
| Итого                          |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       | 3834,9     | 579,5       | 3878,4     | 0,81  |
| ТП2-<br>ТП3<br>(4·1600)<br>кВА | 6      | 80              | 1-100                   | 3500           | 0,45  | 1575          | 1149,75        | 70    |       |            |             |            |       |
|                                | 7      | 20              | 1-30                    | 150            | 0,25  | 37,5          | 30,75          | 10    |       |            |             |            |       |
|                                | 8      | 10              | 1-30                    | 180            | 0,5   | 90            | 68,4           | 12    |       |            |             |            |       |
|                                | 9      | 20              | 1-20                    | 210            | 0,4   | 84            | 63,84          | 21    |       |            |             |            |       |
| Силовая:                       |        | 130             | 1-100                   | 4040           | 0,45  | 1786,5        | 1312,74        | 113   | 2,3   | 4108,95    | 1312,74     | 4313,55    |       |
| Осветительная                  |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       | 410,895    | 131,274     | 431,355    |       |
| $Q_{нбк}$                      |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       |            | -800        |            |       |
| Итого                          |        |                 |                         |                |       |               |                |       |       | 4519,8     | 644         | 4565,45    | 0,71  |

Продолжение таблицы 1.5

| 1                      | 2  | 3   | 4     | 5    | 6    | 7      | 8      | 9   | 10  | 11      | 12     | 13     | 14   |
|------------------------|----|-----|-------|------|------|--------|--------|-----|-----|---------|--------|--------|------|
| ТП4<br>(2·1600)<br>кВА | 10 | 50  | 1-40  | 950  | 0,35 | 332,5  | 232,75 | 48  |     |         |        |        |      |
|                        | 11 | 2   | 10    | 20   | 0,3  | 6      | 4,74   | 4   |     |         |        |        |      |
|                        | 12 | 10  | 10-40 | 280  | 0,75 | 210    | 147    | 14  |     |         |        |        |      |
|                        | 13 | 37  | 5-30  | 300  | 0,3  | 90     | 65,7   | 20  |     |         |        |        |      |
|                        | 14 | 30  | 1-20  | 230  | 0,4  | 92     | 67,16  | 23  |     |         |        |        |      |
| Силовая:               |    | 129 | 10-40 | 1780 | 0.41 | 730,5  | 517,35 | 109 | 2,8 | 2045,4  | 517,35 | 2109,8 |      |
| Осветительная          |    |     |       |      |      |        |        |     |     | 204,54  | 51,735 | 210,98 |      |
| $Q_{\text{нбк}}$       |    |     |       |      |      |        |        |     |     |         | -400   |        |      |
| Итого                  |    |     |       |      |      |        |        |     |     | 2249,94 | 169,1  | 2256,3 | 0,7  |
| ТП5<br>(3·1600)<br>кВА | 15 | 60  | 1-50  | 150  | 0,4  | 600    | 456    | 60  |     |         |        |        |      |
|                        | 16 | 40  | 1-40  | 1100 | 0,45 | 495    | 361,35 | 40  |     |         |        |        |      |
|                        | 17 | 15  | 1-80  | 320  | 0,65 | 208    | 196    | 8   |     |         |        |        |      |
|                        | 18 | 10  | 1-20  | 150  | 0,65 | 97,5   | 68,25  | 10  |     |         |        |        |      |
|                        | 19 | 10  | 1-50  | 120  | 0,3  | 36     | 25,2   | 5   |     |         |        |        |      |
| Силовая:               |    | 135 | 1-80  | 850  | 0,65 | 1436,5 | 1106,8 | 113 | 2,5 | 3591,25 | 1106,8 | 3757,9 |      |
| Осветительная          |    |     |       |      |      |        |        |     |     | 359,125 | 110,68 | 375,79 |      |
| $Q_{\text{нбк}}$       |    |     |       |      |      |        |        |     |     |         | -600   |        |      |
| Итого                  |    |     |       |      |      |        |        |     |     | 3950,4  | 617,48 | 3998,4 | 0,83 |

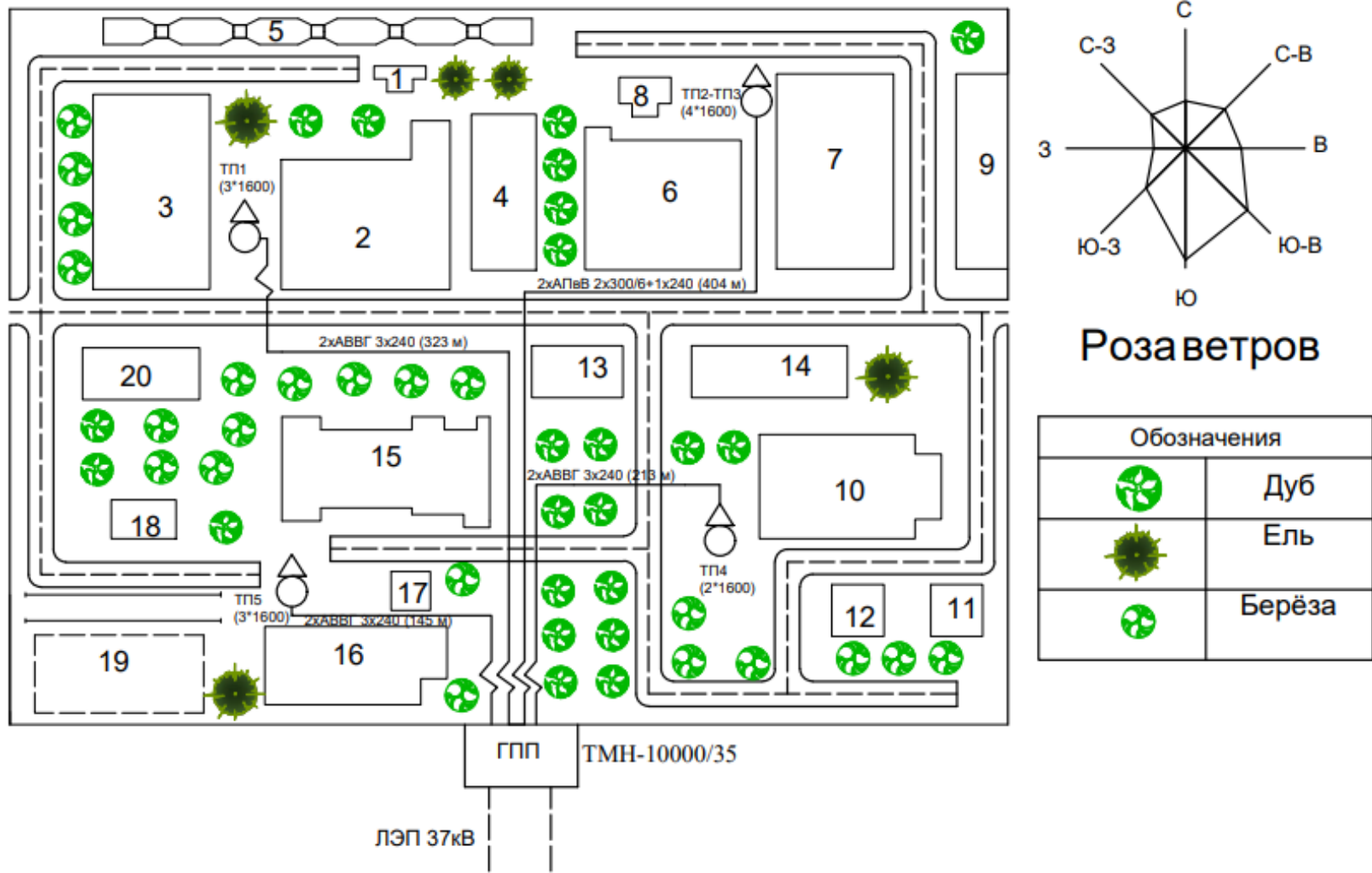


Рисунок 2 – Генплан промышленной базы



## 1.4 Расчет потерь на группах трансформаторов

Производим расчет для трансформатора ТМГ-1600-6/0,4 с характеристиками:  $\Delta P_{xx} = 1,95$  кВт,  $\Delta P_{кз} = 16,5$  кВт,  $U_{кз} = 6,0$  %,  $I_{xx} = 0,5$  %, ТП1-ТП3:  $K_3 = 0,77$

$$\Sigma \Delta P_T = 3 \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (1.16)$$

$$\Sigma \Delta P_T = 3 \cdot (1,95 + 0,81^2 \cdot 16,5) = 38,33 \text{ кВт},$$

$$\Sigma \Delta Q_T = 5 \cdot \left( \frac{I_{xx} \cdot S_H}{100} + \frac{K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot S_H}{100} \right), \quad (1.17)$$

$$\Sigma \Delta Q_T = 3 \cdot \left( \frac{0,5 \cdot 1600}{100} + \frac{0,81^2 \cdot 6 \cdot 1600}{100} \right) = 324,6 \text{ квар}.$$

**Таблица 1.6 - Потери в ТП**

| № ТП    | $\Delta P$ , кВт | $\Delta Q$ , квар |
|---------|------------------|-------------------|
| ТП1     | 38,33            | 212,96            |
| ТП2-ТП3 | 41,1             | 225,6             |
| ТП4     | 20,1             | 110,1             |
| ТП      | 39,9             | 222,4             |

## 1.5 Определение расчетных активных и реактивных мощностей СД

К установке выбирается СДН2-16-44-10Т3  $P_H = 630$  кВт,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $K_3 = 0,65$ ,

$$P_{pCD} = P_H \cdot N \cdot K_3, \quad (1.18)$$

$$P_{pCD} = 630 \cdot 4 \cdot 0,75 = 1890 \text{ кВт},$$

$$Q_{нCD} = P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot N, \quad (1.19)$$

$$Q_{нCD} = 630 \cdot 0,7 \cdot 4 = 1764 \text{ квар},$$

$$Q_{pCD} = Q_{нCD} \cdot K_3, \quad (1.20)$$

$$Q_{pCD} = 1764 \cdot 0,75 = 1323 \text{ квар}.$$

## 1.6 Расчет компенсации (ВБК) на шинах 6 кВ

Составляется уравнение баланса реактивной мощности на шинах 6 кВ относительно  $Q_{\text{ВБК}}$ :

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{\text{э}} + Q_{\text{сд}} + Q_{\text{нбк}} - Q_{\text{рез}} - Q_{\text{р0,4}}, \quad (1.21)$$

$Q_{\text{рез}}$  - величина резерва реактивной мощности на предприятии, определяется по формуле:

$$Q_{\text{рез}} = (0,1 \div 0,15)(Q_{\text{р0,4}} + \Delta Q_{\text{т}}), \quad (1.22)$$

$$Q_{\text{рез}} = 0,1 \cdot (4914,03 + 779,03) = 569,31 \text{ квар},$$

$Q_{\text{э}}$  - входная реактивная мощность находится по формуле:

$$Q_{\text{э}} = (0,23 \div 0,25) \cdot \sum P_{\text{р}}, \quad (1.23)$$

$$Q_{\text{э}} = 0,25 \cdot (12439,7 + 140,79 + 1890) = 3617,62 \text{ квар}.$$

$$Q_{\text{ВБК}} = 3617,62 + 1323 + 1898,43 - 569,31 - 4914,03 = 1355,71 \text{ квар},$$

К установке принимается 2 шт. ВБК модели УКРМ-6.3-675.

## 1.7 Расчёт внешнего электроснабжения 1 варианта

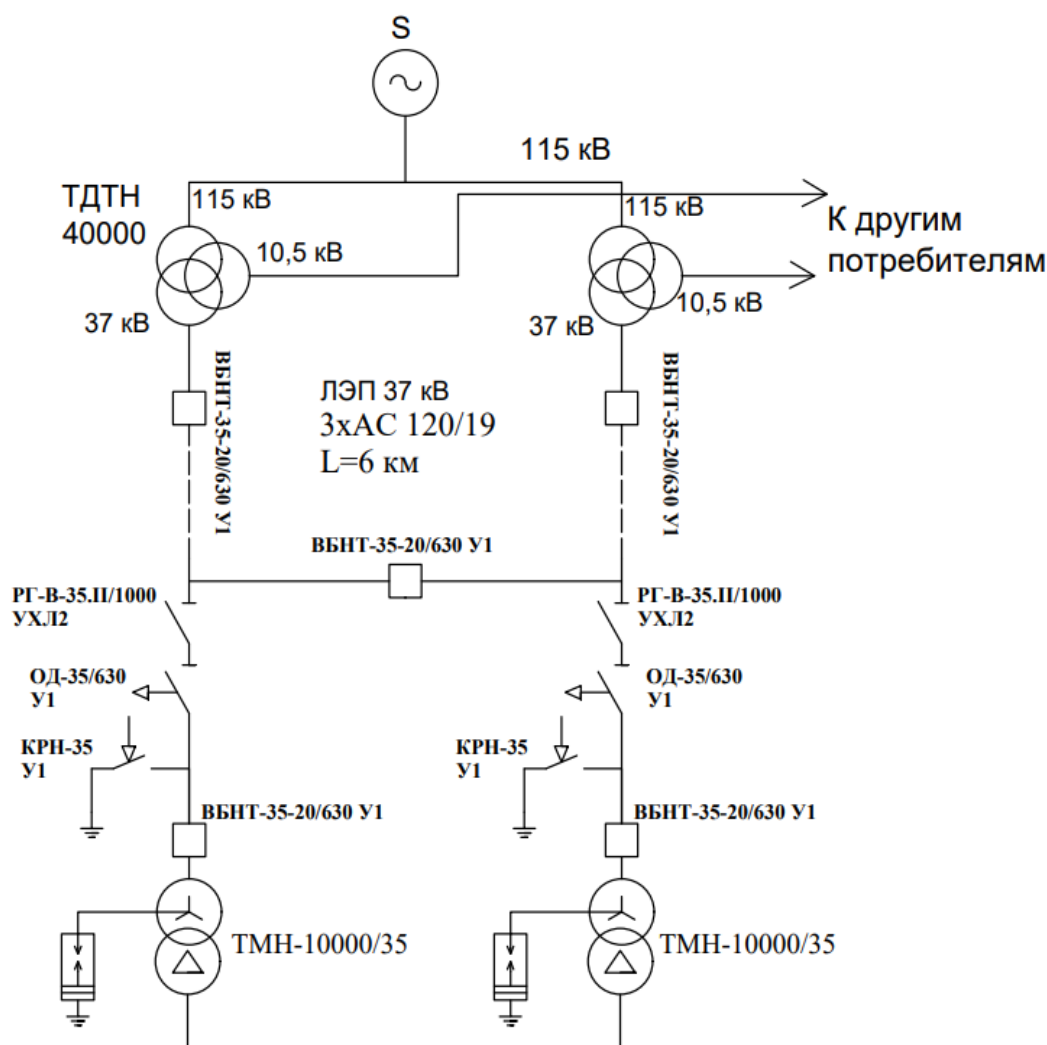


Рисунок 1.3 – 1 вариант схемы внешнего электроснабжения

Выбор трансформатора ГПП:

$$S_{\text{ГПП}} = \sqrt{P_p^2 + Q_{\text{э}}^2}, \quad (1.24)$$

$$S_{\text{ГПП}} = \sqrt{14470,49^2 + 3617,62^2} = 15\,348,27 \text{ кВА.}$$

К установке выбирается трансформатор ТМН-10000/35 с характеристиками:

$U_{\text{вн}} = 36,75 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{нн}} = 6,3 \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{к\%}} = 7,5\%$ ,  $P_{\text{xx}} = 14,5 \text{ кВт}$ ,  $P_{\text{кз}} = 65 \text{ кВт}$ ,  $I_{\text{xx}} = 0,8 \%$ ,

Проверка коэффициента загрузки:

$$K_3 = \frac{S_{\text{ГПП}}}{2 \cdot S_{\text{H}}}, \quad (1.25)$$

$$K_3 = \frac{15348,27}{2 \cdot 10000} = 0,77.$$

Выбираем ЛЭП 37 кВ:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_{\text{p}} + \Delta P_{\text{ТГПП}})^2 + Q_3^2}, \quad (1.26)$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(14470,49 + 106,1)^2 + 3617,62^2} = 15018,8 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_{\text{p}} = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{H}}}, \quad (1.27)$$

$$I_{\text{p}} = \frac{15018,8}{2 \cdot 1,73 \cdot 37} = 117,32 \text{ А},$$

Токи аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = \frac{I_{\text{p}}}{2}, \quad (1.28)$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{117,32}{2} = 58,66 \text{ А},$$

Определяется сечение проводников по расчетному току:

$$F = \frac{I_{\text{p}}}{j}, \quad (1.29)$$

$$F = \frac{117,32}{1,1} = 106,65 \text{ мм}^2.$$

$j = 1,1 \text{ А/мм}^2$  - плотность тока для воздушных линий.

К установке выбирается провод 3хАС 120/19 с характеристиками:

$$I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}, x_0 = 0,244 \text{ Ом/км}.$$

Производится проверка выбранного провода:

$$3 \cdot I_{\text{доп}} > I_{\text{p}}, \quad (1.30)$$

$$3 \cdot 390 = 1170 > 117,32 \text{ A},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} > I_{\text{ав}}, \quad (1.31)$$

$$1,3 \cdot 1170 = 1521 > 58,66 \text{ A}.$$

## 1.8 Выбор высоковольтной аппаратуры для 1 варианта

Расчет токов к.з. будет производиться в относительных единицах по рисунку 1.4:

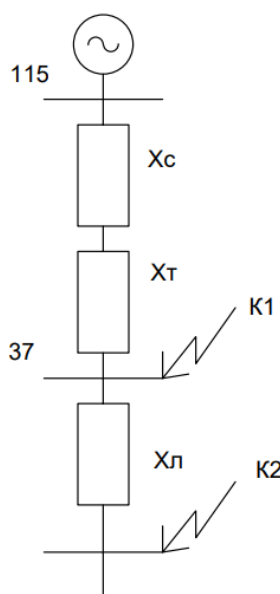


Рисунок 1.4 – Схема замещения 1 варианта

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, S_{\text{кз}} = 1100 \text{ МВА}, U_6 = 37 \text{ кВ},$$

Находим значение тока к.з.:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (1.32)$$

$$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 37} = 1562,25 \text{ A},$$

$$X_c = \frac{S_6}{S_{\text{кз}}}, \quad (1.33)$$

$$X_c = \frac{100}{1100} = 0,09 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{т}} = \frac{u_{\text{к\%}} \cdot S_6}{100 \cdot S_{\text{н}}}, \quad (1.34)$$

$$X_{\text{т}} = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 40} = 0,2625 \text{ о.е.}$$

$$X_{\text{л}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{ср}}}, \quad (1.35)$$

$$x_{л} = 0,244 \cdot 6 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

Действующее значение тока в точках К1, К2:

$$I_{к1} = \frac{I_6}{x_c + x_T}, \quad (1.36)$$

$$I_{к1} = \frac{1562,25}{0,9 + 0,2625} = 4431,91 \text{ А,}$$

$$I_{к2} = \frac{I_6}{x_c + x_T + x_{л}}, \quad (1.37)$$

$$I_{к2} = \frac{1562,25}{0,09 + 0,2625 + 0,11} = 3377,84 \text{ А.}$$

Ударный ток КЗ в точке 1:

$$i_{уд1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1}, \quad (1.38)$$

$$i_{уд1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 4431,91 = 11248,19 \text{ А.}$$

Ударный ток КЗ в точке 2:

$$i_{уд2} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2}, \quad (1.39)$$

$$i_{уд2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 3377,84 = 8572,96 \text{ А.}$$

Рассчитывается мощность в точке К1:

$$S_{к-1} = \sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot I_{к1}, \quad (1.40)$$

$$S_{к-1} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 11,25 = 720,11 \text{ МВА.}$$

Рассчитывается мощность в точке К2:

$$S_{к-2} = \sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot I_{к2} \quad (1.41)$$

$$S_{к-2} = \sqrt{3} \cdot 37 \cdot 8,57 = 548,57 \text{ МВА.}$$

Для выбора высоковольтной аппаратуры используем значения аварийного тока для трансформатора формулы (1.27, 1.28).

Выбор высоковольтной защитной аппаратуры производится по следующим условиям:



**Таблица 1.7 - Данные выключателя ВБНТ-35-20/630 У1**

| Условия выбора         | Паспортные данные | Расчетные данные |
|------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$         | 37 кВ             | 37 кВ            |
| $I_H \geq I_{ав}$      | 630 А             | 58,66 А          |
| $I_{отк} \geq I_{к1}$  | 20 кА             | 4,43 кА          |
| $I_{дин} \geq i_{уд1}$ | 52 кА             | 11,25 кА         |

**Таблица 1.8 – Данные разъединителя РГ-В-35.И/1000 УХЛ2**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 37 кВ             | 37 кВ            |
| $I_H \geq I_{ав}$        | 1000 А            | 58,66 А          |
| $I_{скв} \geq i_{уд2}$   | 50 кА             | 8,57 кА          |
| $I_{тем ст} \geq I_{к2}$ | 20 кА             | 3,38 кА          |

**Таблица 1.9 – Данные отделителя ОД-35/630 У1**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 37 кВ             | 37 кВ            |
| $I_H \geq I_{ав}$        | 630 А             | 58,66 А          |
| $I_{скв} \geq i_{уд2}$   | 80 кА             | 8,57 кА          |
| $I_{тем ст} \geq I_{к2}$ | 12,5 кА           | 3,38 кА          |

**Таблица 1.10 – Данные короткозамыкателя КРН-35 У1**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 115 кВ            | 115 кВ           |
| $I_{скв} \geq i_{уд2}$   | 42 кА             | 8,57 кА          |
| $I_{тем ст} \geq I_{к2}$ | 12,5 кА           | 3,38 кА          |

*Капитальные затраты 1 варианта*

Определим капитальные затраты на оборудование 1 варианта:

Затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр ГПП} = n_{кл} \cdot N_{ст}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.42)$$

$$K_{тр ГПП} = 2 \cdot 21 = 42 \text{ млн. тг}$$

Затраты на ЛЭП 37 кВ:

$$K_{лэп37} = L \cdot N_{ст}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.43)$$

$$K_{\text{ЛЭП37}} = 6 \cdot 1,08 = 6,48 \text{ млн. тг.}$$

Затраты на выключатели:

$$K_{\text{ВЫКЛ}} = n_{\text{КЛ}} \cdot N_{\text{СТ}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.44)$$

$$K_{\text{ВЫКЛ}} = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ млн. тг.}$$

Затраты на отделители:

$$K_{\text{ОД}} = n_{\text{КЛ}} \cdot N_{\text{СТ}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.45)$$

$$K_{\text{ОД}} = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ млн. тг.}$$

Затраты на короткозамыкатели:

$$K_{\text{КЗ}} = n_{\text{КЛ}} \cdot N_{\text{СТ}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.46)$$

$$K_{\text{КЗ}} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 \text{ млн. тг.}$$

Затраты на разъединители:

$$K_{\text{РЗ}} = n_{\text{КЛ}} \cdot N_{\text{СТ}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.47)$$

$$K_{\text{РЗ}} = 2 \cdot 1,1 = 2,2 \text{ млн. тг.}$$

Суммарные затраты:

$$K_1 = K_{\text{ТР}} + K_{\text{ЛЭП}} + K_{\text{ВЫКЛ}} + K_{\text{ОД}} + K_{\text{КЗ}} + K_{\text{РЗ}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.48)$$

$$K_1 = 42 + 6,48 + 2,5 + 1,8 + 1,7 + 2,2 = 56,68 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные отчисления  $I_{\text{а.об}}$  на оборудование, рассчитываются по формуле:

$$I_{\text{а.об.}} = E_{\text{а.об.}} \cdot K_{\text{об}} = E_{\text{а.об.}} \cdot (K_{\text{ТР}} + K_{\text{ВЫКЛ}} + K_{\text{ОД}} + K_{\text{КЗ}} + K_{\text{РЗ}}), \text{ млн. тг.}, \quad (1.49)$$

$$I_{\text{а}} = 0,063 \cdot (42 + 2,5 + 1,8 + 1,7 + 2,2) = 3,2 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные отчисления на ЛЭП:

$$I_{\text{а.ЛЭП}} = E_{\text{а.ЛЭП}} \cdot K_{\text{ЛЭП}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.50)$$

$$I_{\text{а.лэп}} = 0,028 \cdot 6,48 = 0,18 \text{ млн. тг.}$$

Издержки на эксплуатацию оборудования:

$$I_{\text{эксп.обор.}} = E_{\text{эксп.обор.}} \cdot K_{\text{обор.}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.51)$$

$$I_{\text{эксп.обор.}} = 0,3 \cdot 50,2 = 15,1 \text{ млн. тг.}$$

Издержки на эксплуатацию ЛЭП:

$$I_{\text{эксп.лэп.}} = E_{\text{эксп.лэп.}} \cdot K_{\text{лэп.}}, \text{ млн. тг.}, \quad (1.52)$$

$$I_{\text{эксп.лэп.}} = 0,028 \cdot 6,48 = 0,18 \text{ млн. тг.}$$

Потери энергии при трехсменном режиме работы будут  $T_{\text{вкл}} = 6000 \text{ ч.}$   $T_{\text{макс}} = 4500 \text{ ч.}$  Значит время максимальных потерь рассчитываем по формуле:

$$\tau = (0,125 + T_{\text{м}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760, \quad (1.53)$$

$$\tau = (0,124 + 4500 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760 = 2887.$$

Потери активной энергии в трансформаторе рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot (\Delta P_{\text{хх}} \cdot T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \tau \cdot K_3^2), \text{ кВтч}, \quad (1.54)$$

$$\Delta W_{\text{тр.гпп}} = 2 \cdot (14,5 \cdot 6000 + 65 \cdot 2887 \cdot 0,77^2) = 396521,3 \text{ кВтч.}$$

Потери электрической энергии в ЛЭП 37 кВ:

$$\Delta W_{\text{лэп37}} = N \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau, \text{ кВтч.} \quad (1.55)$$

$$\Delta W_{\text{лэп37}} = 2 \cdot 3 \cdot 117,32^2 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot 2887 = 64373,32 \text{ кВтч.}$$

При средней стоимости электроэнергии  $C_0 = 14 \text{ тг/кВтч.}$ , определим издержки на потери электроэнергии:

$$I_{\text{пот}} = C_0 \cdot (\Delta W_{\text{тр.гпп}} + \Delta W_{\text{лэп37}}), \text{ млн. тг.} \quad (1.56)$$

$$I_{\text{пот}} = 14 \cdot (396521,3 + 64373,32) = 6,45 \text{ млн. тг.}$$

Определим суммарные издержки:

$$\sum I_1 = I_{\text{эксп.лэп}} + I_{\text{пот}} + I_{\text{экс.обор.}} + I_{\text{а.лэп}} + I_{\text{а.об}}, \text{ млн, тг} \quad (1.57)$$

$$\sum I_1 = 0,18 + 6,45 + 15,1 + 0,18 + 3,2 = 25,11 \text{ млн. тг.}$$

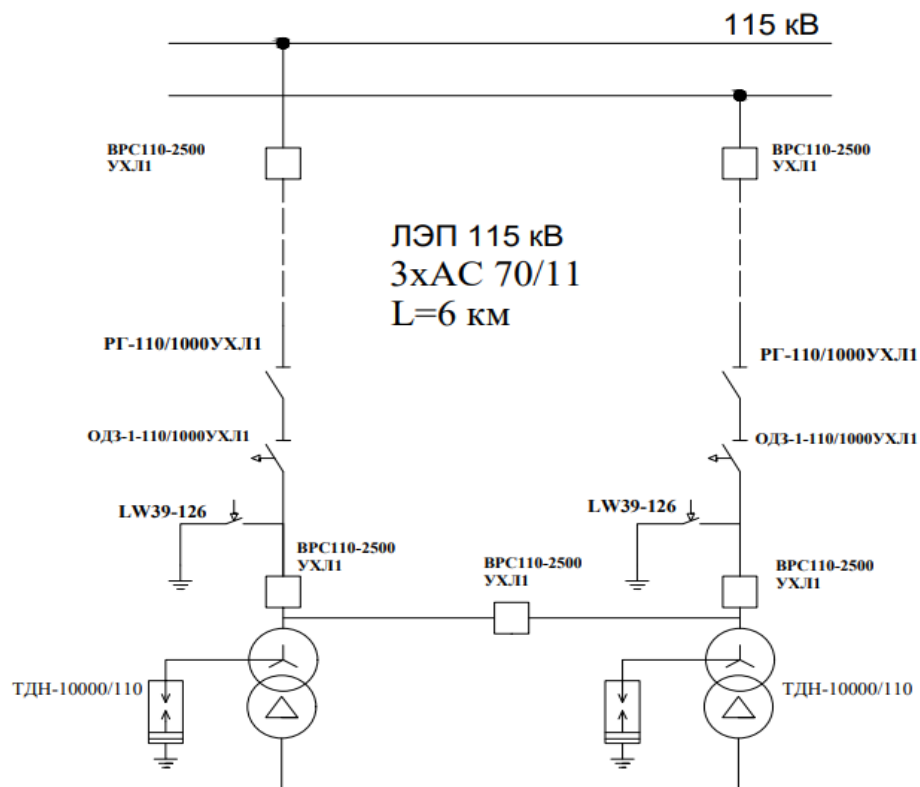
Приведенные затраты являются мерой стоимости и определяются по выражению:

$$Z_1 = E \cdot K_1 + I_1, \text{ млн. тг,} \quad (1.58)$$

где:  $E = 0,12$ -нормальный коэффициент капиталовложений.

$$Z_1 = 0,12 \cdot 56,68 + 25,11 = 31,91 \text{ млн. тг.}$$

### 1.9 Расчёт внешнего электроснабжения 2 варианта



**Рисунок 1.5 – 2 вариант схемы внешнего электроснабжения**

К установке выбираем трансформатор ТДН-10000/110 с характеристиками:

$U_{\text{ВН}} = 115 \text{ кВ}, U_{\text{НН}} = 6,3 \text{ кВ}, U_{\text{к\%}} = 10,5\%, P_{\text{ХХ}} = 14 \text{ кВт}, P_{\text{КЗ}} = 58 \text{ кВт}, I_{\text{ХХ}} = 0,9 \%$ .

Расчёт производится по формулам 1 варианта.

Выбираем ЛЭП 115 кВ:

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{ТГПП}})^2 + Q_{\text{э}}^2},$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{(14470,49 + 48,4)^2 + 3617,62^2} = 14962,8 \text{ кВА}.$$

Расчетный ток, проходящий по одной линии:

$$I_{\text{р}} = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

$$I_{\text{р}} = \frac{14962,8}{2 \cdot 1,73 \cdot 115} = 37,6 \text{ А}.$$

Токи аварийного режима:

$$I_{\text{ав}} = \frac{I_{\text{р}}}{2},$$

$$I_{\text{ав}} = \frac{117,32}{2} = 18,8 \text{ А}.$$

Определяется сечение проводников по расчетному току:

$$F = \frac{I_{\text{р}}}{j},$$

$$F = \frac{37,6}{1,1} = 34,2 \text{ мм}^2.$$

$j = 1,1 \text{ А/мм}^2$  - плотность тока для воздушных линий.

Для напряжения 110 кВ минимально сечение кабеля необходимо  $70 \text{ мм}^2$ .

К установке выбирается провод 3хАС 70/11 с характеристиками:

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}, x_0 = 0,4218 \text{ Ом/км}.$$

Производится проверка выбранного провода:

$$3 \cdot I_{\text{доп}} > I_{\text{р}},$$

$$3 \cdot 265 = 795 > 37,6 \text{ А},$$

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} > I_{\text{ав}},$$

$$1,3 \cdot 795 = 1033,5 > 18,8 \text{ А.}$$

### 1.10 Выбор высоковольтной аппаратуры 2 варианта

Расчет токов к.з. будет производиться в относительных единицах по рисунку б:

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, S_{кз} = \infty \text{ МВА}, U_6 = 115 \text{ кВ},$$

Находим значение тока к.з.:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6},$$

$$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 115} = 502,64 \text{ А},$$

$$x_c = \frac{S_6}{S_{кз}},$$

$$x_c = 0 \text{ о.е.}$$

$$x_{л} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{cp}^2},$$

$$x_{л} = 0,4218 \cdot 6 \cdot \frac{100}{115^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

Действующее значение тока в точках К1:

$$I_{к1} = \frac{I_6}{x_c + x_{л}},$$

$$I_{к1} = \frac{502,61}{0,02} = 25132 \text{ А.}$$

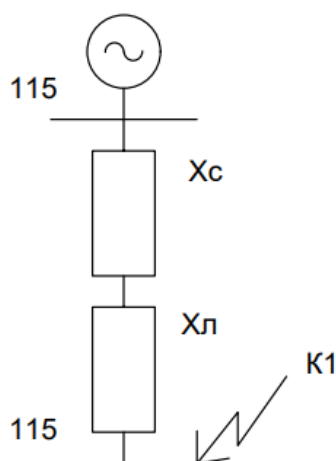
Ударный ток КЗ в точке 1:

$$i_{уд1} = K_{уд} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1},$$

$$i_{уд1} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 25132 = 63785,01 \text{ А.}$$

Рассчитывается мощность в точке К1:

$$S_{к-1} = \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_{к1},$$
$$S_{к-1} = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 63,8 = 12693,01 \text{ МВА.}$$



**Рисунок 1.6 – Схема замещения 2 варианта**

Для выбора высоковольтной аппаратуры используем значения аварийного тока для трансформатора формулы (1.27, 1.28).

Выбор высоковольтной защитной аппаратуры производится по следующим условиям:

**Таблица 1.11 – Данные выключателя ВРС110-2500 УХЛ1**

| Условия выбора         | Паспортные данные | Расчетные данные |
|------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$         | 115 кВ            | 115 кВ           |
| $I_H \geq I_{ав}$      | 2500 А            | 18,8 А           |
| $I_{отк} \geq I_{к1}$  | 31,5 кА           | 25,13 кА         |
| $I_{дин} \geq i_{уд1}$ | 81 кА             | 63,78 кА         |

**Таблица 1.12 – Данные разъединителя РГ-110/1000УХЛ1**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 115 кВ            | 115 кВ           |
| $I_H \geq I_{ав}$        | 1000 А            | 18,8 А           |
| $I_{скв} \geq i_{уд1}$   | 80 кА             | 63,78 кА         |
| $I_{тем ст} \geq I_{к1}$ | 31,5 кА           | 25,13 кА         |

**Таблица 1.13 – Данные отделителя ОДЗ-1-110/1000УХЛ1**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 115 кВ            | 115 кВ           |
| $I_H \geq I_{ав}$        | 630 А             | 18,8 А           |
| $I_{скв} \geq i_{уд1}$   | 80 кА             | 63,78 кА         |
| $I_{тем ст} \geq I_{к1}$ | 31,5 кА           | 25,13 кА         |

**Таблица 1.14 – Данные короткозамыкателя LW39-126**

| Условия выбора           | Паспортные данные | Расчетные данные |
|--------------------------|-------------------|------------------|
| $U_H \geq U_p$           | 115 кВ            | 115 кВ           |
| $I_{скв} \geq i_{уд1}$   | 100 кА            | 63,78 кА         |
| $I_{тем ст} \geq I_{к1}$ | 40 кА             | 25,13 кА         |

Капитальные затраты второго варианта производим по примеру первого варианта и вносятся в таблицу 1.15.

**Таблица 1.15 – Сравнение капитальных затрат разных вариантов**

| Варианты | $U_H$ , кВ | $K_{\Sigma}$ млн. тг. | $I_{\Sigma}$ млн. тг. | $Z_{\Sigma}$ млн. тг. |
|----------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1        | 37         | 56,68                 | 25,11                 | 31,91                 |
| 2        | 115        | 90,72                 | 37,12                 | 48                    |

**Таблица 1.16 – Сравнение потерь в вариантах внешнего электроснабжения**

| Варианты внешнего Э/С | Потери электроэнергии МВтч |
|-----------------------|----------------------------|
| 1 вариант 37 кВ       | 460,9                      |
| 2 вариант 115 кВ      | 377,9                      |

Вывод: проанализировав оба варианта внешнего электроснабжения можно сделать выводы, что 1 вариант электроснабжения по капитальным затратам выходит дешевле, но имеет более высокие потери электроэнергии. Такая разница вышла, так как во втором варианте необходимо устанавливать дорогой короткозамыкатель китайского производства LW39-126. По итогу проведенных расчетов и анализа к установке выбирается 1 вариант внешнего электроснабжения.



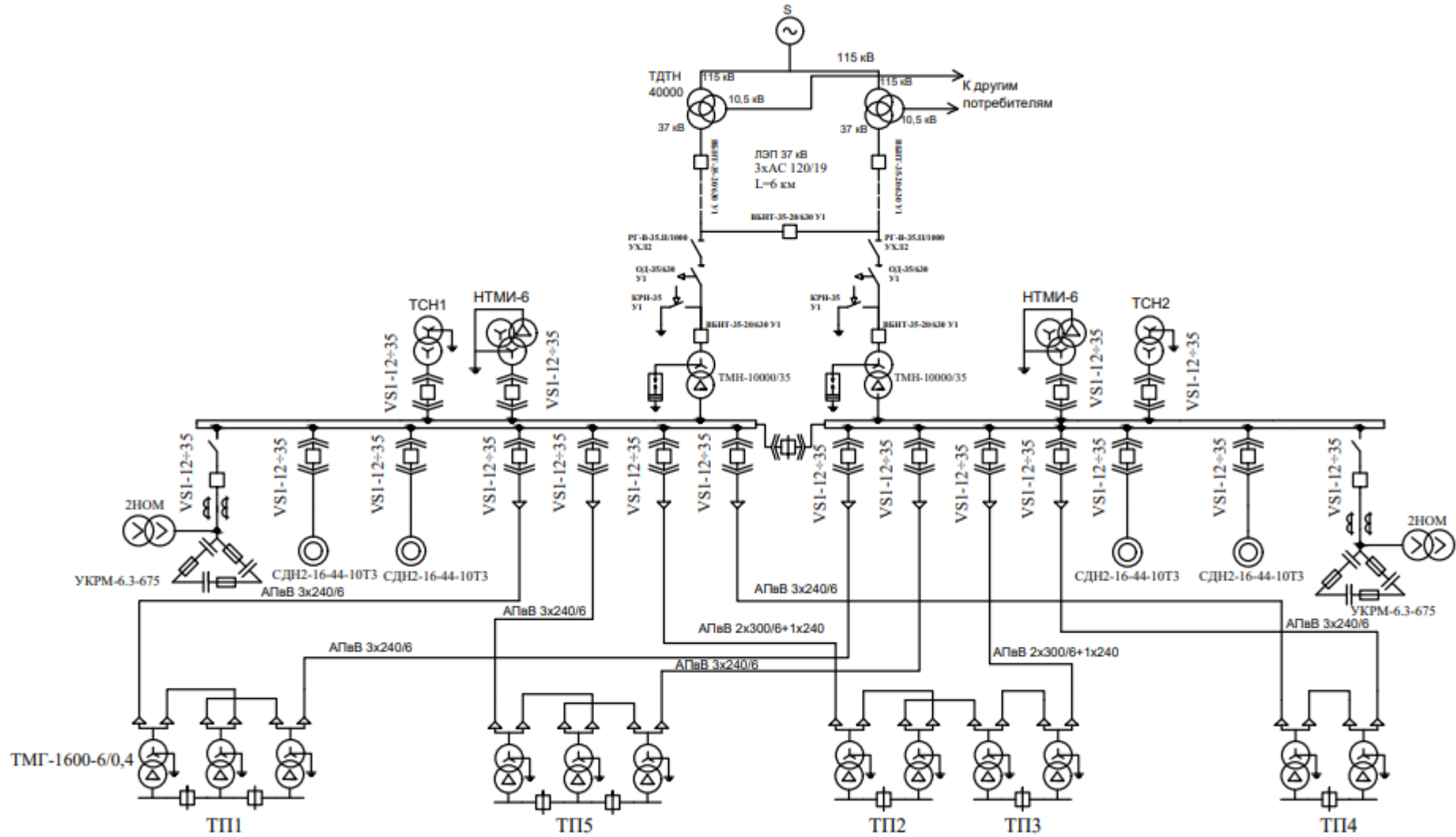


Рисунок 1.7 – Однолинейная схема промышленной базы

## **2 Специальная часть**

### **2.1 Фактические потери мощности**

Фактические потери электроэнергии определяются как разница между электроэнергией, подаваемой в сеть, и электроэнергией, отпускаемой из сети потребителям. К этим потерям относятся различного рода потери в элементах сети, которые носят чисто физический характер:

- потребление электроэнергии для работы устройств, установленных на подстанциях, обеспечивающих передачу электроэнергии;
- ошибки в фиксации электроэнергии приборами учета и, наконец, хищение электроэнергии путем воздействия на счетчики, неуплата или неполная оплата показаний счетчика и т.д.

Система определения потерь электроэнергии состоит из:

- измерительного трансформатора тока (ТТ);
- трансформаторы напряжения (ТН).

### **2.2 Структура фактических потерь**

Для целей анализа и нормирования потерь целесообразно использовать расширенную структуру текущих потерь, в которой потери разделены на составляющие в зависимости от их физической природы и специфики методов определения их количественных значений.

Фактические потери можно разделить на четыре составляющие:

1) технические потери мощности, вызванные физическими процессами, происходящими при передаче электрической энергии в электросети и выражающиеся в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. Теоретически технические потери могут быть измерены путем установки соответствующего оборудования, которое регистрирует протекание тока и его выделение в рассматриваемом объекте.

2) потребляемая мощность на подстанции СН, которая необходима для обеспечения технологического оборудования подстанции и жизнеобеспечения обслуживающего персонала. Этот поток регистрируется с помощью счетчиков, установленных на трансформаторах подстанции.;

3) Потери электроэнергии, вызванные ошибками в измерении (недорасчет электроэнергии, метрологические потери). Эти потери рассчитываются на основе данных измерений и режимов работы устройств, используемых для измерения энергии (самих счетчиков ТТ, ТН и электроэнергии). Расчет метрологических потерь включает в себя все измерительные приборы для

подачи электроэнергии из сети, включая измерительные приборы для потребления электроэнергии на подстанциях;

4) коммерческий потери, причиненный хищением электроэнергии, несоблюдением показаний счетчика при оплате электроэнергии потребителями и другими причинами в области организации мониторинга энергопотребления. Коммерческие потери не имеют независимого математического описания, и поэтому они не могут быть рассчитаны независимо. Их величина определяется как разница между фактическими потерями и суммой первых трех составляющих.

### **2.3 Структура мероприятий по снижению потерь электроэнергии**

Три основных условия, при которых действия по снижению потерь можно назвать мероприятием:

1) первое условие заключается в том, что мероприятия по снижению потерь (МСП) уменьшают потери электроэнергии в нормально функционирующих устройствах;

2) второе условие может включать отсутствие негативного влияния события на безопасность персонала и их дальнейшую надежную работу и качество подаваемой электроэнергии;

3) третье условие заключается в том, что мероприятие проводится с целью снижения потерь. На самом деле действия, главной задачей которых не было сокращение потерь, нельзя назвать МСП.

Принимая во внимание все три правила, можно отметить, что меры по снижению потерь электроэнергии являются практическими мерами по снижению потерь электроэнергии. Эти мероприятия можно разделить на четыре группы:

- 1) мероприятия по улучшению режимов работы электрических сетей:
  - реализация оптимальных режимов работы замкнутых электрических сетей 110 кВ и выше по напряжению и реактивной мощности;
  - установка и ввод в эксплуатацию автоматических регуляторов напряжения на трансформаторах с RPN и автоматических регуляторов реактивной мощности на ее источниках;
  - перевести неиспользуемые генераторы электростанций в режим СК, если в узлах сети нет реактивной мощности;
  - коммутация в сети, в результате которой уменьшаются потери тока за счет перераспределения токов по линиям, включая оптимизацию точек переключения различных номинальных напряжений;
  - введение значений РН в центрах питания радиальных сетей 6 - 110 кВ, обеспечивающих минимальные потери мощности в сети с допустимыми отклонениями напряжения для потребителей электроэнергии; открытие линий 6-35 кВ с двусторонним электроснабжением в точках, обеспечивающих подачу

электроэнергии потребителям с минимальными суммарными потерями мощности в сетях 6-35 кВ и выше, поддерживая требуемую надежность электроснабжения;

- отключение трансформатора в режиме низкой нагрузки на подстанциях с двумя или более трансформаторами;

- компенсация фазных нагрузок в сетях 0,4 кВ.

2) мероприятия по реконструкции электрических сетей, которые проводятся с целью снижения потерь:

- отключение подстанций, введение дополнительных воздушных линий и трансформаторов для разгрузки перегруженных участков сети, замена слабо загруженных трансформаторов на подстанциях (включая их переоборудование на другие подстанции), введение дополнительных коммутационных устройств, которые могут быть использованы для подачи питания на участки сети с других подстанций и т.д.;

- внедрение КУ на подстанциях сетевой организации;

- внедрение технических средств для управления потоками тока по линиям (трансформаторы с продольной и поперечной регулировкой и трансформаторы с добавлением напряжения).

3) Мероприятия по совершенствованию системы учета электроэнергии:

- замена измерительных трансформаторов на трансформаторы с более высокими классами точности и номинальными значениями, соответствующими фактическим нагрузкам;

- замена существующих устройств измерения тока новыми устройствами с улучшенной производительностью;

- установка счетчиков тока на радиальных линиях, которые отклоняются от подстанций.

4) мероприятия по сокращению хищений электроэнергии:

- регулярная проверка условий эксплуатации счетчиков электроэнергии для учета потребителей и выявления краж электроэнергии;

- замена обычных алюминиевых проводов изолированными кабелями в воздушной линии 0,4 кВ, что затруднит несанкционированное подключение к линии.

### 3 Технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии

Технические мероприятия – производимые с целью снижения потерь, при помощи капиталовложений, которые окупаются за счёт снижения потерь. К данным мероприятиям относятся перевод напряжения на более высшую ступень напряжения, замену трансформаторов, введение дополнительных компенсирующих устройств и замена проводов ВЛ на провода с большим сечением.

*Замена цеховых трансформаторов ТП:*

Установленные трансформаторы модели: ТМГ-1600-6/0,4.

$P_{xx} = 1,95$  кВт,  $P_{кз} = 16,5$  кВт,  $U_{кз} = 6,0\%$ ,  $I_{xx} = 0,5\%$ .

Потери в цеховых трансформаторах ТП1:

$$\Delta W_T = 3 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2), \quad (3.1)$$

$$\Delta W_T = 3 \cdot (1,95 \cdot 6000 + 16,5 \cdot 2887 \cdot 0,81^2) = 128860,95 \text{ кВтч.}$$

Выбранные цеховые трансформаторы для замены: ТСЛ16-1600/6/0,4.

$P_{xx} = 2,35$  кВт,  $P_{кз} = 11,9$  кВт,  $U_{кз} = 6,0\%$ ,  $I_{xx} = 0,4\%$ .

Потери в цеховых трансформаторах:

$$\Delta W_T = 3 \cdot (\Delta P_{xx} \cdot T_{вкл} + \Delta P_{кз} \cdot \tau \cdot K_3^2),$$

$$\Delta W_T = 3 \cdot (2,35 \cdot 6000 + 11,9 \cdot 2887 \cdot 0,81^2) = 109921,54 \text{ кВтч.}$$

**Таблица 3.1 – Сравнение потерь в трансформаторах**

| Модель трансформатора | Стоимость трансформаторов, млн.тг | $\Delta W_T$ , кВтч |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------|
| ТМГ-1600-6/0,4        | 6,56 - 9,51                       | 128860,95           |
| ТСЛ16-1600/6/0,4      | 8,37 - 9,62                       | 109921,54           |

Вывод: анализируя данные таблицы 3.1 можно сделать вывод, что замена трансформатора ТМГ-1600-6/0,4 на ТСЛ16-1600/6/0,4 приведет к уменьшению потерь в группах трансформаторов, также учитывая стоимость данных трансформаторов замена трансформатора ТМ на ТСЛ возможна учитывая, что сухой трансформатор будет работать в долгосрочной перспективе. Из этого следует что производимая замена трансформатора может считаться мероприятием по снижению потерь (МСП).

*Замена проводов ЛЭП на провода с большим сечением:*

На ЛЭП напряжением 37 кВ к установке был принят провод АС 120/19 с характеристиками:  $I_{доп} = 390$  А,  $x_0 = 0,244$  Ом/км.

Потери электрической энергии в ЛЭП 37 кВ были найдены по формуле 1.55 и равны:

$$\Delta W_{\text{лэп37}} = 2 \cdot 3 \cdot 117,32^2 \cdot 0,27 \cdot 10^{-3} \cdot 2887 = 64373,32 \text{ кВтч.}$$

Заменяем провод ЛЭП на АС 150/19 с характеристиками:

$$I_{\text{доп}} = 450 \text{ А, } x_0 = 0,205 \text{ Ом/км.}$$

Данный провод проходит по условиям установки относительно тока.

Находим потери в проводе АС 150/19 используя формулу 1.55:

$$\Delta W_{\text{лэп37}} = N \cdot 3 \cdot I_p^2 \cdot R \cdot 10^{-3} \cdot \tau,$$

$$\Delta W_{\text{лэп37}} = 2 \cdot 3 \cdot 117,32^2 \cdot 0,22 \cdot 10^{-3} \cdot 2887 = 52452,33 \text{ кВтч.}$$

**Таблица 3.2 – Сравнение потерь в проводах ЛЭП**

| Модель провода | $\Delta W_{\text{лэп37}}$ , кВтч |
|----------------|----------------------------------|
| АС 120/19      | 64373,32                         |
| АС 150/19      | 52452,33                         |

Вывод: по данным таблицы 3.2 делаем вывод что замена провода ЛЭП на провод с большим сечением приводит к снижению потерь электроэнергии в ВЛ 37 кВ. Уменьшение потерь электроэнергии составило около 12 МВтч.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная дипломная работа была посвящена анализу технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения промышленной базы.

В ходе работы были найдены мощности отдельных цехов предприятия по методу упорядоченных диаграмм, были найдены и распределены на генплане трансформаторные подстанции и нагрузка промышленной базы на напряжении 0,4 кВ.

Схема внешнего электроснабжения была представлена в 2 вариантах. Для обоих вариантов был произведён выбор высоковольтной аппаратуры. При анализе данных вариантов определено, что первый вариант был менее капитально затратным по причине более дешёвых высоковольтных аппаратов.

В основной части были представлены основные виды потерь электроэнергии и мероприятия по снижению потерь электроэнергии. В качестве примера были приведены два мероприятия по снижению потерь электроэнергии:

Первое техническое мероприятие замена цеховых трансформаторов ТМГ-1600-6/0,4 на ТСЛ16-1600/6/0,4. При анализе потерь данных трансформаторов можем сделать вывод, что трансформатор ТСЛ16-1600/6/0,4 является более экономичным и учитывая стоимости данных трансформаторов масляной трансформатор можно выбрать за меньшую стоимость, но для него необходимо более тщательное обслуживание и контроль за трансформаторным маслом в отличие от сухого трансформатора;

Второе техническое мероприятие увеличение сечения ЛЭП 37 кВ. При анализе потерь в ЛЭП делаем вывод что увеличение сечения провода уменьшило потери в ЛЭП.

Проанализировав представленные мероприятия по снижению потерь делаем вывод что потери в ЛЭП значительно больше потерь в трансформаторах, соответственно увеличение сечения провода ЛЭП приводит к значительным снижениям потерь электроэнергии.

По итогу проделанной работы делаем вывод что производимые технические мероприятия выполняют свою функцию по снижению потерь электроэнергии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов/ ЭНАС 2009 г., 456.
- 2 Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов/ ЭНАС 2008 г., 280.
- 3 Арутюнян А.А. Основы энергосбережения / 2007 г. 600 стр.
- 4 Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / Гамазин С.И., Кудрин Б.И., Цырук С.А., МЭИ 2010 г., 745.
- 5 Файбисович Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей ЭНАС, 2012. – 376 с.
- 6 Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий, учебник для студентов вузов, обучающихся по курсу "Электроснабжение промышленных предприятий" Москва: Интермет Инжиниринг, 2007.- 670.
- 7 Радкевич В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий, учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности "Электроснабжение" Минск: ИВЦ Минфина, 2015.- 588 с.
- 8 Сибикин Ю. Д., Электроснабжение промышленных предприятий и установок, 2016 г., 337 с.
- 9 Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений, 2012 г. 415 с.
- 10 Шлейников В. Электроснабжение промышленных предприятий. 2012 г. 54 с.



**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На \_\_\_\_\_ Дипломную работу \_\_\_\_\_  
(наименование вида работы)  
Шмидт Л.В.  
(Ф.И.О. обучающегося)  
05В071700 – «Теплоэнергетика»  
(шифр и наименование специальности)

Тема: **Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия**

Шмидт Л.В. приступил к выполнению дипломной работы своевременно по установленному графику. За время дипломирования проявил себя ответственным и дисциплинированным дипломником, показал умение самостоятельно решать поставленные технические задачи, грамотно использовать специальную техническую и справочную литературу, а также программные продукты IT-технологии. Регулярно посещал консультации и вовремя выполнял разделы ДР.

Дипломная работа выполнена в полном объеме, состоит из пояснительной записки на 44 стр. машинописного текста.

При выполнении всех разделов проекта проявил самостоятельность и инженерное мышление, показал знания, приобретенные в течение обучения, умение и навыки использования технической и справочной литературы, нормативных документов и различных прикладных компьютерных программ.

Считаю, что дипломная работа заслуживает оценки «отлично» (97%, А-), а Шмидт Л.В. – присуждения степени «бакалавр техники и технологии по специальности Теплоэнергетика».

**Научный руководитель**

Лектор

«24» мая 2022 г.

  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Малдыбаева Т.С.

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу Шмидт Л.В.  
05B071700 – Теплоэнергетика  
(шифр и наименование специальности)

На тему: **Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия**

Представленный на рецензию дипломный проект содержит 2 раздела на 44 страницах компьютерного набора.

Дипломная работа соответствует заявленной теме и заданию. Пояснительная записка и листы графики проекта выполнены с соблюдением стандартов учебной организации и достаточно полно раскрывают тему проекта.

При выполнении проекта автор грамотно выбрал современное оборудование и аппаратуру.

Содержание работы и качество его выполнения вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к дипломным работам бакалавров.

Следует отметить в качестве замечания следующее:

- не понятно, каким образом автор определил место расположения главной понизительной подстанции (ГПП).

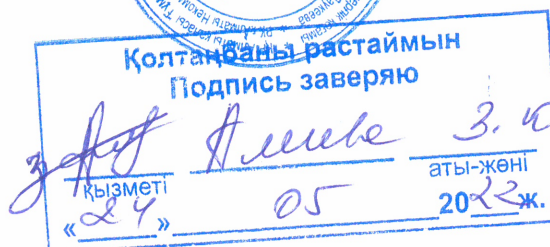
Однако замечания не снижают уровень выполненной работы и не влияют на его положительную оценку.

Дипломная работа выполнена на достаточно высоком уровне, заслуживает оценки «отлично» (95%), а Шмидт Л.В.- присуждения академической степени «бакалавр техники и технологии по специальности Теплоэнергетика».

Рецензент:

к.т.н., стар.преподаватель  
кафедры «Электроника и робототехника» АУЭС

Юсупова С.А.



## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Шмидт Леонид Владимирович

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия

**Научный руководитель:** Толкын Малдыбаева

**Коэффициент Подобия 1:** 0.8

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 0

**Знаки из здругих алфавитов:** 5

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

*Допущен и зачислен.*

Дата

*14.05.22*

*[Подпись]*  
проверяющий эксперт  
*Малдыбаева Б.С.*

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Шмидт Леонид Владимирович

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Анализ технических мероприятий по снижению потерь электроэнергии в системе электроснабжения (СЭС) предприятия

**Научный руководитель:** Толкын Малдыбаева

**Коэффициент Подобия 1:** 0.8

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 0

**Знаки из других алфавитов:** 5

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 0

**После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:**

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

*Допущена к защите*

Дата

*24.05.2022*

Заведующий кафедрой

*Сарсанбаев С.А.*  
