

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Масленников Константин Александрович

Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение энергетического
баланса на промышленном предприятии

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

6B07101– Энергетика

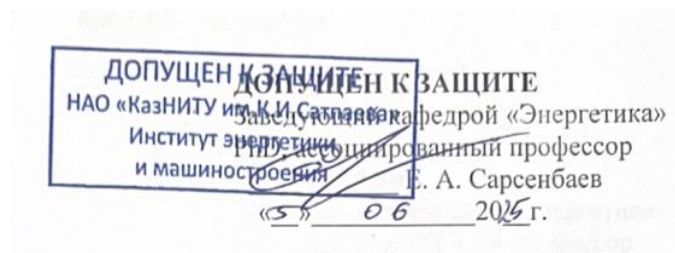
Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение
энергетического баланса на промышленном предприятии»

6B07101– Энергетика

Выполнил:

Масленников К.А.

Рецензент
главный энергетик ТОО «Консолид.
строит. горнорудная компания»

Е.А. Жолдыбеков

«28» март 2025 г.

Научный руководитель
магистр, старший преподаватель

Р.Ш. Абитаева

«19» апрель 2025 г.

Алматы 2025

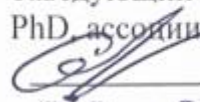
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

6B07101– Энергетика

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, ассоциированный профессор
 Е. А. Сарсенбаев
«20» 01 2025г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Масленникову Константину Александровичу

Тема: Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса на промышленном предприятии

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам №26–п от "29" января 2025г.

Срок сдачи законченной работы «19» мая 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: питание осуществлено от подстанции энергосистемы, на которой установлены два параллельно - работающих трансформатора мощностью по 63 МВА, напряжением 115/37/10,5 кВ. Мощность системы 650 МВА, мощность КЗ на стороне 115 равна 950 МВА.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Расчет осветительной и электрических нагрузок
- б) Расчет и выбор трансформаторов цеха и компенсация реактивной мощности
- в) Технико-экономический расчет
- г) Разработка автоматизированной системы мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса предприятия
- д) Определение доли энергопотребления по участкам завода и энергоемкости продукции

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
представлены 10 слайдов презентации работы

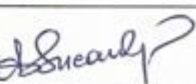
Рекомендуемая основная литература: из 13 наименований учебных материалов

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Расчет осветительной и электрических нагрузок	24.02.2025	нет
Расчет и выбор трансформаторов цеха и компенсация реактивной мощности	01.03.2025	нет
Технико-экономический расчет	14.04.2025	нет
Разработка автоматизированной системы мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса предприятия	02.05.2025	нет
Определение доли энергопотребления по участкам завода и энергоемкости продукции	19.05.2025	нет

Подписи

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

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Расчетная часть	Р. Ш. Абитаева, магистр, старший преподаватель	10.05.2025	
Экономическая часть	Р. Ш. Абитаева, магистр, старший преподаватель	19.05.2025	
Нормоконтролер	А.О. Бердибеков, магистр, старший преподаватель	21.05.2025	

Научный руководитель



Р. Ш. Абитаева

Задание принял к исполнению обучающийся



К. А. Масленников

Дата

" 30 " января 2025 г.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе спроектирована система электроснабжения механического завода. Представлены сведения по технологическому процессу производства и основному электрооборудованию.

Выполнены расчёты электрических нагрузок предприятия на уровнях напряжения 0,4 и 10 кВ, а также определены количество и номинальная мощность трансформаторов для цехов. С учётом технико-экономического анализа принято решение о подключении предприятия к внешней сети электроснабжения напряжением 110 кВ. Подобрано основное оборудование: силовые выключатели, кабельные линии, измерительные приборы, включая трансформаторы тока и напряжения, разъединители и выключатели нагрузки.

Разработаны решения по внедрению автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) и выполнены расчёты по сведению энергетического баланса.

АҢДАТПА

Осы дипломдық жұмыста механикалық зауыттың электрмен жабдықтау жүйесі жобаланған. Өндірістік технологиялық үдеріс пен негізгі электр жабдықтары туралы мәліметтер келтірілген.

Кәсіпорынның 0,4 және 10 кВ кернеу деңгейіндегі электр жүктемелері есептеліп, цехтарға арналған трансформаторлардың саны мен номиналды қуаты анықталған.

Технико-экономикалық талдау негізінде зауытты сыртқы электрмен жабдықтау желісіне 110 кВ кернеу арқылы қосу туралы шешім қабылданды. Негізгі электр техникалық жабдық таңдалды: күштік ажыратқыштар, кабельдік желілер, ток және кернеу трансформаторларын қоса алғанда өлшеу құралдары, айырғыштар және жүктеме ажыратқыштары.

Коммерциялық электр энергиясын есепке алудың автоматтандырылған жүйесін (АЭЕАЖ) енгізу бойынша шешімдер әзірленіп, энергетикалық балансты жасау бойынша есептеулер жүргізілді.

ANNOTATION

This diploma work presents the design of the power supply system for a mechanical plant. It includes information on the technological production process and the main electrical equipment.

Calculations of the plant's electrical loads were carried out at voltage levels of 0.4 and 10 kV, and the number and rated power of transformers for workshops were determined. Based on a techno-economic analysis, it was decided to connect the enterprise to an external power supply network with a voltage of 110 kV. Key electrical equipment was selected, including power circuit breakers, cable lines, measuring instruments (such as current and voltage transformers), disconnectors, and load breakers.

Solutions for the implementation of an Automated Commercial Electricity Metering System (AMR) were developed, and calculations for compiling the energy balance were performed.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Описание технологического процесса	8
1.1 Исходные данные по проектированию электроснабжения механического завода	9
1.2 Расчет осветительной нагрузки по цехам завода	11
2 Расчет электрических нагрузок механического завода	13
2.1 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности	18
2.2 Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП	19
2.3 Уточненное распределение $Q_{\text{нбк}}$ по цеховым ТП	20
3 Расчет высоковольтных нагрузок по заводу	22
3.1 Уточненный расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ	22
3.2 Расчет компенсации реактивной мощности на шинах выше 1 кВ	23
4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения	27
4.1 Первый вариант электроснабжения ЛЭП 110 кВ	27
4.2 Второй вариант электроснабжения ЛЭП 35 кВ	34
4.3 Сравнение вариантов электроснабжения	42
5 Выбор оборудования и расчет токов КЗ на стороне 10 кВ	43
5.1 Расчет токов КЗ ($U=10,5$ кВ)	43
5.2 Выбор выключателей	44
5.3 Выбор силовых кабелей отходящих линий	46
6 Выбор трансформаторов тока	48
6.1 Выбор ТТ на вводах к шинам I и II секции и на СВ	48
6.2 Выбор трансформаторов напряжения	50
6.3 Выбор трансформаторов собственных нужд	51
6.4 Выбор шин и изоляторов ГПП	52
7 Специальный раздел. АСМЭ и сведение энергобаланса	54
7.1 Анализ информационной системы управления энергетическим объектом	54
7.2 Обзор систем АСКУЭ	56
7.3 Разработка АСМЭ для механического завода	56
7.4 Сведение энергетического баланса предприятия	58
7.5 Определение доли энергопотребления по участкам завода	59
7.6 Определение энергоемкости продукции	60
Заключение	62
Список использованной литературы	63
Приложение	64

ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью не только увеличения производственной эффективности, но и рационального расходования энергетических ресурсов. Ситуация осложняется ростом тарифов на электроэнергию, ограниченностью ресурсов и усилением экологических требований. В таких условиях вопросы энергосбережения и оптимизации потребления становятся стратегически важными и напрямую влияют на конкурентоспособность и устойчивость производства.

Одним из наиболее эффективных инструментов решения этих задач являются автоматизированные системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ). Такие системы позволяют получать точные данные о потреблении, в режиме реального времени, анализировать нагрузки, оперативно выявлять неэффективные участки, а также интегрировать энергомониторинг в цифровую инфраструктуру предприятия. Всё это открывает возможности для снижения потерь, повышения энергоэффективности и улучшения управляемости энергетическим хозяйством.

Целью дипломной работы является разработка автоматизированной системы мониторинга энергопотребления с функцией сведения энергетического баланса на механическом заводе, с последующим обоснованием её эффективности и интеграции в производственную цифровую инфраструктуру.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- Анализ существующих систем учёта и мониторинга энергоресурсов на промышленных предприятиях, выявление их недостатков;
- Расчет электрических нагрузок предприятия, включая осветительные и силовые, для определения параметров энергопотребления;
- Обоснование выбора трансформаторного оборудования и системы компенсации реактивной мощности с учётом нагрузок и структуры электроснабжения;
- Разработка схемы автоматизированной системы мониторинга энергии (АСМЭ) и определение принципов её взаимодействия с другими подсистемами предприятия (MES, ERP);
- Расчёт энергетических потерь, а также сведение энергетического баланса с определением удельных показателей потребления по участкам;
- Проведение технико-экономического анализа и оценка эффективности внедрения системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ).

1 Описание технологического процесса

Технологический процесс на механическом заводе включает работу множества цехов и служб, обеспечивающих производство и поддержку выпускаемой продукции, а также бесперебойное функционирование завода.

Сборочный цех - осуществляет сборку готовых изделий из деталей, произведенных в других цехах. Здесь производится окончательная сборка продукции перед ее отправкой на склад.

Бытовые помещения - включают раздевалки, душевые, санузлы, зоны отдыха для рабочих и служащих, обеспечивая комфортные условия для сотрудников завода.

Заводоуправление - административный центр завода, где расположены кабинеты руководства, бухгалтерия, отдел кадров, конструкторские бюро, архивы и другие службы, необходимые для управления производством.

Опытно-экспериментальный цех - специализируется на разработке и тестировании новых технологий и материалов. В этом цехе проводятся эксперименты, которые впоследствии могут быть внедрены в основное производство.

Цех сварки биметаллов - занимается сваркой изделий из различных металлов, включая многослойные конструкции. Сварка биметаллов требует применения специальных технологий и оборудования.

Цех новых материалов - отвечает за разработку и производство изделий из современных и инновационных материалов, таких как композиты, жаропрочные и легкие сплавы. Цех играет ключевую роль в обновлении ассортимента продукции завода.

Блок складов - закрытые помещения для хранения материалов, комплектующих, а также готовой продукции. Складирование происходит с учетом требований по сохранности и контролю качества продукции.

Открытый склад - используется для хранения материалов и изделий, не требующих специальных условий хранения, таких как крупные металлические конструкции или изделия, устойчивые к внешним воздействиям.

Автокомпрессорная станция - обеспечивает сжатый воздух для работы пневматического оборудования и других нужд завода. Компрессорная станция состоит из компрессоров и вспомогательного оборудования.

Штамповочный цех - занимается производством изделий методом холодной и горячей штамповки. Здесь изготавливают различные металлические детали, требующие точного и массового производства.

Очистные сооружения - комплекс для очистки сточных вод завода. Он предотвращает загрязнение окружающей среды, очищая технологические воды и другие производственные стоки.

Насосная станция оборотного водоснабжения - обеспечивает циркуляцию технической воды для нужд завода. Использованная вода очищается и снова поступает в систему.

Станция противопожарного водоснабжения - обеспечивает подачу воды для тушения пожаров на территории завода. Включает резервуары с водой, насосы и сеть противопожарных гидрантов.

Ремонтно-механический цех (РМЦ) - занимается ремонтом и техническим обслуживанием оборудования завода. Здесь производится восстановление, модернизация и обслуживание станков и других машин.

Градири №1 и №2 - предназначены для охлаждения воды, циркулирующей в системах охлаждения технологического оборудования. Градири снижают температуру воды, позволяя использовать ее повторно.

Столовая - место для питания работников завода. Столовая обеспечивает горячие обеды и другую еду для сотрудников, улучшая их условия труда.

Электроэнергия для производственных участков подаётся в виде трёхфазного переменного тока (50 Гц, 380 В), что соответствует стандартным параметрам для промышленного оборудования, за исключением автокомпрессорной станции, где кроме приемников 380 В имеются приемники с рабочим напряжением 10 кВ.

Объекты с высокой надежностью электроснабжения (категория I) включают автокомпрессорную станцию и цех новых материалов. Их отключение даже на короткое время недопустимо.

К потребителям II категории относятся объекты, отключение которых может привести к остановке производства, массовому браку или простоям. Это производственные цеха, термический участок и водозаборная станция.

К III категории относятся объекты, для которых кратковременные перебои с электроснабжением не влияют на процесс. Это освещение, часть вентиляции и ремонтные мастерские.

1.1 Исходные данные по проектированию электроснабжения механического завода

- 1) Схема генерального плана завода;
- 2) Данные по электрическим нагрузкам цехов завода;
- 3) Питание осуществляется подстанцией энергосистемы, где установлены два трансформатора, которые работают параллельно. Мощность каждого 63 МВА, напряжение 115/37/10,5 кВ. Мощность для системы равна 650 МВА, мощность на стороне 115 для КЗ равна 1000 МВА;
- 4) Расстояние до завода от энергосистемы 14 км;
- 5) Завод функционирует в две смены.

Схема генерального плана завода показана на рисунке 1.1. Исходные данные электрических нагрузок по цехам сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - Электрические нагрузки по цехам завода

№ на плане	Наименование цеха	Р _н , кВт	Кол-во ЭП	Р _н , кВт	К _и	cosφ	tanφ
1	Сборочный цех	780	35	10-27	0,6	0,7	1,02
2	Бытовые помещения	700	20	5-70	0,3	0,5	1,73
3	Заводоуправление	600	25	1-55	0,3	0,6	1,33
4	Механический цех	-	-	-	-	-	-
5	Опытно-экспериментальный цех	1500	47	8-65	0,7	0,7	1,02
6	Цех сварки биметаллов	3400	70	10-100	0,8	0,8	0,75
7	Цех новых материалов	2600	60	10-100	0,7	0,7	1,17
8	Блок складов	700	35	5-46	0,3	0,6	1,33
9	Открытый склад	50	3	1-30	0,2	0,4	2,29
10	Автокомпрессорная станция	-	-	-	-	-	-
	10кВ (СД)	1700	4	425	0,9	0,9	0,48
	0,38 кВ	500	15	15-33	0,7	0,8	0,75
11	Штамповочный цех	700	42	5-36	0,7	0,8	0,88
12	Очистные сооружения	1700	45	10-80	0,9	0,7	1,17
13	Насосная ст. обратного водоснабжения	220	15	1-40	0,8	0,7	1,02
14	Станция противопожарного водоснабжения	480	25	3-43	0,6	0,7	1,02
15	РМЦ	440	20	1-50	0,7	0,8	0,88
16	Градирня №1	900	38	1-50	0,8	0,7	1,02
17	Градирня №2	780	34	1-55	0,8	0,7	1,02
18	Столовая	200	20	1-20	0,4	0,5	1,73

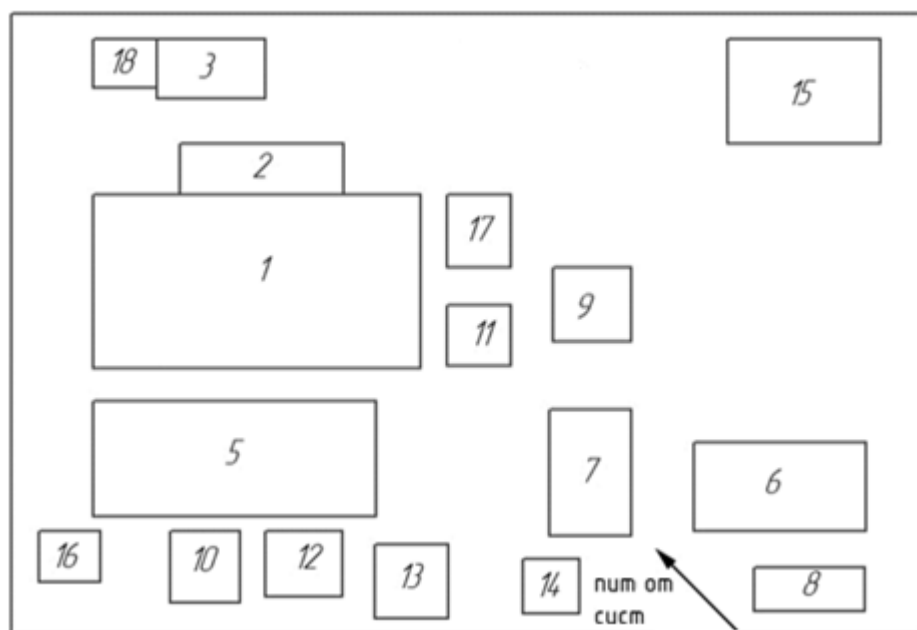


Рисунок 1.1 – Генплан механического завода

1.2 Расчет осветительной нагрузки по цехам завода

Осветительная нагрузка рассчитывается по коэффициенту спроса и удельной плотности осветительной нагрузки на квадратный метр.

По этому методу расчетную осветительную нагрузку принимаем равной средней мощности освещения за наиболее загруженную смену и определяем по формулам (1.1), (1.2):

$$P_{p0} = K_{c0} \times P_{y0}, \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

$$Q_{p0} = \text{tg}\varphi \times P_{p0}, \text{ кВар} \quad (1.2)$$

где K_{c0} – коэффициент спроса по активной мощности осветительной нагрузки;

$\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности, определяется по известному $\cos\varphi = 0,97$ осветительной установки;

P_{y0} – установленная мощность приемников освещения по цеху, отделу и т. п. определяется по удельной осветительной нагрузке 1 м^2 поверхности пола и известной производственной площади по формуле (1.3):

$$P_{y0} = \rho_0 \times F, \text{ кВт} \quad (1.3)$$

где ρ_0 – удельная расчетная мощность в кВт/м²;

F – площадь пола производственного помещения в м².

Величина ρ_0 зависит от рода помещений и выбирается по справочнику [1].
Расчет осветительной нагрузки предприятия занесен в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Расчет осветительной нагрузки по цехам механического завода

№ на плане	Наименование цеха	Осветительная нагрузка					
		$P_{уд},$ Вт/м ²	F, м ²	$P_{н ос},$ кВт	K_c	$P_{р.ос},$ кВт	$Q_{р.ос},$ кВар
1	Сборочный цех	11	9936	109,3	0,8	87,4	21,9
2	Бытовые помещения	12	1449	17,4	0,3	5,2	1,3
3	Заводоуправление	15	1147	17,2	0,5	8,6	2,15
4	Механический цех	-	-	-	-	-	-
5	Опытно-экспериментальный цех	17	5760	97,9	0,8	78,3	19,5
6	Цех сварки биметаллов	19	2700	51,3	0,95	48,7	12,18
7	Цех новых материалов	10	1782	17,8	0,95	16,9	4,23
8	Блок складов	5	864	4,3	0,6	2,6	0,6
9	Открытый склад	5	1089	5,4	0,6	3,3	0,8
10	Автокомпрессорная станция	13	990	12,9	0,7	9,0	2,3
	10кВ (СД)						
	0,38 кВ						
11	Штамповочный цех	16	729	11,7	0,95	11,1	2,7
12	Очистные сооружения	8	891	7,1	0,7	5,0	1,24
13	Насосная ст. обратного водоснабжения	8	990	7,9	0,7	5,5	1,38
14	Станция противопожарного водоснабжения	10	576	5,8	0,5	2,9	0,72
15	РМЦ	15	2835	42,5	0,8	34,0	8,5
16	Градирия №1	5	504	2,5	0,7	1,8	0,44
17	Градирия №2	5	810	4,1	0,7	2,8	0,7
18	Столовая	8	567	4,5	0,9	4,1	1,02
	Территория	0,16	32629	406,8	1	406,8	101,7
	Итого		65258	813,6		725,1	181,3

2 Расчет электрических нагрузок механического завода

Рассчитаем электрические силовые нагрузки напряжением до 1 кВ по цехам завода методом упорядоченных диаграмм упрощенным способом. Результаты расчета силовых и осветительных нагрузок по цехам сведены в таблицу 2.2.

Радиус окружности для расчета картограммы электрических нагрузок определяется по формуле (2.1):

$$r_i = \sqrt{\frac{P_p}{m \times \pi}}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

Для цеха с наибольшей активной мощностью P_p построим окружность, определим радиус, найдем масштаб по формуле (2.2):

$$m = \frac{P_p}{r^2 \times \pi}, \text{ кВт/мм} \quad (2.2)$$
$$m = \frac{2768,7 \text{ кВт}}{5,6^2 \times 3,14} = 28,12 \text{ кВт/мм}$$

Угол сектора, который соответствует осветительной нагрузке определим по формуле (2.3):

$$\alpha = \frac{P_{po}}{P_p} \times 360^\circ \quad (2.3)$$

Для высоковольтных нагрузок, включая цеха, оснащённые синхронными двигателями (СД), примем свой масштаб и рассчитаем радиус окружности картограммы. На генеральном плане (рисунок 2.1) представлена картограмма электрических нагрузок, как для низковольтных, так и для высоковольтных систем. Картограмма для низковольтной нагрузки будет наглядно отображать долю осветительной нагрузки цеха в виде сектора круга, соответствующего этому цеху. Расчет электрических нагрузок по механическому заводу сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Расчет электрических нагрузок по механическому заводу

№ цеха на плане	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Расчетная нагрузка					Суммарная нагрузка			С учетом осветительной нагрузки		
		P _н , кВт	Кол-во ЭП	P _н , кВт	K _и	cosφ	tanφ	P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	n _э	K _м	P, кВт	Q, кВар	S, кВА	P _о , кВт	Q _о , кВар	S _о , кВА
1	Сборочный цех	780	35	10-27	0,6	0,7	1,02	468	477,5	668,6	35	1,15	538,2	477,5	719,5	625,6	499,3	800,5
2	Бытовые помещения	700	20	5-70	0,3	0,5	1,73	210	363,7	420,0	20	1,32	277,2	363,7	457,3	282,4	365,0	461,5
3	Заводоуправление	600	25	1-55	0,3	0,6	1,33	180	240,0	300,0	22	1,38	248,4	240,0	345,4	257,0	242,2	353,1
4	Механический цех	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Опытно-экспериментальный цех	1500	47	8-65	0,7	0,7	1,02	1050	1071,2	1500,0	46	1,12	1176,0	1071,2	1590,7	1254,3	1090,8	1662,3
6	Цех сварки биметаллов	3400	70	10-100	0,8	0,8	0,75	2720	2040,0	3400,0	68	1	2720,0	2040,0	3400,0	2768,7	2052,2	3446,4
7	Цех новых материалов	2600	60	10-100	0,7	0,7	1,17	1820	2127,8	2800,0	52	1	1820,0	2127,8	2800,0	1836,9	2132,0	2814,2
8	Блок складов	700	35	5-46	0,3	0,6	1,33	210	280,0	350,0	30	1,27	266,7	280,0	386,7	269,3	280,6	388,9
9	Открытый склад	50	3	1-30	0,2	0,4	2,29	10	22,9	25,0	3	2,7	27,0	25,2	36,9	30,3	26,0	39,9
10	Автокомпрессорная станция																	
	10кВ (СД)	1700	4	425	0,9	0,9	0,48	1530	741,0	1700,0	4	1,08	1652,4	815,1	1842,5	1652,4	815,1	1842,5
	0,38 кВ	500	15	15-33	0,7	0,8	0,75	350	262,5	437,5	15	1,15	402,5	262,5	480,5	402,5	262,5	480,5
11	Штамповочный цех	700	42	5-36	0,7	0,8	0,88	490	432,1	653,3	39	1,1	539,0	432,1	690,8	550,1	434,9	701,2

Продолжение таблицы 2.1

№ цеха на плане	Наименование цеха	Силовая нагрузка						Расчетная нагрузка					Суммарная нагрузка			С учетом осветительной нагрузки		
		P _н , кВт	Кол-во ЭП	P _н , кВт	K _и	cosφ	tanφ	P _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	n _э	K _м	P, кВт	Q, кВар	S, кВА	P _о , кВт	Q _о , кВар	S _о , кВА
12	Очистные сооружения	1700	45	10-80	0,9	0,7	1,17	1530	1788,8	2353,8	43	1,05	1606,5	1788,8	2404,3	1611,5	1790,0	2408,5
13	Насосная ст. обратного водоснабжения	220	15	1-40	0,8	0,7	1,02	176	179,6	251,4	11	1,08	190,1	179,6	261,5	195,6	180,9	266,5
14	Станция противопожарного водоснабжения	480	25	3-43	0,6	0,7	1,02	288	293,8	411,4	22	1,2	345,6	293,8	453,6	348,5	294,5	456,3
15	РМЦ	440	20	1-50	0,7	0,8	0,88	308	271,6	410,7	18	1,16	357,3	271,6	448,8	391,3	280,1	481,2
16	Градирня №1	900	38	1-50	0,8	0,7	1,02	720	734,5	1028,6	36	1,13	813,6	734,5	1096,1	815,4	735,0	1097,7
17	Градирня №2	780	34	1-55	0,8	0,7	1,02	624	636,6	891,4	28	1,08	673,9	636,6	927,1	676,8	637,3	929,6
18	Столовая	200	20	1-20	0,4	0,5	1,73	80	138,6	160,0	20	1,24	99,2	138,6	170,4	103,3	139,6	173,6
	Итого по 0,4												12101,2	11363,6	16600,3	12419,5	11443,1	16887,5
	Итого по 10												1652,4	815,1	1842,5	1652,4	815,1	1842,5
	Итого по заводу												13753,6	12178,7	18370,7	14071,9	12258,2	18662,3

Таблица 2.2 – Данные для построения картограммы электрических нагрузок

№ на генплане	Наименование цеха	$P_{p.ос}, \text{ кВт}$	$P_p, \text{ кВт}$	$r, \text{ см}$	$\alpha, ^\circ$
1	Сборочный цех	87,4	625,6	2,66	50,3
2	Бытовые помещения	5,2	282,4	1,79	6,6
3	Заводоуправление	8,6	257,0	1,71	12,1
4	Механический цех	-	-	-	-
5	Опытно-экспериментальный цех	78,3	1254,3	3,77	22,5
6	Цех сварки биметаллов	48,7	2768,7	5,60	6,3
7	Цех новых материалов	16,9	1836,9	4,56	3,3
8	Блок складов	2,6	269,3	1,75	3,5
9	Открытый склад	3,3	30,3	0,59	38,9
10	Автокомпрессорная станция	9,0	2054,9	4,00	1,6
	10кВ (СД)	-	1652,4		
	0,38 кВ	-	402,5		
11	Штамповочный цех	11,1	550,1	2,50	7,3
12	Очистные сооружения	5,0	1611,5	4,27	1,1
13	Насосная ст. обратного водоснабжения	5,5	195,6	1,49	10,2
14	Станция противопожарного водоснабжения	2,9	348,5	1,99	3,0
15	РМЦ	34,0	391,3	2,11	31,3
16	Градирня №1	1,8	815,4	3,04	0,8
17	Градирня №2	2,8	676,8	2,77	1,5
18	Столовая	4,1	103,3	1,08	14,2

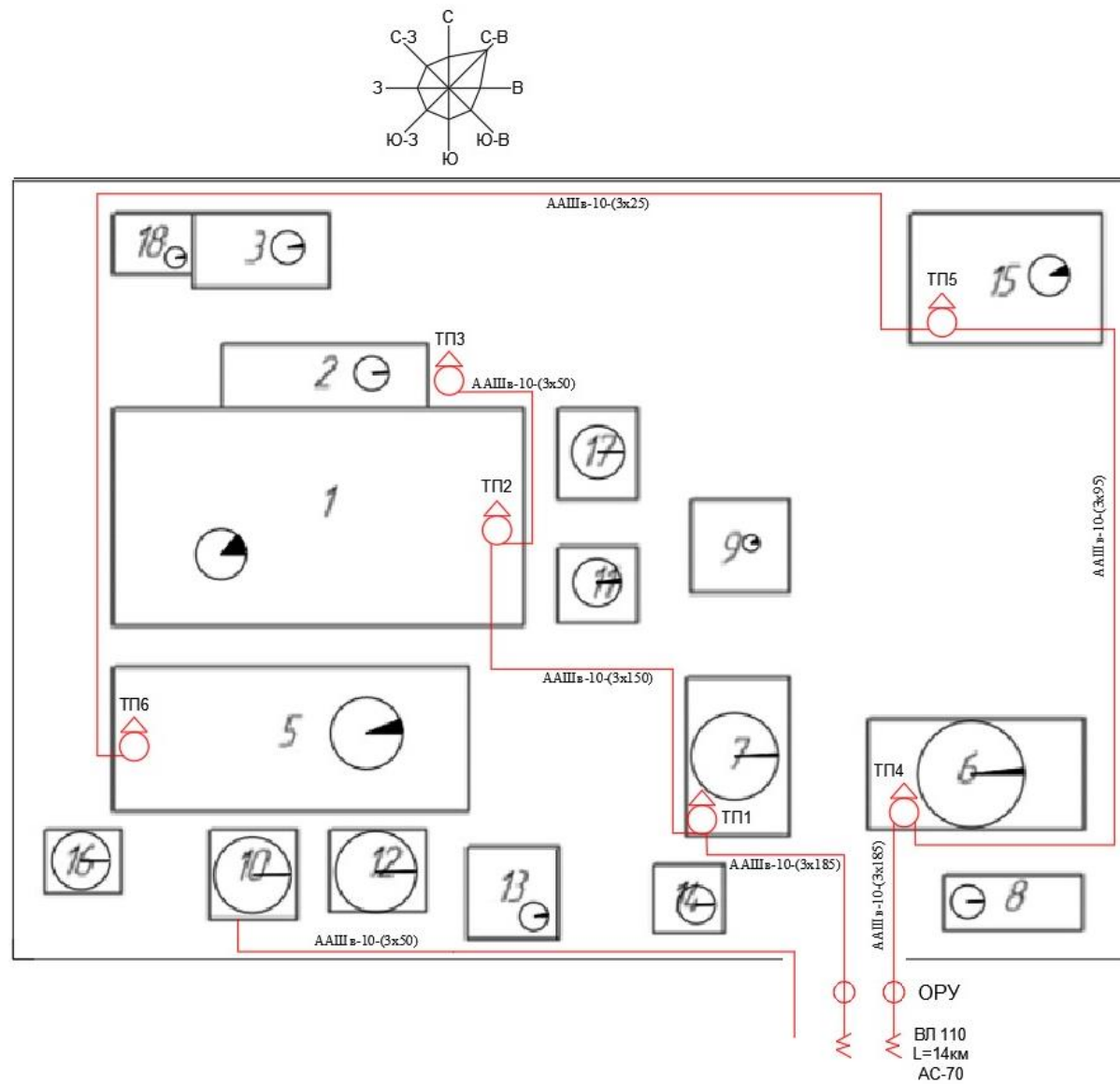


Рисунок 2.1 - Картограмма электрических нагрузок механического завода

2.1 Выбор числа цеховых трансформаторов и компенсация реактивной мощности

Учитывая полную компенсацию реактивной мощности на шинах 0,4 кВ найдем минимальное количество цеховых трансформаторов по формуле (2.4):

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{P_{p0,4}}{K_3 \times S_{\text{н.тр}}} + \Delta N \quad (2.4)$$

$$N_{\min \text{ тр}} = \frac{12419,5}{0,8 \times 1600} + 0,3 = 10$$

где $P_{p0,4}$ – определили из таблицы 2.1;

$K_3 = 0,8$, т. к. завод относится ко 2 категории потребителя;

$S_{\text{н.тр}}$ – принимаем 1600 кВА;

ΔN - добавка до ближайшего большего числа.

По справочным данным определим дополнительное число трансформаторов $m = 1$ [1]. Рассчитаем экономически оптимальное число трансформаторов по формуле (2.5):

$$N_{\text{эк. тр}} = N_{\min \text{ тр}} + m \quad (2.5)$$

$$N_{\text{эк. тр}} = 10 + 1 = 11$$

Определим наибольшую реактивную мощность, которую целесообразно передать через все 11 трансформаторов по формуле (2.6):

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(N_{\text{эк. тр}} \times S_{\text{н.тр}} \times K_3)^2 - P_{p0,4}^2}, \text{ квар} \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(11 \times 1600 \times 0,8)^2 - 12419,5^2} = 6633,4 \text{ квар.}$$

Отсюда по формуле (2.7) мощность НБК равна:

$$Q_{\text{НБК1}} = Q_{p0,4} - Q_{\text{т}}, \text{ квар} \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{НБК1}} = 11443,1 - 6633,4 = 4809,7 \text{ квар}$$

Определим по формуле (2.8) дополнительную мощность НБК по условию потерь:

$$Q_{\text{НБК2}} = Q_{\text{р0,4}} - Q_{\text{НБК1}} - \gamma \times N_{\text{эк.тр}} \times S_{\text{н.тр}}, \text{ квар} \quad (2.8)$$

$$Q_{\text{НБК2}} = 11443,1 - 4809,7 - 0,12 \times 11 \times 1600 = 4521,4 \text{ квар}$$

Расчетный коэффициент находим по справочным данным [1]. В первую очередь находим значение удельного коэффициента потерь К1 для Казахстана и 2 рабочих смен К1 = 16.

Далее определим значение коэффициента К2.

Выбираем коэффициент К2 равным 40, при длине питающей линии выше 2 км. После того как выбрали коэффициенты К1 и К2 выбираем коэффициент γ . Коэффициент γ будет равен числу 0,12. Найдем суммарную мощность НБК по формуле (2.9):

$$Q_{\text{НБК}\Sigma} = Q_{\text{НБК1}} + Q_{\text{НБК2}}, \text{ квар} \quad (2.9)$$

$$Q_{\text{НБК}\Sigma} = 4809,7 + 4521,4 = 9331,1 \text{ квар}$$

Определим мощность $Q_{\text{НБК}}$ на один трансформатор по формуле (2.10):

$$Q_{\text{НБК}} = \frac{Q_{\text{НБК}\Sigma}}{N_{\text{эк.тр}}}, \text{ квар} \quad (2.10)$$

$$Q_{\text{НБК}} = \frac{9331,1}{11} = 848,2 \text{ квар}$$

Выбираем к установке УKM 58-04-900-67УЗ в количестве 11 штук.

2.2 Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП

Определим коэффициент загрузки для ТП по формуле (2.11):

$$K'_3 = \frac{S_p}{n \times S_{\text{н.тр}}} \quad (2.11)$$

где n – число трансформаторов на ТП.

Некомпенсированную реактивную мощность на ТП определим по формуле (2.12):

$$Q_{\text{неском}} = Q_{\text{рТП}} + Q_{\text{фНБК ТП}}, \text{ квар} \quad (2.12)$$

Расчетные значения сведем в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Распределение низковольтных нагрузок по цеховым ТП

№ТП, S _{н.тр} , Q _{НБК}	№ цехов	P _{р0,4} , кВт	Q _{р0,4} , квар	S _{р0,4} , кВА	K _з
ТП1 ÷ ТП3 (6x1600) S _н = 9600 кВА	1	625,6	499,3	800,5	
	2	282,4	365,0	461,5	
	3	257,0	242,2	353,1	
	7	1836,9	2132,0	2814,2	
	8	269,3	280,6	388,9	
	9	30,3	26,0	39,9	
	10	402,5	262,5	480,5	
	11	550,1	434,9	701,2	
	12	1611,5	1790,0	2408,5	
	14	348,5	294,5	456,3	
	осв. тер 1/2	203,4	50,85	209,7	
		6417,5	6378,0		
			-5400,0		
Q _{НБК} = 6 x 900 квар		6417,5	978,0	6491,6	0,68
ТП4 ÷ ТП6 (5x1600) S _н = 8000 кВА	5	1254,3	1090,8	1662,3	
	6	2768,7	2052,2	3446,4	
	13	195,6	180,9	266,5	
	15	391,3	280,1	481,2	
	16	815,4	735,0	1097,7	
	17	676,8	637,3	929,6	
	18	103,3	139,6	173,6	
	осв. тер 1/2	203,4	50,85	209,7	
		6408,8	5166,8		
			-4500		
Q _{НБК} = 5 x 900 квар		6408,8	666,8	6443,4	0,72

2.3 Уточненное распределение Q_{НБК} по цеховым ТП

Распределим Q_{НБК} на реактивные нагрузки ТП. Запишем выражение (2.13):

$$\frac{Q_{р0,4}}{Q_{НБК}} = \frac{Q_{рТП}}{Q_{НБК\ ТП}}, \text{ квар} \quad (2.13)$$

Отсюда, получим выражение (2.14) для ТП1 ÷ ТП3:

$$Q_{p \text{ НБК ТП1} \div \text{ТП3}} = \frac{Q_{\text{НБК}} \times Q_{p \text{ ТП1} \div \text{ТП3}}}{Q_{p0,4}}, \text{ квар} \quad (2.14)$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП1} \div \text{ТП3}} = \frac{4809,7 \times 6378,0}{11443,1} = 2680,7 \text{ квар}$$

Для ТП4÷ТП6 запишем формулу (2.15):

$$Q_{p \text{ НБК ТП4} \div \text{ТП6}} = \frac{Q_{\text{НБК}} \times Q_{p \text{ ТП4} \div \text{ТП6}}}{Q_{p0,4}}, \text{ квар} \quad (2.15)$$

$$Q_{p \text{ НБК ТП4} \div \text{ТП6}} = \frac{4809,7 \times 5166,8}{11443,1} = 2171,68 \text{ квар}$$

Найдем $Q_{\text{нескомп}}$ для ТП1÷ТП3 по формуле (2.16):

$$Q_{\text{нескомп ТП1} \div \text{ТП3}} = Q_{p \text{ ТП}} - Q_{\phi}, \text{ квар} \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{нескомп ТП1} \div \text{ТП3}} = 6378,0 - 5400 = 978 \text{ квар}$$

Найдем $Q_{\text{нескомп}}$ для ТП4÷ТП6 по формуле (2.17):

$$Q_{\text{нескомп ТП4} \div \text{ТП6}} = Q_{p \text{ ТП}} - Q_{\phi}, \text{ квар} \quad (2.17)$$

$$Q_{\text{нескомп ТП4} \div \text{ТП6}} = 5166,8 - 4500 = 666,8 \text{ квар}$$

Расчетные значения сведем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 - Уточненное распределение $Q_{\text{НБК}}$ по ТП

№ТП	$Q_{p \text{ ТП}}$, квар	$Q_{p \text{ НБК}}$, квар	$Q_{\phi \text{ НБК по ТП}}$, квар	$Q_{\text{нескомп}}$, квар
ТП1÷ТП3	6378,0	2680,7	6x900=5400	978,0
ТП4÷ТП6	5166,8	2171,7	5x900=4500	666,8

3 Расчет высоковольтных нагрузок по заводу

Выберем тип синхронного двигателя в зависимости от заданной мощности и сведем паспортные данные в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Паспортные данные синхронного двигателя

Тип	Кол-во	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, кВ	Частота вращения, об/мин	cosφ	tgφ	Kз	КПД, %
СДК16-24УХЛ4	4,0	425	10	600	0,9	0,48	0,86	93,9

Посчитаем расчетную активную и реактивную мощности СД 10 кВ по формулам (3.1) и (3.2) соответственно.

$$P_{\text{РСД}} = P_{\text{НСД}} \times K_3 \times N_{\text{СД}}, \text{ кВт} \quad (3.1)$$

$$P_{\text{РСД}} = 425 \times 0,86 \times 4 = 1462 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{РСД}} = P_{\text{РСД}} \times \text{tg}\varphi, \text{ квар} \quad (3.2)$$

$$Q_{\text{РСД}} = 1462 \times 0,48 = 701,76 \text{ квар}$$

3.1 Уточненный расчет электрических нагрузок на шинах 10 кВ

Необходимо низковольтную нагрузку 0,4 кВ привести к шинам 10 кВ, для этого рассчитаем потери в цеховых трансформаторах. Выбираем трансформатор ТМ-1600/10. Паспортные данные трансформатора: $\Delta P_{\text{xx}} = 1,95 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{к.з.}} = 16,5 \text{ кВт}$; $i_{\text{xx}} = 0,5 \%$; $u_{\text{к.з.}} = 6 \%$.

Рассчитаем активные и реактивные потери мощности в понижающем трансформаторе для СД 10 кВ по формулам (3.3) и (3.4) соответственно:

$$\Delta P_{\text{ТСД}} = (\Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{к.з.}} \times K_3^2) \times N, \text{ кВт}, \quad (3.3)$$

$$\Delta P_{\text{ТСД}} = (1,95 + 16,5 \times 0,86^2) \times 4 = 49,7 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{ТСД}} = \left(\frac{i_{\text{xx}}}{100} \times S_{\text{н.т.}} + \frac{u_{\text{к.з.}}}{100} \times S_{\text{н.т.}} \times K_3^2 \right) \times N, \text{ квар} \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_{\text{ТСД}} = \left(\frac{0,5}{100} \times 1600 + \frac{6}{100} \times 1600 \times 0,86^2 \right) \times 4 = 316 \text{ квар}$$

Рассчитаем активные и реактивные потери мощности в цеховых ТП1÷ТП3 согласно формулам (3.3) и (3.4) соответственно: $K_3 = 0,68$; $N = 6$.

$$\Delta P_T = (1,95 + 16,5 \times 0,68^2) \times 6 = 57,4 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{0,5}{100} \times 1600 + \frac{6}{100} \times 1600 \times 0,68^2 \right) \times 6 = 314,3 \text{ квар}$$

Рассчитаем активные и реактивные потери мощности в цеховых ТП4÷ТП6 согласно формулам (3.3) и (3.4): $K_3 = 0,81$; $N = 5$.

$$\Delta P_T = (1,95 + 16,5 \times 0,81^2) \times 5 = 63,8 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = \left(\frac{0,5}{100} \times 1600 + \frac{6}{100} \times 1600 \times 0,81^2 \right) \times 5 = 355 \text{ квар}$$

Вычислим просуммированную активную и реактивную мощность потерь в цеховых ТП по формулам (3.5) и (3.6):

$$\sum \Delta P_T = \Delta P_{\text{ТП1÷ТП3}} + \Delta P_{\text{ТП4÷ТП6}} + \Delta P_{\text{ТСД}}, \text{ кВт}, \quad (3.5)$$

$$\sum \Delta P_T = 57,4 + 63,8 + 49,7 = 170,9 \text{ кВт}$$

$$\sum \Delta Q_T = \Delta Q_{\text{ТП1÷ТП3}} + \Delta Q_{\text{ТП4÷ТП6}} + \Delta Q_{\text{ТСД}}, \text{ квар} \quad (3.6)$$

$$\sum \Delta Q_T = 314,3 + 355 + 316 = 985,3 \text{ квар}$$

3.2 Расчет компенсации реактивной мощности на шинах выше 1 кВ

Составим уравнение баланса реактивной мощности (выражение 3.7) на шинах 10 кВ относительно $Q_{\text{ВБК}}$:

$$Q_{\text{ВБК}} = Q_{\text{р0,4}} + \sum \Delta Q_T + Q_{\text{РЕЗ}} - Q_{\text{Э}} - \sum Q_{\text{РСД}} - Q_{\text{НБК}} \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ВБК}} &= 11443,1 + 985,3 + 1344,6 - 3384,5 - 701,76 - 4809,7 = \\ &= 4877 \text{ квар} \end{aligned}$$

где Q_{Σ} - входная реактивная мощность задается энергосистемой как экономически оптимальная реактивная мощность, которая может быть передана предприятию в период наибольшей нагрузки энергосистемы, определяется по формуле (3.8);

$Q_{РЕЗ}$ - результирующая реактивная мощность, определяется по формуле (3.9).

$$Q_{\Sigma} = 0,24 \times (P_{p0,4} + \sum \Delta P_T + P_{РСД} + \Delta P_{ТСД}, \text{ квар} \quad (3.8)$$

$$Q_{\Sigma} = 0,24 \times (12419,5 + 170,9 + 1462 + 49,7) = 3384,5 \text{ квар}$$

$$Q_{РЕЗ} = 0,1 \times (Q_{p0,4} + \sum \Delta Q_T + \Delta Q_{ТСД} + Q_{РСД}), \text{ квар} \quad (3.9)$$

$$Q_{РЕЗ} = 0,1 \times (11443,1 + 985,3 + 316 + 701,76) = 1344,6 \text{ квар}$$

Выбираем по полученным результатам высоковольтные конденсаторные установки для компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ марки УКРМ-10,5-1350 УЗ в количестве 4 штук.

Заполним таблицу 3.2 уточненного расчета силовых нагрузок по механическому заводу.

Таблица 3.2 - Уточненный расчет силовых нагрузок по механическому заводу

№ТП	№ цехов	п	Р _{н.min-} Р _{н.max,} кВт	ΣР _{н,} кВт	К _и	Сред. мощн		пэ	К _м	Расчетные нагрузки			К _з
						Р _{см,} кВт	Q _{см,} квар			Р _{р,} кВт	Q _{р,} квар	S _{р,} кВА	
ТП1 ÷ ТП3 (6х1600 кВА)	1	35	10-27	780	0,63	468	477,5	281	1	5556 142,99 203,4 5902,39	6289,14 35,75 50,85 -5400 975,74	5982,5	0,62
	2	20	5-70	700		210	363,7						
	3	25	1-55	600		180	240,0						
	7	60	10-100	2600		1820	2127,8						
	8	35	5-46	700		210	280,0						
	9	3	1-30	50		10	22,9						
	10	15	15-33	500		350	262,5						
	11	42	5-36	700		490	432,1						
	12	45	10-80	1700		1530	1788,8						
	14	25	3-43	480		288	293,8						
	Силовая	305	1-100	8810		5556	6289,1						
	Осветительная												
	Освещение территории (1/2)												
	Q _{нбк}												
Итого по ТП1÷ТП3													
ТП4 ÷ ТП6 (5х1600 кВА)	5	47	8-65	1500		1050	1071,2						
	6	70	10-100	3400		2720	2040,0						
	13	15	1-40	220		176	179,6						
	15	20	1-50	440		308	271,6						
	16	38	1-50	900		720	734,5						
	17	34	1-55	780		624	636,6						
	18	20	1-20	200		80	138,6						

Продолжение таблицы 3.2

№ТП	№ цехов	п	Р _{н.мин} - Р _{н.мах} , кВт	ΣР _н , кВт	К _и	Сред. мощн		пэ	К _м	Расчетные нагрузки			К _з
						Р _{см} , кВт	Q _{см} , квар			Р _р , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА	
ТП4 ÷ ТП6 (5x1600 кВА) Силовая Осветительная Освещение территории (1/2) Q _{нбк} Итого по ТП4 ÷ ТП6		244	1-100	7440	0,76	5678	5072,1	227	1	5678 175,32 203,4 6056,72	5072,12 43,83 50,85 -4500 666,8	6093,3	0,76
Итого 0,4 кВ ΣΔР _т , ΣΔQ _т ΔР _{тсд} , ΔQ _{тсд} Итого 0,4 кВ к 10 кВ Автокомпрессорная станция (СД 10 кВ) ВБК Итого по заводу										11959,11 170,9 49,7 12179,71 1462 13641,71	1642,54 985,3 316 2943,84 -701,76 -5400 -3157,92	14002,5	

4 Сравнение вариантов внешнего электроснабжения

4.1 Первый вариант электроснабжения ЛЭП 110 кВ

Первый вариант схемы электроснабжения изображен на рисунке 4.1.

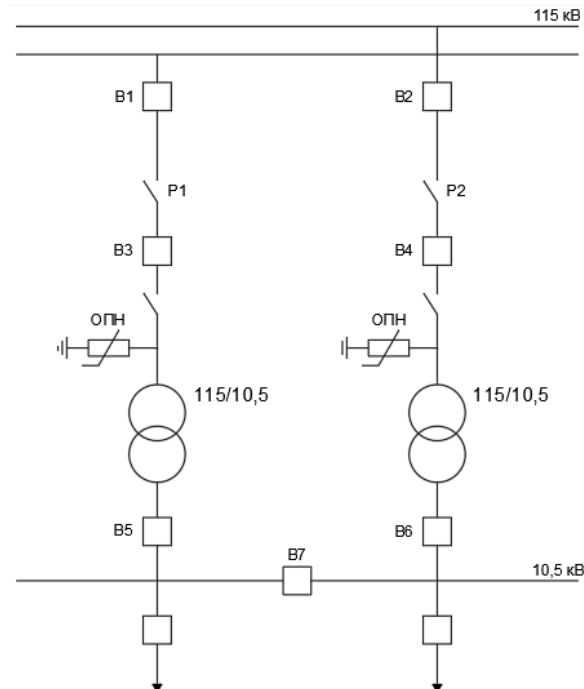


Рисунок 4.1 - Первый вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по I варианту:

Определим полную расчетную мощность ГПП $S_{p, ГПП}$ по формуле (4.1):

$$S_{p, ГПП} = \sqrt{P_p^2 + Q_{\Sigma}^2}, \text{ кВА} \quad (4.1)$$

$$S_{p, ГПП} = \sqrt{13641,71^2 + 3384,5^2} = 14055,28 \text{ кВА}$$

Вычислим коэффициент загрузки трансформаторов по формуле (4.2):

$$K_3 = \frac{S_{p, ГПП}}{2 \times S_{н.т.}} \quad (4.2)$$

$$K_3 = \frac{14055,28}{2 \times 10000} = 0,7$$

Выбираем трансформаторы ГПП: ТДН – 10000/110. Паспортные данные трансформатора: $U_{ВН} = 115 \text{ кВ}$; $U_{НН} = 10,5 \text{ кВ}$; $\Delta P_{xx} = 10 \text{ кВт}$; $\Delta P_{кз} =$

=58 кВт; $i_{xx} = 0,4 \%$; $u_{k3} = 10,5 \%$.

Определим потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ГПП по формулам (4.3) и (4.4):

$$\Delta P_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times (\Delta P_{xx} + \Delta P_{k3} \times K_3^2), \text{ кВт}, \quad (4.3)$$

$$\Delta P_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times (10 + 58 \times 0,7^2) = 76,84 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times \left(\frac{i_{xx}}{100} \times S_{\text{н.т.}} + \frac{u_{k3}}{100} \times S_{\text{н.т.}} \times K_3^2 \right), \text{ квар} \quad (4.4)$$

$$\Delta Q_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times \left(\frac{0,4}{100} \times 10000 + \frac{10,5}{100} \times 10000 \times 0,7^2 \right) = 1109 \text{ квар}$$

Определим потери электрической энергии в трансформаторах ГПП по формуле (4.5):

$$\Delta W_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times (\Delta P_{xx} \times T_{\text{вкл}} + \Delta P_{k3} \times \tau \times K_3^2), \text{ кВт} \times \text{ч} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{тр.ГПП}} &= 2 \times (10 \times 4000 + 58 \times 1574,8 \times 0,7^2) = \\ &= 169511,63 \text{ кВт} \times \text{ч} \end{aligned}$$

где $T_{\text{вкл}}$ – число часов включения, для двухсменной работы $T_{\text{вкл}} = 4000$ ч;

τ – число часов использования максимума потерь, зависит от числа часов использования максимума нагрузки (формула (4.6)).

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \times 8760, \text{ ч} \quad (4.6)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{3000}{10000} \right)^2 \times 8760 = 1574,8 \text{ ч}$$

где $T_m = 3000$ ч – число часов использования максимума.

Выбираем сечение проводов ЛЭП 110 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП по формуле (4.7):

$$S_{\text{рлэп}} = \sqrt{(P_p + \Delta P_{\text{тр.ГПП}})^2 + Q_3^2}, \text{ кВА} \quad (4.7)$$

$$S_{\text{рлэп}} = \sqrt{(13641,71 + 76,84)^2 + 3384,5^2} = 14129,87 \text{ кВА}$$

Определим расчетный ток, проходящий по одной линии ЛЭП 110 кВ по формуле (4.8), а ток аварийного режима по формуле (4.9):

$$I_{\text{РЛЭП}} = \frac{S_{\text{ЛЭП}}}{2 \times \sqrt{3} \times U_{\text{н}}}, \text{ А}, \quad (4.8)$$

$$I_{\text{РЛЭП}} = \frac{14129,87}{2 \times \sqrt{3} \times 115} = 35,47 \text{ А}$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \times I_{\text{РЛЭП}}, \text{ А}, \quad (4.9)$$

$$I_{\text{ав}} = 2 \times 35,47 = 70,94 \text{ А}$$

Определим сечение по экономической плотности тока по формуле (4.10):

Для определения $j_{\text{эк}}$ ссылаемся на справочные данные. Выбираем экономическую плотность тока для алюминиевых проводников, при $T_{\text{м}} = 3000 \text{ ч}$, $j_{\text{эк}} = 1,3$ [7].

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{РЛЭП}}}{j_{\text{ЭК}}}, \text{ мм}^2 \quad (4.10)$$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{35,47}{1,3} = 27,3 \text{ мм}^2$$

Принимаем АС–70 с $I_{\text{доп}} = 210 \text{ А}$ по условиям коронирования. Удельное сопротивление $r_0 = 0,46 \text{ мОм/м}$; $x_0 = 0,34 \text{ мОм/м}$.

Капитальные вложения в ЛЭП (одноцепная, стальные опоры): $K_{\text{ЛЭП}} = 2,5 \text{ млн.тг. /км}$.

Проверим выбранные провода по допустимому току.

При расчетном токе (выражение 4.11):

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{раб}}, [210 \text{ А} > 35,47 \text{ А}]. \quad (4.11)$$

При аварийном режиме (выражение 4.12):

$$1,3 \times I_{\text{доп. ав.}} \geq I_{\text{ав}}, [273 \text{ А} > 70,94 \text{ А}]. \quad (4.12)$$

Рассчитаем потери ЭЭ в ЛЭП по формуле (4.13):

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \times (3 \times I_{\text{РЛЭП}}^2 \times R_{\text{ЛЭП}} \times 10^{-3} \times \tau), \text{ МВт} \times \text{ч}, \quad (4.13)$$

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = 2 \times (3 \times 35,47^2 \times 6,44 \times 10^{-3} \times 1574,8) = 76,56 \text{ МВт} \times \text{ч}$$

где $R_{\text{ЛЭП}}$ – активное сопротивление линии ЛЭП (формула 4.14):

$$R_{\text{ЛЭП}} = r_0 \times l, \text{ Ом}, \quad (4.14)$$

$$R_{\text{ЛЭП}} = 0,46 \times 14 = 6,44 \text{ Ом}$$

4.1.1 Расчет токов КЗ ЛЭП 110 кВ

$S_6 = 1000 \text{ МВА}$; $U_6 = 115 \text{ кВ}$. Схема замещения для расчета токов КЗ на ЛЭП 110 кВ в точках К1 и К2 показана на рисунке 4.2.

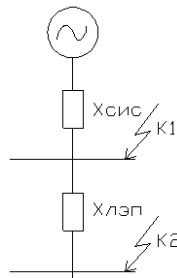


Рисунок 4.2 - Схема замещения для расчета токов КЗ в точках К1 и К2

Определим сопротивление системы по формуле (4.15):

$$X_{\text{сис}} = \frac{S_6}{S_{\text{к.з.}}}, \text{ о. е.} \quad (4.15)$$

$$X_{\text{сис}} = \frac{1000}{950} = 1,05 \text{ о. е.}$$

Определим базисный ток по формуле (4.16):

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \times U_6}, \text{ кА} \quad (4.16)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 115} = 5 \text{ кА}$$

Определим трехфазный ток к.з. в точке К1 по формуле (4.17):

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{I_6}{X_{\text{сис}}}, \text{ кА} \quad (4.17)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{5}{1,05} = 4,76 \text{ кА}$$

Определим ударный ток в точке К1 по формуле (4.18):

$$I_{удк1} = \sqrt{2} \times K_{уд} \times I_{к1}^{(3)}, \text{ кА} \quad (4.18)$$

$$I_{удк1} = \sqrt{2} \times 1,7 \times 4,76 = 11,33 \text{ кА}$$

где $K_{уд}$ – ударный коэффициент для системы 110 кВ.

Определим сопротивление ЛЭП по формуле (4.19):

$$X_{ЛЭП} = x_0 \times l \times \frac{S_6}{U_6^2}, \text{ о. е} \quad (4.19)$$

$$X_{ЛЭП} = 0,34 \times 14 \times \frac{1000}{115^2} = 0,36 \text{ о. е}$$

Определим трехфазный ток КЗ в точке К2 по формуле (4.20):

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{I_6}{X_c + X_{ЛЭП}}, \text{ кА} \quad (4.20)$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{5}{1,05 + 0,36} = 3,54 \text{ кА}$$

Определим ударный ток в точке К2 по формуле (4.21):

$$I_{удк2} = \sqrt{2} \times K_{уд} \times I_{к2}^{(3)}, \text{ кА} \quad (4.21)$$

$$I_{удк2} = \sqrt{2} \times 1,7 \times 3,54 = 8,43 \text{ кА}$$

4.1.2 Выбор оборудования на 110 кВ

Выключатели В1 и В2:

Выбираем выключатель типа ВГТ-110 (У1, УХЛ1). Стоимость 9 млн. тг.

Паспортные данные выключателя: $I_n = 630 \text{ А}$, $I_{отк} = 20 \text{ кА}$, $I_{дин} = 52 \text{ кА}$.

$$\begin{aligned} U_n &\geq U_{н.с.} [110 \geq 110 \text{ кВ}]; \\ I_n &\geq I_{авар.} [630 \geq 70,94 \text{ А}]; \\ I_{дин.} &\geq I_{уд.к1} [52 \geq 11,33 \text{ кА}]; \end{aligned}$$

Выключатели В3 и В4 выбираем аналогично.

Разъединители Р1, Р2: $I_{р.лэп} = 35,47 \text{ А}$; $I_{авар.лэп} = 70,94 \text{ А}$.

Выбираем разъединители типа: РНД(3) - 110/630Т1. Стоимость 150 тыс. тг.

Паспортные данные разъединителя: $I_n = 630 \text{ А}$, $I_{дин} = 100 \text{ кА}$, $I_{терм} = 40 \text{ кА}$.

$$\begin{aligned}U_{н.раз.} &\geq U_{н.с.} [110 \geq 110 \text{ кВ}]; \\I_{н.сис.} &\geq I_{авар.лэп} [630 \geq 70,94 \text{ А}]; \\I_{дин.} &\geq I_{уд.к2} [100 \geq 8,43 \text{ кА}]; \\I_{тер.} &\geq I_{к2} [40 \geq 3,54 \text{ кА}].\end{aligned}$$

Выбираем ограничители перенапряжения типа ОПН-110 УХЛ1. Стоимость 120 тыс. тг.

4.1.3 Определение капитальных затрат на выбранное оборудование

Определим капитальные затраты на ЛЭП по формуле (4.22):

$$K_{ЛЭП110} = l \times K_{лэп}, \text{ тыс. тг.} \quad (4.22)$$

$$K_{ЛЭП110} = 14 \times 2,5 \text{ млн. тг.} = 35 \text{ млн. тг.}$$

Определим капитальные затраты на выключатели В1, В2 и В3, В4 по формуле (4.23):

$$K_{В1,В2,В3,В4} = n \times K_{В}, \text{ тыс. тг.} \quad (4.23)$$

$$K_{В1,В2,В3,В4} = 4 \times 9 \text{ млн. тг.} = 36 \text{ млн. тг.}$$

Определим капитальные затраты на разъединители Р1 и Р2 по формуле (4.24):

$$K_{Р1,Р2} = n \times K_{р}, \text{ тыс. тг.} \quad (4.24)$$

$$K_{Р1,Р2} = 2 \times 150 \text{ тыс. тг.} = 300 \text{ тыс. тг.}$$

Определим капитальные затраты на ограничители перенапряжения ОПН по формуле (4.25):

$$K_{ОПН1,2} = n \times K_{опн}, \text{ тыс. тг.} \quad (4.25)$$

$$K_{ОПН1,2} = 2 \times 120 \text{ тыс. тг.} = 240 \text{ тыс. тг.}$$

Определим капитальные затраты на трансформаторы (2 шт.) по формуле (4.26):

$$K_{\text{тр.ГПП}} = n \times K_{\text{тр.}}, \text{ тыс. тг.} \quad (4.26)$$

$$K_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times 65 \text{ млн. тг.} = 130 \text{ млн. тг.}$$

Определим суммарные капитальные вложения на оборудование по формуле (4.27):

$$\sum K = K_{\text{ЛЭП110}} + K_{\text{В1,В2,В3,В4}} + K_{\text{Р1,Р2}} + K_{\text{тр.ГПП}} + K_{\text{ОПН1,2}}, \text{ млн. тг.} \quad (4.27)$$

$$\sum K = 35 + 36 + 0,3 + 130 + 0,24 = 201,54 \text{ млн. тг.}$$

Определение годовых издержек производства:

Рассчитаем амортизационные издержки на ЛЭП и оборудование по формуле (4.28):

$$U_a = E_a \times K, \text{ тыс. тг.} \quad (4.28)$$

$$U_{a\text{ЛЭП}} = 0,028 \times 35 = 980 \text{ тыс. тг.}$$

$$U_{a\text{обор}} = 0,063 \times 166,54 = 10,5 \text{ млн. тг.}$$

где E_a – норматив амортизации.

Рассчитаем издержки на эксплуатацию по формуле (4.29):

$$U_{\text{э}} = E_{\text{э}} \times K, \text{ тыс. тг.} \quad (4.29)$$

$$U_{\text{эЛЭП}} = 0,004 \times 35 = 140 \text{ тыс. тг.}$$

$$U_{\text{эобор}} = 0,03 \times 166,54 = 5 \text{ млн. тг.}$$

где $E_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатационных затрат.

Рассчитаем издержки на потерю электроэнергии по формуле (4.30):

$$U_{\Pi} = C_0 \times (\Delta W_{\text{ТГПП}} + \Delta W_{\text{ЛЭП110}}), \text{ тыс. тг.} \quad (4.30)$$

$$U_{\Pi} = 4 \times (169511,63 + 76557) = 984 \text{ тыс. тг.}$$

где C_0 - стоимость потерь электроэнергии, $C_0 = 4 \text{ тг/кВт} \times \text{ч.}$

Рассчитаем суммарные издержки по формуле (4.31):

$$\Sigma U = U_{алэп} + U_{аобор} + U_{элэп} + U_{эобор} + U_{п}, \text{ млн. тг.} \quad (4.31)$$

$$\Sigma U = 0,98 + 10,5 + 0,14 + 5 + 0,984 = 17,6 \text{ млн. тг.}$$

Рассчитаем суммарные затраты по 1 варианту электроснабжения по формуле (4.32):

$$З_1 = E \times K + U, \text{ млн. тг.} \quad (4.32)$$

$$З_1 = 0,15 \times 201,54 + 17,6 = 47,83 \text{ млн. тг.}$$

где $E = 0,15$ - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

4.2 Второй вариант электроснабжения ЛЭП 35 кВ

Второй вариант схемы электроснабжения изображен на рисунке 4.3.

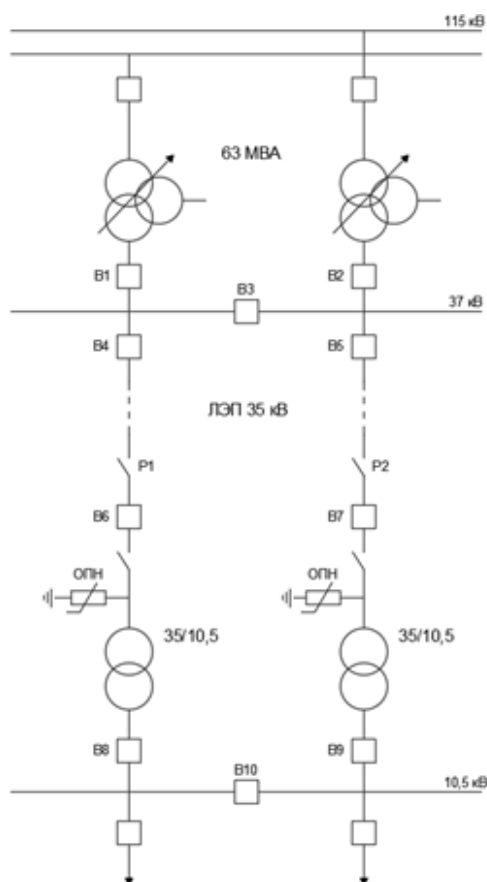


Рисунок 4.3 - Второй вариант схемы электроснабжения

Выбираем электрооборудование по II варианту:

Выбираем трансформаторы ГПП. Расчет полной мощности ГПП согласно формуле (4.1):

$$S_{p\text{ГПП}} = \sqrt{13641,71^2 + 3384,5^2} = 14055,28 \text{ кВА}$$

Выбираем два трансформатора мощностью 10000 кВА. Коэффициент загрузки согласно формуле (4.2):

$$K_3 = \frac{14055,28}{2 \times 10000} = 0,7$$

Принимаем 2 трансформатора 2×10000 кВА, типа ТДНС-10000/35.

Паспортные данные трансформатора: $U_{ВН} = 37 \text{ кВ}$; $U_{НН} = 10,5 \text{ кВ}$; $\Delta P_{xx} = 8,5 \text{ кВт}$; $\Delta P_{кз} = 60 \text{ кВт}$; $i_{xx} = 0,3 \%$; $u_{кз} = 8 \%$.

Капитальные вложения в 1 трансформатор 50 млн.тг.

Расчет потерь активной и реактивной мощности в трансформаторах ГПП согласно формулам (4.3) и (4.4):

$$\Delta P_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times (8,5 + 60 \times 0,7^2) = 75,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times \left(\frac{0,3}{100} \times 10000 + \frac{8}{100} \times 10000 \times 0,7^2 \right) = 844 \text{ квар}$$

Расчет потерь электрической энергии в трансформаторах ГПП согласно формуле (4.5):

$$\Delta W_{\text{тр.ГПП}} = 2 \times (8,5 \times 4000 + 60 \times 1574,8 \times 0,7^2) = 160598,24 \text{ кВт} \times \text{ч}$$

Выбираем сечение проводов ЛЭП 35 кВ:

Определим мощность, проходящую по ЛЭП 35 кВ согласно формуле (4.7):

$$S_{\text{рЛЭП}} = \sqrt{(13641,71 + 75,8)^2 + 3384,5^2} = 14128,9 \text{ кВА}$$

Расчет рабочего тока согласно формуле (4.8):

$$I_{\text{рЛЭП}} = \frac{14128,9}{2 \times \sqrt{3} \times 37} = 110,4 \text{ А}$$

Расчет аварийного тока согласно формуле (4.9):

$$I_{\text{ав}} = 2 \times 110,4 = 220,8 \text{ А}$$

Определим сечение по экономической плотности тока:

Расчет сечения по экономической плотности тока согласно формуле (4.10):

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{110,4}{1,3} = 85 \text{ мм}^2$$

Принимаем АС–95 с $I_{\text{доп}} = 260 \text{ А}$. Удельное сопротивление $r_0 = 0,33 \text{ мОм/м}$; $x_0 = 0,234 \text{ мОм/м}$.

Капитальные вложения в ЛЭП (одноцепная, стальные опоры): $K_{\text{ЛЭП}} = 2,5 \text{ млн. тг. /км}$.

Проверим по пропускной способности:

$$\begin{aligned} I_{\text{доп}} &\geq I_{\text{раб}}, [260 \text{ А} > 110,4 \text{ А}]; \\ I_{\text{доп}} &\geq I_{\text{ав}} [260 \text{ А} > 220,8 \text{ А}]; \\ 1,3 \times I_{\text{доп}} &\geq I_{\text{ав}} [338 \text{ А} > 220,8 \text{ А}]. \end{aligned}$$

Рассчитаем потери ЭЭ в ЛЭП:

Сопротивление ЛЭП согласно формуле (4.14):

$$R_{\text{ЛЭП}} = 0,33 \times 14 = 4,62 \text{ Ом}$$

Потери в ЛЭП согласно формуле (4.13):

$$\Delta W_{\text{ЛЭП}} = \left(3 \times 110,4^2 \times \frac{4,62}{2} \times 10^{-3} \times 1574,8 \right) = 133 \text{ МВт} \times \text{ч}$$

Выпишем паспортные данные трансформаторов энергосистемы ТДТН-63000/110/35/10,5:

$U_{\text{ВН}} = 115 \text{ кВ}$; $U_{\text{СН}} = 37 \text{ кВ}$; $U_{\text{НН}} = 10,5 \text{ кВ}$; $\Delta P_{\text{xx}} = 53 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{кз}} = 290 \text{ кВт}$; $i_{\text{xx}} = 0,55 \%$; $u_{\text{кВ-Н}} = 18 \%$; $u_{\text{кС-Н}} = 7 \%$; $u_{\text{кВ-С}} = 10,5 \%$.

Капитальные вложения в 1 трансформатор 70 млн. тг.

Найдем γ_1 - коэффициент долевого участия проектируемого завода в мощности трансформаторов энергосистемы по формуле (4.33):

$$\gamma_1 = \frac{S_{\text{ргпп}}}{2 \times S_{\text{н.т.}}} \quad (4.33)$$

$$\gamma_1 = \frac{14055,28}{2 \times 63000} = 0,11$$

Найдем потери электроэнергии в трансформаторах энергосистемы по формуле (4.34):

$$\Delta W_{\text{тр.ЭС}} = 2 \times (\Delta P_{\text{хх}} \times T_{\text{вкл}} + \Delta P_{\text{кз}} \times \tau \times \gamma_1^2), \text{ кВт} \times \text{ч}, \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{тр.ЭС}} &= 2 \times (53 \times 4000 + 290 \times 1574,8 \times 0,11^2) = \\ &= 435,52 \text{ кВт} \times \text{ч} \end{aligned}$$

Долевым участием в потерях ΔP и ΔQ в трансформаторах энергосистемы пренебрегаем.

4.2.1 Расчет токов КЗ ЛЭП 35 кВ

Схема замещения для расчета токов КЗ на ЛЭП 35 кВ в точках К1 и К2 представлена на рисунке 4.4.

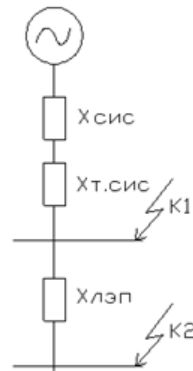


Рисунок 4.4 - Схема замещения для расчета токов КЗ в точках К1 и К2

$S_6 = 1000 \text{ МВА}$; $U_6 = 37 \text{ кВ}$. Расчет базисного тока согласно формуле (4.16):

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 37} = 15,6 \text{ кА}$$

Определим сопротивление системы согласно формуле (4.15):

$$X_{\text{сис}} = \frac{1000}{950} = 1,05 \text{ о. е.}$$

Определим сопротивление трансформатора по формуле (4.35):

$$X_{\text{т.сис}} = \frac{U_{\text{кв-с}}}{100} \times \frac{S_6}{S_{\text{н.т.}}}, \text{ о. е.} \quad (4.35)$$

$$X_{\text{т.сис}} = \frac{10,5}{100} \times \frac{1000}{63} = 1,7 \text{ о. е.}$$

Определим трехфазный ток КЗ в точке К1 по формуле (4.36):

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{I_6}{X_{сис} + X_{т.сис}}, \text{ кА} \quad (4.36)$$

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{15,6}{1,05 + 1,7} = 5,67 \text{ кА}$$

Определим ударный ток в точке К1 согласно формуле (4.18):

$$I_{удк1} = \sqrt{2} \times 1,6 \times 5,67 = 12,7 \text{ кА}$$

где 1,6 – $K_{уд}$ – ударный коэффициент для системы 35 кВ.

Определим сопротивление ЛЭП согласно формуле (4.19):

$$X_{ЛЭП} = 0,234 \times 14 \times \frac{1000}{37^2} = 2,4 \text{ о. е}$$

Определим трехфазный ток КЗ в точке К2 по формуле (4.37):

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{I_6}{X_{сис} + X_{т.сис} + X_{ЛЭП}}, \text{ кА} \quad (4.37)$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{15,6}{1,05 + 1,7 + 2,4} = 3,03 \text{ кА}$$

Определим ударный ток в точке К2 согласно формуле (4.21):

$$I_{удк2} = \sqrt{2} \times 1,6 \times 3,03 = 6,8 \text{ кА}$$

4.2.2 Выбор оборудования на 35 кВ

Выключатели В1, В2 выбираем по аварийному току трансформаторов системы. Принимаем, что мощность по двум вторичным обмоткам трансформатора распределена поровну – по 50%, т. е. $2 \times 31,5 = 63$ МВА. Найдем ток, проходящий через выключатели В1 и В2 по формуле (4.38):

$$I_{ав В1;В2} = \frac{S_{ав.тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А} \quad (4.38)$$

$$I_{ав В1;В2} = \frac{63}{\sqrt{3} \times 37} = 983 \text{ А}$$

Выбираем выключатели В1, В2 типа ВГБ-35-12,5-1000.
Капитальные вложения в 1 выключатель 8 млн. тг.

$$U_{н.} \geq U_{н.с.} [35 \geq 35 \text{ кВ}];$$

$$I_{н.} \geq I_{аврсист.} [1000 \geq 983 \text{ А}];$$

$$I_{дин.} \geq I_{уд.кл} [35 \geq 12,7 \text{ кА}];$$

$$I_{отк.} \geq I_{кл} [12,5 \geq 5,67 \text{ кА}].$$

Найдем ток, проходящий через секционный выключатель В3 по формуле (4.39):

$$I_{В3} = \frac{I_{ав}}{2}, \text{ А} \quad (4.39)$$

$$I_{В3} = \frac{983}{2} = 491,5 \text{ А}$$

Выбираем секционный выключатель В3 и выключатели В4, В5, В6, В7 аналогично выключателям В1 и В2.

Вычислим долевое участие выключателей В1, В2 в мощности проектируемого завода по формуле (4.40), а выключателя В3 по формуле (4.41):

$$\gamma_2 = \frac{I_{ав.лэп}}{I_{н.В1,В2}}, \quad (4.40)$$

$$\gamma_2 = \frac{220,8}{1000} = 0,221$$

$$\gamma_3 = \frac{I_{р.лэп}}{I_{н.В3}} \quad (4.41)$$

$$\gamma_3 = \frac{110,4}{1000} = 0,11$$

Выбираем разъединители Р1, Р2 типа РНД-35/1000У1.
Капитальные вложения в 1 разъединитель 120 тыс. тг.

$$U_{н.} \geq U_{н.с.} [35 \geq 35 \text{ кВ}];$$

$$I_{н.} \geq I_{автрсист.} [1000 \geq 220,8 \text{ A}];$$

$$I_{дин.} \geq I_{уд.кл} [63 \geq 6,8 \text{ кА}];$$

$$I_{отк.} \geq I_{кл} [25 \geq 3,03 \text{ кА}].$$

Выберем ограничители перенапряжения: ОПНп-35/400/40,5-10 УХЛ1.
Капитальные вложения в один ОПН 200 тыс. тг.

4.2.3 Определение капитальных затрат на выбранное оборудование

Согласно формуле (4.26), определяем капитальные затраты на трансформаторы ГПП:

$$K_{тр.ГПП} = 2 \times 50 \text{ млн. тг.} = 100 \text{ млн. тг.}$$

Согласно формуле (4.22), определяем капитальные затраты на ЛЭП 35 кВ:

$$K_{ЛЭП35} = 14 \times 2,5 \text{ млн. тг.} = 35 \text{ млн. тг.}$$

Согласно формуле (4.23), определяем капитальные затраты на выключатели В4, В5, В6, В7:

$$K_{В4,В5,В6,В7} = 4 \times 8 \text{ млн. тг} = 32 \text{ млн. тг.}$$

По формуле (4.42), определяем капитальные затраты на выключатели В1, В2:

$$K_{В1,В2} = \gamma_2 \times 2 \times K_{В1,В2}, \text{ млн. тг.} \quad (4.42)$$

$$K_{В1,В2} = 0,221 \times 2 \times 8 = 3,5 \text{ млн. тг.}$$

По формуле (4.43), определяем капитальные затраты на секционный выключатель В3:

$$K_{В3} = \gamma_3 \times K_{В3}, \text{ млн. тг.} \quad (4.43)$$

$$K_{В3} = 0,11 \times 8 = 0,88 \text{ млн. тг.}$$

Согласно формуле (4.24), определяем капитальные затраты на разъединители Р1, Р2:

$$K_{Р1,Р2} = 2 \times 120 = 240 \text{ тыс. тг.}$$

Согласно формуле (4.25), определяем капитальные затраты на ограничители перенапряжения:

$$K_{\text{ОПН1,2}} = 2 \times 200 \text{ тыс. тг.} = 400 \text{ тыс. тг.}$$

По формуле (4.44), определяем капитальные затраты на трансформаторы системы:

$$K_{\text{тр.сис}} = \gamma_1 \times 2 \times K_{\text{тр}}, \text{ млн. тг.} \quad (4.44)$$

$$K_{\text{тр.сис}} = 0,11 \times 2 \times 70 = 15,4 \text{ млн. тг.}$$

Определим суммарные капитальные вложения на оборудование по формуле (4.45):

$$\begin{aligned} \sum K = K_{\text{тр.гпп}} + K_{\text{ЛЭП35}} + K_{\text{тр.сис.}} + K_{\text{В1,В2}} + K_{\text{В3}} + K_{\text{В4,В5,В6,В7}} + \\ + K_{\text{Р1,Р2}} + K_{\text{ОПН1,2}}, \text{ млн. тг.} \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$\begin{aligned} \sum K = 100 + 35 + 15,4 + 3,5 + 0,88 + 32 + \\ + 0,24 + 0,4 = 187,42 \text{ млн. тг.} \end{aligned}$$

Определение годовых издержек производства:

Расчет амортизационных издержек согласно формуле (4.28):

$$U_{\text{алЭП}} = 0,028 \times 35 = 0,98 \text{ млн. тг.}$$

$$U_{\text{аобор}} = 0,063 \times 152,42 = 9,6 \text{ млн. тг.}$$

Расчет издержек на эксплуатацию согласно формуле (4.29):

$$U_{\text{элЭП}} = 0,004 \times 35 = 0,14 \text{ млн. тг.}$$

$$U_{\text{эобор}} = 0,03 \times 152,42 = 4,57 \text{ млн. тг.}$$

Рассчитаем издержки на потерю электроэнергии по формуле (4.46):

$$U_{\Pi} = C_0 \times (\Delta W_{\text{трГПП}} + \Delta W_{\text{ЛЭП35}} + \Delta W_{\text{тр.ЭС}}), \text{ млн. тг.} \quad (4.46)$$

$$U_{\Pi} = 4 \times (160598,24 + 532055,3 + 435,52) = 2,77 \text{ млн. тг.}$$

Расчет суммарных издержек согласно формуле (4.31):

$$\Sigma U = 0,98 + 9,6 + 0,14 + 4,57 + 2,77 = 18,06 \text{ млн. тг.}$$

Расчет суммарных затрат по 2 варианту согласно формуле (4.32):

$$З_2 = 0,15 \times 187,42 + 18,06 = 46,17 \text{ млн. тг}$$

4.3 Сравнение вариантов электроснабжения

Составим сравнительную таблицу по первому и второму вариантам электроснабжения (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Сравнение первого и второго вариантов электроснабжения

Вариант электроснабжения	U _н , кВ	ΣК, млн.тг.	ΣИ, млн.тг.	З, млн.тг.
1	110	201,54	17,6	47,83
2	35	187,42	18,06	46,17

Вывод: при сравнении 1 и 2 вариантов видно, что затраты в 1 варианте электроснабжения незначительно больше, но для дальнейшего расчета выгоднее будет использовать 1 вариант электроснабжения, так как в нем годовые потери в ЛЭП минимальны и при 110 кВ потери напряжения меньше.

5 Выбор оборудования и расчет токов КЗ на стороне 10 кВ

5.1 Расчет токов КЗ (U=10,5 кВ)

Составим схему замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ (рисунок 5.1).

Токи КЗ в точках К₁ и К₂ рассчитаны выше по формулам (4.17) и (4.20) соответственно. $I_{к1}^{(3)} = 4,76$ кА; $I_{удк1} = 11,33$ кА; $I_{к2}^{(3)} = 3,54$ кА; $I_{удк2} = 8,43$ кА.

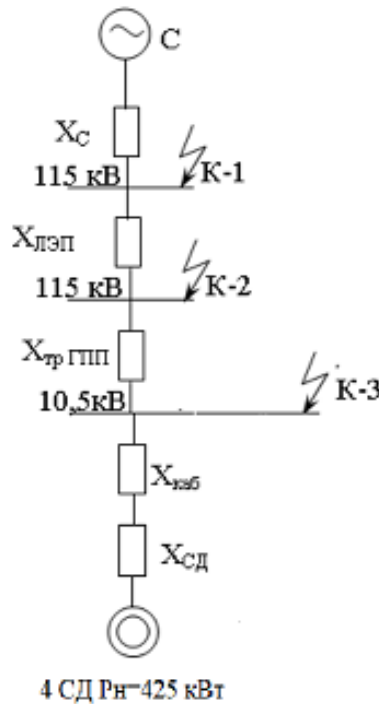


Рисунок 5.1 - Схема замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ

$S_6 = 1000$ МВА; $X_{сис} = 1,05$ о.е.; $U_6 = 10,5$ кВ. Определим базисный ток для точки К₃ согласно формуле (4.16):

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \times 10,5} = 54,99 \text{ кА}$$

Расчет сопротивления ЛЭП согласно формуле (4.19):

$$X_{лэп} = 0,34 \times 14 \times \frac{1000}{115^2} = 0,36 \text{ о.е}$$

Определим сопротивление трансформатора ГПП по формуле (5.1):

$$X_{тр.ГПП} = \frac{U_{кз} \times S_6}{100 \times S_{нт}}, \text{ о. е.} \quad (5.1)$$

$$X_{\text{тр.ГПП}} = \frac{10,5 \times 1000}{100 \times 10} = 10,5 \text{ о. е.}$$

Определим ток КЗ в точке К₃ на шине 10 кВ по формуле (5.2):

$$I_{\text{кЗ}}^{(3)} = \frac{I_6}{X_{\text{сис}} + X_{\text{ЛЭП}} + X_{\text{тр.ГПП}}}, \text{ А} \quad (5.2)$$

$$I_{\text{кЗ}}^{(3)} = \frac{54,99}{1,05 + 0,36 + 10,5} = 4,6 \text{ кА}$$

Определим ударный ток в точке КЗ согласно формуле (4.18):

$$I_{\text{удкЗ}} = \sqrt{2} \times 1,7 \times 4,6 = 11,06 \text{ кА} \quad (4.18)$$

5.2 Выбор выключателей

Выбираем вводные и секционный выключатели на стороне 10 кВ. Выбор произведем по полной расчетной мощности завода: $S_{\text{р.завода}} = 14002,5 \text{ кВА}$. Расчет рабочего тока согласно формуле (4.8):

$$I_{\text{р.завода}} = \frac{14002,5}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 385 \text{ А}$$

Расчет аварийного тока согласно формуле (4.9):

$$I_{\text{ав}} = 2 \times 385 = 770 \text{ А}$$

Принимаем вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000.

Таблица 5.1 – Технические параметры вводных выключателей

Паспортные характеристики	Расчетные данные
$U_{\text{н}} = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_{\text{н}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ав}} = 770 \text{ А}$
$I_{\text{откл}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{кЗ}} = 5,18 \text{ кА}$
$I_{\text{терм}} = 51 \text{ кА}$	$I_{\text{кЗ}} = 5,18 \text{ кА}$
$I_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$	$I_{\text{у}} = 12,45 \text{ кА}$

Секционный выключатель: сквозь секционный выключатель проходит мощность, вдвое меньше, проходящей через вводные выключатели. Отсюда,

расчетный ток, проходящий через выключатель: $I_{p.завода} = 385 \text{ А}$. Примем вакуумный выключатель ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630.

Таблица 5.2 – Технические параметры секционного выключателя

Паспортные характеристики	Расчетные данные
$U_H = 10,5 \text{ кВ}$	$U = 10,5 \text{ кВ}$
$I_H = 630 \text{ А}$	$I_p = 385 \text{ А}$
$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,18 \text{ кА}$
$I_{терм} = 20 \text{ кА}$	$I_{кз} = 5,18 \text{ кА}$
$I_{дин} = 51 \text{ кА}$	$I_y = 12,45 \text{ кА}$

Магистраль ГПП – ТП1÷ТП3:

Определим полную расчетную мощность по формуле (5.3):

$$S_p = \sqrt{(P_p + \Delta P_T)^2 + (Q_p + \Delta Q_T)^2}, \text{ кВА} \quad (5.3)$$

$$S_p = \sqrt{(5902,39 + 57,4)^2 + (975,74 + 314,3)^2} = 6097,8 \text{ кВА}$$

Расчет рабочего тока согласно формуле (4.8):

$$I_p = \frac{6097,8}{2 \times \sqrt{3} \times 10,5} = 167,84 \text{ А}$$

Расчет аварийного тока согласно формуле (4.9):

$$I_{ав} = 2 \times 167,84 = 335,68 \text{ А}$$

Принимаем вакуумный выключатель аналогично секционному. Рассчитаем и выберем выключатели для остальных магистралей и заполним таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Выбор выключателей для магистралей

Магистраль	S_p , кВА	I_p , А	$I_{ав}$, А	Выключатель
ГПП-ТП4÷ТП6	6205,2	170,8	341,6	ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630
ГПП-ВБК	1350 квар	74,31		ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630
СД	472,2	22,33		ВВ-ЧЭАЗ-2-10-20/630

5.3 Выбор силовых кабелей отходящих линий

Выбор кабеля к магистрали ТП1÷ТП3:

$S_{p \text{ ТП1÷ТП3}} = 6097,8 \text{ кВА}$; $I_p = 167,84 \text{ А}$; $I_{ав} = 335,68 \text{ А}$; $N=2$.

Расчет экономического сечения согласно формуле (4.10):

$$F_{ЭК} = \frac{167,84}{1,3} = 129,1 \text{ мм}^2$$

Принимаем кабель марки ААШв - 10 – (3х150); $I_{доп} = 246 \text{ А}$.

Определим минимальное сечение кабеля по $I_{кз}^{(3)}$ по формуле (5.4):

$$F_{min} = \alpha \times I_{кз} \times \sqrt{t_{п}}, \text{ мм}^2 \quad (5.4)$$

$$F_{min} = 12 \times 4,6 \times \sqrt{0,5} = 39 \text{ мм}^2$$

Проверка кабеля по допустимому и аварийному току:

$$I_{доп.каб.} \geq I_{раб}/K_{п.} [246 \geq 167,84/0,9=186,48 \text{ А}];$$

$$1,3 \cdot I_{доп ав} \geq I_{ав.тп1} [319,8 \leq 335,68 \text{ А}].$$

где $K_{п}=0,9$ – поправочный коэффициент при числе кабелей в траншее $N=2$.

Выбранный кабель не удовлетворяет условиям. Выберем кабель марки ААШв - 10 – (3х185); $I_{доп} = 275 \text{ А}$. Проверка кабеля по допустимому и аварийному току:

$$I_{доп.каб.} \geq I_{раб}/K_{п.} [275 \geq 167,84/0,9=186,48 \text{ А}];$$

$$1,3 \cdot I_{доп ав} \geq I_{ав.тп1} [357,5 \geq 335,68 \text{ А}].$$

Выбранный кабель удовлетворяет всем условиям. Все расчетные данные выбора кабелей занесем в таблицу 5.9.

Таблица 5.9 - Кабельный журнал

Наименование участка	S _р , кВА	Кол-во кабелей в траншее	K _п	Нагрузка		По экономической плотности тока, мм ²		По току короткого замыкания, мм ²		Выбранный кабель	I _{доп} , А
				I _р , А	I _{ав} , А	j _э	F _э	I _к , кА	S, мм ²		
ГПП-ТП1÷ТП3	6097,8	2	0,9	167,84	335,68	1,3	129,1	5,18	44	ААШВ - 10 – (3х185)	275
ТП1÷ТП2	4065,2	2	0,9	111,9	223,8	1,3	86	5,18	44	ААШВ - 10 - (3 × 95)	192
ТП2÷ТП3	2032,6	2	0,9	56	112	1,3	43	5,18	44	ААШВ - 10 - (3 × 50)	134
ГПП-ТП4÷ТП6	6205,2	2	0,9	170,8	341,6	1,3	132	5,18	44	ААШВ - 10 – (3х185)	275
ТП4÷ТП5	3723,12	2	0,9	102,5	205	1,3	78,8	5,18	44	ААШВ - 10 - (3 × 95)	192
ТП5÷ТП6	1034,2	1	1	28,46	57	1,3	21,9	5,18	44	ААШВ - 10 - (3 × 50)	134
ГПП-СД	472,2	4	0,8	22,33	-	1,3	17,17	5,18	44	ААШВ - 10 - (3 × 50)	134
ГПП-ВБК	1350	4	0,8	74,31	-	1,3	57,16	5,18	44	ААШВ – 10 - (3х70)	162

6 Выбор трансформаторов тока

6.1 Выбор ТТ на вводах к шинам I и II секции и на СВ

Трансформаторы тока выбираются по следующим условиям:

- по напряжению установки: $U_{\text{ном ТТ}} \geq U_{\text{ном уст-ки}}$;
- по току: $I_{\text{ном ТТ}} \geq I_{\text{расч}}$;
- по электродинамической стойкости: $K_{\text{дин}} \geq \frac{i_{\text{уд}}}{\sqrt{2} \cdot I_{\text{ном ТТ}}}$;
- по вторичной нагрузке: $S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}}$;
- по термической стойкости: $K_{\text{тс}} \geq \frac{I_{\text{об}} \cdot \sqrt{t}}{I_{\text{ном ТТ}} \cdot t_{\text{нт}}}$;
- по конструкции и классу точности.

Для выбора ТТ, запишем приборы, подключаемые к вторичной обмотке трансформатора тока и заполним таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Приборы, подключаемые к вторичной обмотке трансформатора тока

Прибор	Тип	A, ВА	B, ВА	C, ВА
Wh	САЗ-И681	2,5	2,5	2,5
Varh	СП4-И689	2,5	2,5	2,5
A	Э-350	0,5	0,5	0,5
W	Д-355	0,5	-	0,5
Var	Д-345	0,5	-	0,5
Итого		6,5	5,5	6,5

Примем ТТ типа ТЛ10-І-У3: $I_{\text{н}} = 1000 \text{ А}$; $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$; $S_{\text{н}} = 30 \text{ ВА}$.

Таблица 6.2 - Выбор трансформатора тока

Расчетные величины	Величины согласно каталогу
$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ав}} = 770 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{уд}} = 12,45 \text{ кА}$	$I_{\text{дин}} = 51 \text{ кА}$
$S_{2\text{р}} = 13 \text{ ВА}$	$S_{2\text{н}} = 30 \text{ ВА}$

Рассчитаем вторичную нагрузку трансформаторов тока:

Определим сопротивление вторичной цепи ТТ по формуле (6.1):

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}, \text{ Ом} \quad (6.1)$$

$$r_2 = 0,26 + 0,16 + 0,1 = 0,52 \text{ Ом}$$

Сопротивление приборов определяется по формуле (6.2):

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_p^2}, \text{ Ом} \quad (6.2)$$

$$r_{\text{приб}} = \frac{6,5}{25} = 0,26 \text{ Ом}$$

где $S_{\text{приб}}$ – мощность, потребляемая приборами, ВА;

I_2 – вторичный номинальный ток прибора, А.

Определим сопротивление вторичной нагрузки по формуле (6.3):

$$r_{2н} = \frac{S_{2н \text{ ТТ}}}{I_2^2}, \text{ Ом} \quad (6.3)$$

$$r_{2н} = \frac{30}{25} = 1,2 \text{ Ом}$$

где $S_{2н \text{ ТТ}}$ – номинальная мощность ТТ;

Определим допустимое сопротивление проводов по формуле (6.4):

$$r_{\text{доп пр}} = r_{2н} - r_{\text{приб}} - r_{\text{конт}} \quad (6.4)$$

$$r_{\text{доп пр}} = 1,2 - 0,26 - 0,1 = 0,84 \text{ Ом}$$

Определим сечение провода по формуле (6.5):

$$F_{\text{пров}} = \frac{L}{r_{\text{доп пр}} \times \gamma}, \text{ мм}^2 \quad (6.5)$$

$$F_{\text{пров}} = \frac{14}{0,84 \times 57} = 0,3 \text{ мм}^2$$

где γ – удельная проводимость, м/Ом×мм²;

L – длина линии, м.

Принимаем провод АКР ТВ; $F=2,5 \text{ мм}^2$ согласно ПУЭ. Определим сопротивление провода по формуле (6.6):

$$r_{\text{пров}} = \frac{L}{F_{\text{пров}} \times \gamma}, \text{ Ом} \quad (6.6)$$

$$r_{\text{пров}} = \frac{14}{2,5 \times 57} = 0,1 \text{ Ом}$$

Определим нагрузку во вторичной цепи по формуле (6.7):

$$S_2 = r_2 \times I_2^2, \text{ ВА} \quad (6.7)$$

$$S_2 = 0,52 \times 25 = 13 \text{ ВА}$$

Выберем ТТ для каждой линии ГПП и заполним таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Выбор ТТ для линий ГПП

Линия	$I_{\text{ав}}, \text{ А}$	$I_{\text{р}}, \text{ А}$	ТТ	Класс точности	Провод	$F, \text{ мм}^2$
СВ		385	ТЛ-10-У3-600/5	0,5	АКР ТВ	2,5
ГПП-ТП1÷ТП3	335,68		ТЛ-10У3	1	АКР ТВ	2,5
ГПП-ТП4÷ТП6	341,6		ТЛ-10У3	1	АКР ТВ	2,5
ГПП – СД		22,33	ТЛ-10 У3	1	АКР ТВ	2,5
ГПП - Q _{ВБК}		74,31	ТЛ-10 У3	1	АКР ТВ	2,5

Паспортные данные ТТ на секционном выключателе: $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$; $I_{\text{н}}=600 \text{ А}$; $I_{\text{дин}}=81 \text{ кА}$; $S_{2 \text{ н}}=15 \text{ ВА}$.

Паспортные данные ТТ на линиях ГПП-ТП1÷ТП3 и ГПП-ТП4÷ТП6: $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$; $I_{\text{н}}=400 \text{ А}$; $I_{\text{дин}}=81 \text{ кА}$; $S_{2 \text{ н}}=15 \text{ ВА}$.

Паспортные данные ТТ на линии ГПП-СД и Q_{вбк}-УКЛ-10,5-1350 У3: $U_{\text{н}}=10 \text{ кВ}$; $I_{\text{н}}=100 \text{ А}$; $I_{\text{дин}}=51 \text{ кА}$; $S_{2 \text{ н}}=15 \text{ ВА}$.

6.2 Выбор трансформаторов напряжения

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

- по напряжению установки: $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{ном уст-ки}}$;
- по вторичной нагрузке: $S_{\text{н2}} \geq S_{\text{нагр расч}}$;
- по классу точности;
- по конструкции и схеме соединения.

Нагрузку, присоединённую к трансформатору напряжения первой секции, занесём в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 - Расчетная вторичная нагрузка трансформатора напряжения

Прибор	Тип	S _{об-ки} , ВА	Число обмоток	cosφ	sinφ	Число приборов	P _{сум} , Вт	Q _{сум} , вар
V	Э-335	2	2	1	0	2	8	-
W	Д-355	1,5	2	1	0	1	3	-
Var	И-345	1,5	2	1	0	1	3	-
Wh	СА3-И681	3 Вт	2	0,38	0,925	5	30	73,02
Varh	СР4-И689	3 вар	2	0,38	0,925	5	30	73,02
Итого							74	146,04

Определим расчетную вторичную нагрузку по формуле (6.8):

$$S_{2P} = \sqrt{P_{\text{сум}}^2 + Q_{\text{сум}}^2}, \text{ ВА} \quad (6.8)$$

$$S_{2P} = \sqrt{74^2 + 146,04^2} = 163,72 \text{ ВА}$$

Принимаем трансформатор напряжения типа НАМИТ-10: U_{н.т} = 10 кВ; S_{2н} = 200 кВА; схема соединения обмоток: Y_н / Y_н / Π - 0

6.3 Выбор трансформаторов собственных нужд

Для обеспечения надёжного питания, к двум независимым источникам, в основном - к трансформаторам собственных нужд (ТСН) подключаются собственные нужды подстанции. Основные потребители указаны в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Основные потребители собственных нужд подстанции

Наименование потребителя	P _{уст} , кВт	n	КПД	cosφ	tgφ	Расчетная нагрузка		
						K _с	P, кВт	Q, квар
Силовые трансформаторы	1,5-3	4	0,85	0,85	0,62	1	8	5
ОРУ	0,06-4,5	120	0,9	0,9	0,48	0,1	15	7,3
ОПУ	0,04-28	80	1	0,95	0,33	0,3	50	16,4
ЗРУ, КРУН	0,01-4	60	1	0,9	0,48	0,2	10	4,8
Прочее	0,01-8,8	15	0,8	0,85	0,62	1	15	9,3
Сварочная сеть	13	1	0,9	0,8	0,75	1	14,4	10,8
ИТОГО							112,4	53,6
Sp, кВА	124,53							

Мощность ТСН определим суммарной мощностью всех энергопотребителей по формуле (6.9):

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \text{кВА} \quad (6.9)$$

Активную мощность отдельных потребителей определяем выражением (6.10):

$$P = \frac{P_{\text{уст}} \times n \times K_c}{\eta}, \text{кВт} \quad (6.10)$$

Реактивную мощность определяем выражением (6.11):

$$Q = P \times \text{tg}\varphi, \text{квар} \quad (6.11)$$

Выбираем два трансформатора собственных нужд типа ТСН-100.

6.4 Выбор шин и изоляторов ГПП

Сечение шин следует выбирать по допустимому длительному току и экономической целесообразности. Проверку шин производят на термическую электродинамическую стойкость к токам КЗ.

Выбираем твердотянутые алюминиевые шины прямоугольного сечения марки АТ-60х6; $I_{\text{доп}}=880 \text{ А}$ (одна полоса на фазу), $I_{\text{ав}}=770 \text{ А}$ – аварийный ток, протекающий через вводные выключатели (подраздел 5.2); $i_{\text{уд}}=12,45 \text{ кА}$.

а) $I_{\text{доп}}=880 \text{ А} \geq I_{\text{ав}}=770 \text{ А}$;

б) проверка по термической стойкости к току КЗ:

Согласно формуле (5.15), минимальное сечение шины:

$$F_{\text{min}} = 12 \times 5,18 \times \sqrt{1} = 62,16 \text{ мм}^2 < 360 \text{ мм}^2 (60 \times 6)$$

в) проверка по динамической стойкости к $i_{\text{уд кз}}$: $\sigma_{\text{доп}}=650 \text{ кгс/см}^2$:

Определим силу, действующую на изолятор по формуле (6.12) и момент сопротивления по формуле (6.13):

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a}, \text{кгс}, \quad (6.12)$$

$$f = \frac{1,75 \times 10^{-2} \times 12,45^2 \times 60}{40} = 4,06 \text{ кгс}$$

$$W = 0,167 \times b \times h^2, \text{см}^3 \quad (6.13)$$

$$W = 0,167 \times 0,6 \times 6^2 = 3,6 \text{ см}^3$$

где $L = 60 \text{ см}$ - расстояние между изоляторами;

$a = 40 \text{ см}$ - расстояние между фазами;

$b = 0,6 \text{ см}$ - толщина одной полосы;

$h = 6 \text{ см}$ - ширина (высота) шины.

Определим напряжение в материале шины по формуле (6.14):

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{f \times L^2}{10 \times W}, \frac{\text{кгс}}{\text{см}^3} \quad (6.14)$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{4,06 \times 60^2}{10 \times 3,6} = 406 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^3} < 650 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^3}$$

Из условия видно, что шины динамически устойчивы. Для изоляции шин от заземленных конструкций выберем изоляторы. Определим силу, действующую на изолятор по формуле (6.15):

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times i_{\text{уд}}^2 \times L}{a}, \text{ кгс} \quad (6.15)$$

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \times 10^{-1} \times 12,45^2 \times 60}{40} = 40,22 \text{ кгс}$$

Выбираем изолятор типа ОНШ-10-500У1, $F_{\text{разруш}} = 500 \text{ кгс}$.

$$F_{\text{доп}} = 0,6 \times F_{\text{разруш}} = 0,6 \times 500 = 300 \text{ кгс} (> 40,22 \text{ кгс})$$

Условие выполняется.

7 Специальный раздел. АСМЭ и сведение энергобаланса

7.1 Анализ информационной системы управления энергетическим объектом

7.1.1 Структура энергопотребления предприятия

1) Источники энергоснабжения:

Электроэнергия поступает от внешней сети через ТП 10 кВ, где происходит ее понижение и дальнейшее распределение по объектам предприятия.

2) Зоны энергопотребления:

Производственные: наибольшее потребление (порядка 70%) приходится на цеховое оборудование, задействованное в сварке, штамповке, сборке.

Инфраструктурные: до 20% энергии потребляют насосные станции, градирни и компрессорные установки.

Административно-бытовые: офисные помещения, санитарно-бытовые зоны и столовая составляют оставшиеся 10%.

7.1.2 Информационная система управления

Представим схему информационной системы управления на рисунке 7.1.

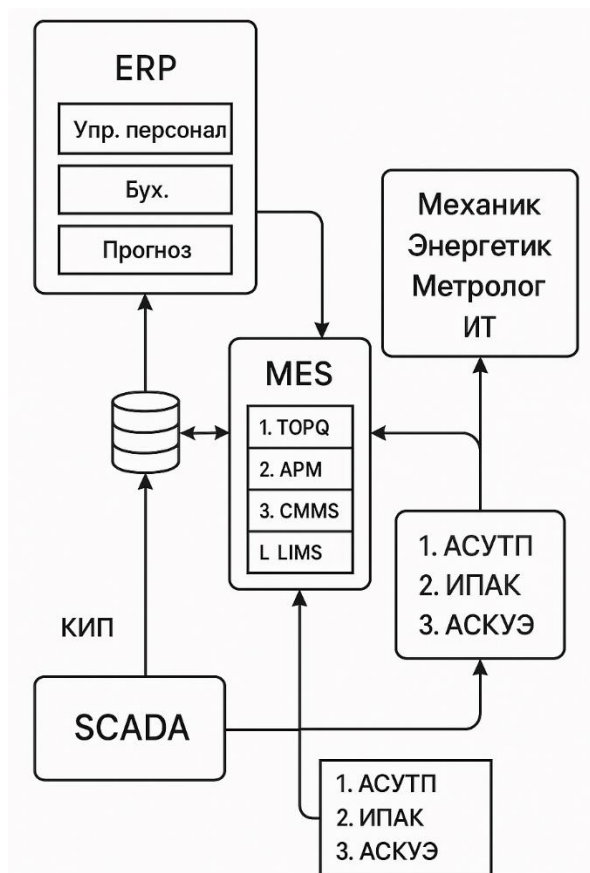


Рисунок 7.1 - Схема информационной системы управления

Основные компоненты схемы:

- 1) SCADA;
- 2) MES (Manufacturing Execution System). Включает в себя:
 - TOPQ - подсистема MES, ориентированная на управление качеством продукции и процессов;
 - MES - связующее звено между уровнем управления оборудованием (SCADA, АСУТП) и корпоративными системами (ERP). Оно обеспечивает контроль, мониторинг и оптимизацию производственных процессов в реальном времени;
 - APM (Asset Performance Management) - управление активами;
 - CMMS (Computerized Maintenance Management System) - техническое обслуживание и ремонт;
 - LIMS (Laboratory Information Management System) - лабораторный контроль;
- 3) АСУТП, ИПАК, АСКУЭ;
- 4) КИП;
- 5) ERP / Упр. персонал / Бух. / Прогноз;
- 6) Механик / энергетик / метролог / ИТ.

Перемещение потоков данных:

Данные от КИП → SCADA → MES → ERP.

АСУТП / ИПАК / АСКУЭ → обработанные данные → MES.

MES → пользователи / отделы (энергетик, механик, метролог, ИТ и т.д.).

Каждый уровень схемы имеет свое назначение (таблица 7.1).

Таблица 7.1 – Роль каждого уровня схемы

Уровень	Назначение
КИП	Сбор физических данных
SCADA	Мониторинг и визуализация
MES	Аналитика, оптимизация, управление производством
ERP	Планирование, финансы, прогнозирование
АСКУЭ/АСУТП/ИПАК	Учет и управление энергоресурсами

7.2 Обзор систем АСКУЭ

7.2.1 Основные функции АСКУЭ

Основными функциями АСКУЭ являются:

- автоматизированный сбор информации, а именно получение показаний счётчиков и измерительных приборов без участия оператора;
- передача данных, т.е. отправка полученной информации на центральный сервер или облачную систему для последующей обработки и хранения;
- аналитическая обработка - выявление пиковых потреблений, отклонений от норм и энергетических аномалий на основе полученных данных;
- онлайн-мониторинг - отслеживание энергопотребления и состояния оборудования в реальном времени;
- оптимизация управления - корректировка режимов работы оборудования с целью снижения издержек и повышения энергоэффективности;
- интеграция с другими цифровыми платформами - взаимодействие с ERP, SCADA и системами управления энергоресурсами предприятия.

7.2.2 Основные компоненты АСКУЭ

Основными компонентами АСКУЭ являются:

- Измерительное оборудование;
- Коммуникационная инфраструктура;
- Программное обеспечение;
- Центральный сервер;
- Пользовательский интерфейс.

7.3 Разработка АСМЭ для механического завода

7.3.1 Цели и задачи системы

Целями являются:

- 1 - организация эффективного и точного учета энергоресурсов;
- 2 - контроль энергопотребления на всех уровнях предприятия;
- 3 - снижение энергозатрат за счет выявления потерь и оптимизации потребления;
- 4 - формирование данных для учета и анализа эффективности.

Задачами являются:

- 1 - установка измерительного оборудования на ключевых точках учета (подстанции, цеха, здания);
- 2 - организация системы сбора, передачи и хранения данных;
- 3 - анализ полученных данных для построения графиков нагрузки и оценки энергобаланса;
- 4 - интеграция АСМЭ с существующими системами управления (SCADA, ERP).

7.3.2 Иерархическая структура АСМЭ

АСМЭ строится как территориально распределенная трехуровневая система (таблица 7.2).

Таблица 7.2 – Уровни АСМЭ

Нижний уровень	Средний уровень	Верхний уровень
Объекты учета; Подстанции; Цеха и здания.	УСПД; Каналы связи.	Серверная часть.

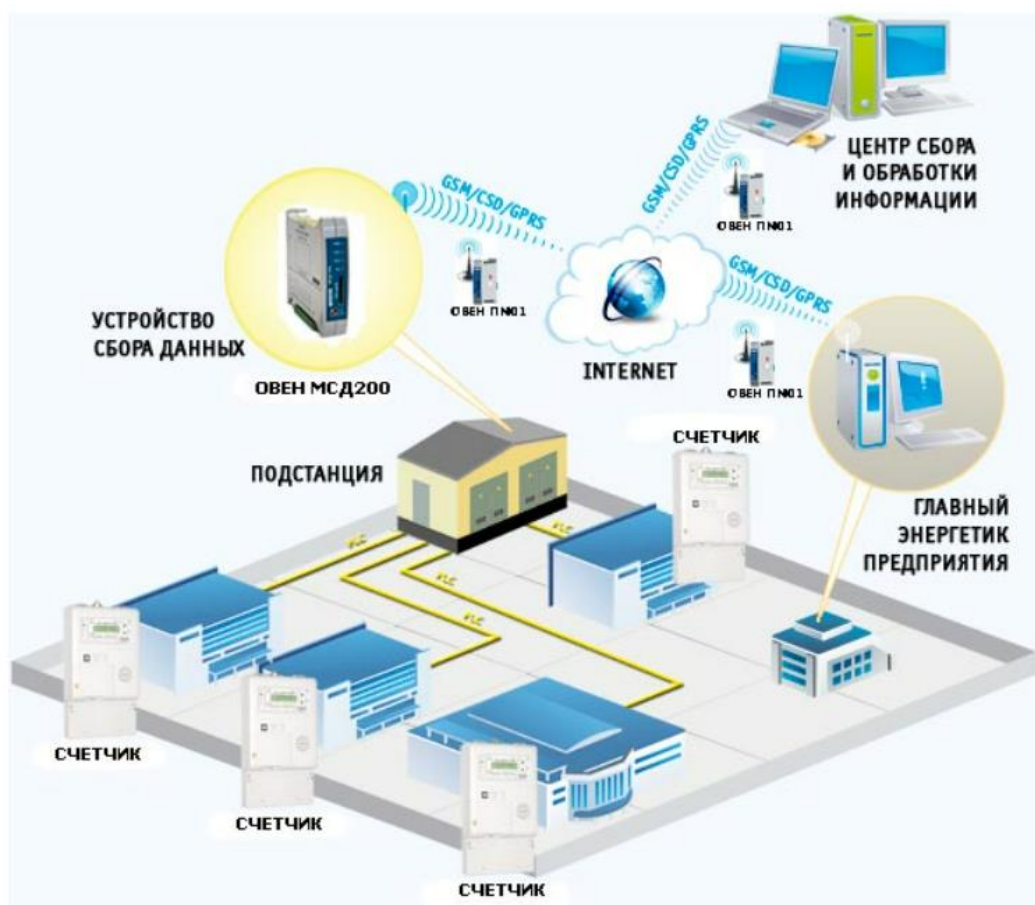


Рисунок 7.2 – Пример АСКУЭ для энергетического объекта

7.3.3 Схема взаимодействия элементов АСКУЭ на промышленном предприятии

На рисунке 7.3 представлена упрощённая структурная схема взаимодействия компонентов автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии (АСКУЭ), реализованной на базе промышленного предприятия.

К информационно-измерительному комплексу (ИИК) относятся многотарифные счётчики электроэнергии типа Меркурий 234, поддерживающие технологии PLC-II и RS-485. Сигналы от приборов учёта поступают на

устройство сбора и передачи данных (УСПД), являющееся частью информационно-вычислительного комплекса энергоучета (ИВКЭ). Сбор данных осуществляется по проводному каналу связи RS-485, а также через силовую сеть 0,4 кВ по технологии PLC-II.

УСПД оборудовано концентраторами и GSM-шлюзом, который передает данные от концентратора через GSM связь как в коммерческую структуру (Энергосбыт), так и в технический отдел предприятия (рабочее место энергетика). Это позволяет осуществлять мониторинг и детальный анализ потребления.

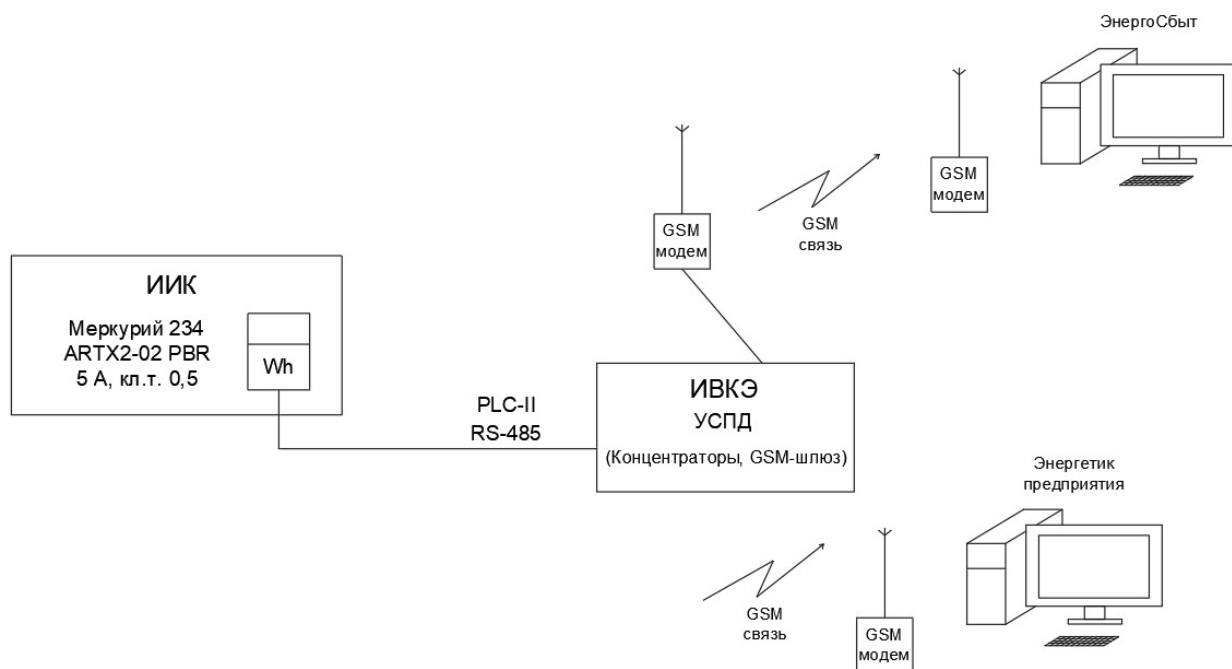


Рисунок 7.3 - Схема взаимодействия элементов АСКУЭ на промышленном предприятии

7.4 Сведение энергетического баланса предприятия

7.4.1 Материальный баланс (МатБаланс) для механического завода

Материальный баланс – это метод учета всех видов ресурсов, которые поступают на предприятие, преобразуются и выходят в виде продукции, отходов или потерь. Он позволяет контролировать использование ресурсов (например, металлов и энергии), оптимизировать производственные процессы, снижать потери, выявлять скрытые проблемы и формировать отчетность для бухгалтерии и планово-экономического отдела. Например, если на предприятие поступило 10 тонн стали, из которых 8 тонн ушло на готовую продукцию, 1 тонна в стружку, а 1 тонна потерялась, это указывает на проблему, связанную с браком или утечками материалов.

7.4.2 MES (Manufacturing Execution System)

MES (система управления производственными процессами) обеспечивает автоматизацию учета материалов, энергоресурсов и производственных операций в реальном времени. Основными задачами MES являются:

- 1) Учет движения материалов (резка, обработка, сборка) и автоматизация остатков в цехах и на складах;
- 2) Контроль энергозатрат: сбор данных об энергопотреблении станков, компрессоров и систем охлаждения, расчет удельного расхода электроэнергии, газа или сжатого воздуха на единицу продукции;
- 3) Мониторинг процессов: отслеживание объемов сырья, готовой продукции и энергопотребления оборудования в реальном времени;
- 4) Анализ эффективности: выявление участков с высокими потерями материалов, энергии и времени, снижение простоев оборудования.

7.4.3 Интеграция АСКУЭ с MES

АСКУЭ (автоматизированная система коммерческого учета энергоресурсов) собирает данные об энергопотреблении, а MES анализирует их для повышения эффективности производства. Процесс интеграции происходит следующим образом:

- 1) Первичный сбор данных через АСКУЭ: автоматически фиксируются объёмы потребления электроэнергии;
- 2) Передача информации в MES-систему: данные поступают в реальном времени и сопоставляются с технологическими этапами производства;
- 3) Анализ внутри MES: производится сравнение фактических и нормативных энергозатрат, на основе чего выявляются отклонения, перерасходы, неисправности или неэффективные участки.

7.5 Определение доли энергопотребления по участкам завода

Разделим общее потребление электроэнергии между цехами, чтобы выявить наиболее энергоемкие процессы. Определим долю энергопотребления каждого цеха по формуле (7.1) и заполним таблицу 7.1.

$$\eta_i = \frac{E_i}{E_{\text{общ}}}, \% \quad (7.1)$$

где E_i — энергопотребление конкретного участка.

Таблица 7.2 – Энергопотребление по участкам завода в год

Наименование цеха	Е, МВт×ч	η, %
Сборочный цех	284,7	4,3
Бытовые помещения	255,5	3,9
Заводоуправление	219	3,3
Опытно-экспериментальный цех	547,5	8,4
Цех сварки биметаллов	1241	18,9
Цех новых материалов	949	14,5
Блок складов	255,5	3,9
Открытый склад	18,25	0,3
Автокомпрессорная станция	-	-
10кВ (СД)	620,5	9,5
0,38 кВ	182,5	2,8
Штамповочный цех	255,5	3,9
Очистные сооружения	620,5	9,5
Насосная ст. обратного водоснабжения	80,3	1,2
Станция противопожарного водоснабжения	175,2	2,7
РМЦ	160,6	2,5
Градирня №1	328,5	5,0
Градирня №2	284,7	4,3
Столовая	73	1,1
Общее энергопотребление	6551,75	100

7.6 Определение энергоемкости продукции

Допустим завод изготавливает модульные насосные и компрессорные станции, а также металлические шкафы управления из современных материалов с применением штамповки, сварки биметаллов и сборки. Удельная энергоемкость продукции составляет $E_{уд} = 100 \text{ кВт} \times \text{ч/ед}$ согласно нормативам [13]. Сведем энергетический баланс, опираясь на фактические данные по энергопотреблению завода и нормативное значение энергоёмкости продукции.

Рассчитаем, сколько электроэнергии потребляется на единицу продукции до и после внедрения АСКУЭ.

Энергоемкость продукции определим по формуле (7.2):

$$E_{уд} = \frac{E_{общ}}{N}, \text{ кВт} \times \text{ч/ед} \quad (7.2)$$

где $E_{уд}$ - удельное энергопотребление на единицу продукции, кВт×ч/ед;

$E_{\text{общ}}$ - общее энергопотребление за год, МВт×ч;
 N - количество произведенной продукции, ед.

До внедрения АСКУЭ:

Из таблицы 7.1 видим, что завод потребляет 6551,7 МВт×ч/год. Допустим, завод производит 60000 единиц продукции в год, тогда энергоемкость продукции согласно формуле (7.2) будет:

$$E_{\text{уд}}^{\text{до}} = \frac{6551,75}{60000} = 109,2 \text{ кВт} \times \text{ч/ед}$$

После внедрения АСКУЭ:

Энергопотребление снизилось на 10%, т.е. завод потребляет 5896,5 МВт×ч/год, тогда энергоемкость продукции согласно формуле (7.2) будет:

$$E_{\text{уд}}^{\text{после}} = \frac{5896,5}{60000} = 98 \text{ кВт} \times \text{ч/ед}$$

Определим экономию электроэнергии по формуле (7.3):

$$\Delta E_{\text{уд}} = E_{\text{уд}}^{\text{до}} - E_{\text{уд}}^{\text{после}}, \text{ кВт} \times \text{ч/ед} \quad (7.3)$$

$$\Delta E_{\text{уд}} = 109,2 - 98 = 11,2 \text{ кВт} \times \text{ч/ед}$$

Если 1 кВт×ч стоит 16,8 тенге, то экономия затрат на единицу продукции составит:

$$\mathcal{E} = 11,2 \times 16,8 = 188,16 \text{ тг/ед}$$

А общая экономия затрат составит:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 188,16 \times 60000 = 11,2 \text{ млн. тг/год}$$

После сравнения фактической и нормативной энергоёмкости можно сказать, что энергетический баланс на заводе приведён в норму. До внедрения АСКУЭ предприятие потребляло на 9,2% больше энергии, чем положено по нормативу. После внедрения удалось сократить расход на 11,2 кВт×ч на каждую единицу продукции, что говорит об улучшении энергоэффективности и более точном контроле потребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная дипломная работа посвящена автоматизированной системе мониторинга энергопотребления и сведению энергетического баланса на промышленном предприятии, а именно на механическом заводе. В работе были получены следующие основные результаты:

При заданном числе электроприемников и их мощности определена суммарная нагрузка по заводу напряжением 0,4 кВ: $S_p=16887,5$ кВА. Выбрано 11 цеховых трансформаторов типа ТМ-1600/10. Произведена компенсация реактивной мощности на 0,4 кВ с помощью низковольтных батарей конденсаторов типа УКМ 58-04-900-67УЗ и на 10 кВ с помощью батарей конденсаторов типа УКРМ-10,5-1350 УЗ. Определена нагрузка по заводу напряжением 10 кВ на шинах ГПП с учетом подключенных к шинам ГПП СД и потерь в трансформаторах ТП: $S_{p,зав}=14002,5$ кВА.

В работе рассмотрены два варианта схем внешнего электроснабжения завода, на напряжение 110 и 35 кВ. Из них выбран наиболее рациональный с экономической и технической точки зрения, которым является первый вариант питания завода, где электроэнергия передается по ЛЭП 110 кВ.

Для принятого варианта выбрано следующее высоковольтное оборудование: вводные выключатели; секционный выключатель; выключатели нагрузки; выключатели отходящих линий, выключатели к СД, а также силовые кабели к ним. Выбраны измерительные приборы, трансформаторы тока, напряжения, а также трансформаторы собственных нужд. Был произведен выбор шин ГПП и изоляторов к ним. Изображена однолинейная схема электроснабжения механического завода.

Проведен анализ существующих систем учета энергоресурсов, а также оценена эффективность внедрения автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ). Основные результаты показывают, что внедрение АСКУЭ позволяет:

- Снизить энергопотребление за счет точного контроля и оптимизации нагрузки;
- Минимизировать потери энергии и выявлять неэффективные зоны;
- Повысить точность учета и прозрачность распределения энергоресурсов;
- Интегрировать учет энергопотребления с MES-системой, обеспечивая полный контроль за затратами на электроэнергию в производственном процессе.

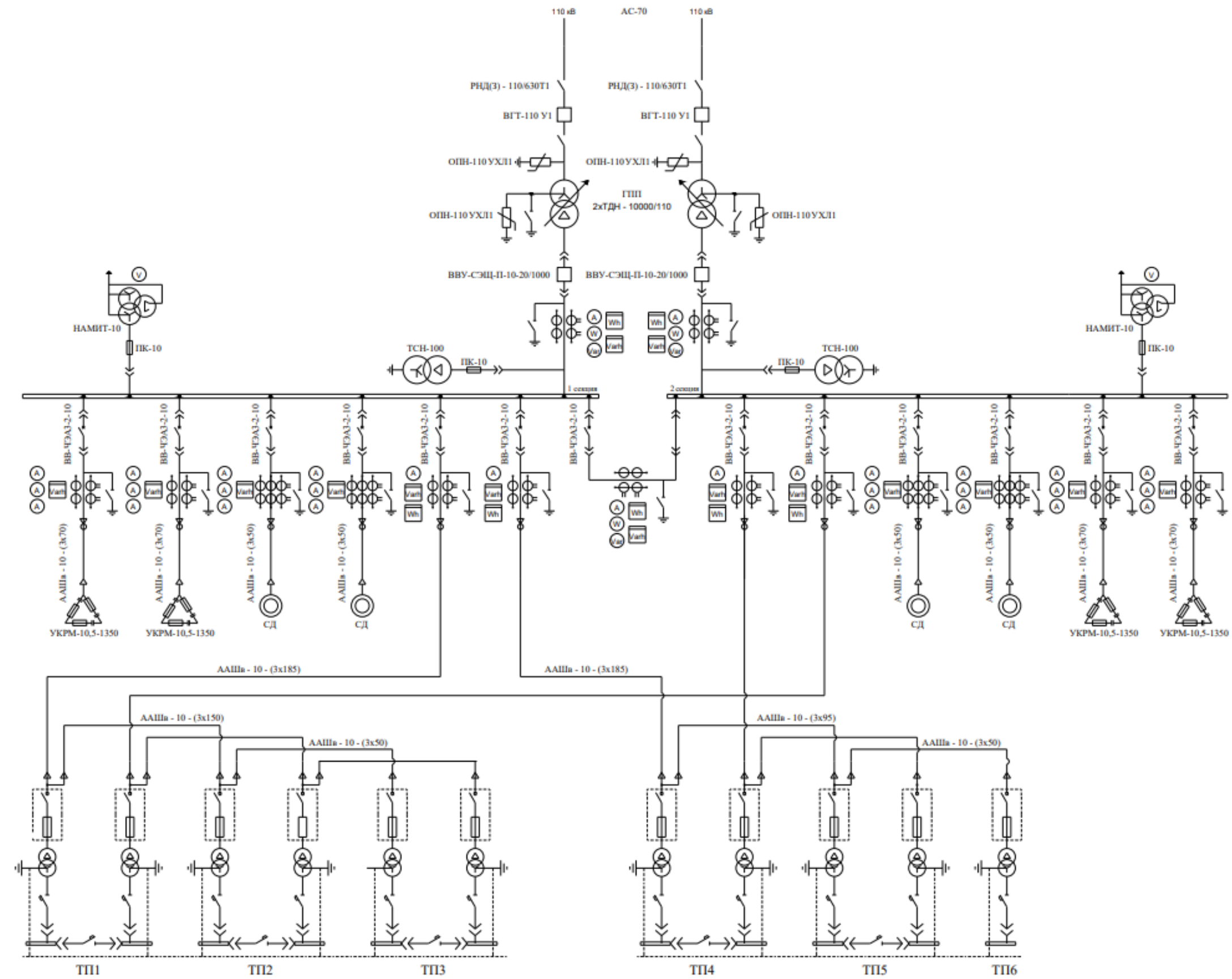
Таким образом, внедрение автоматизированной системы мониторинга энергопотребления не только снижает затраты предприятия, но и способствует его энергоэффективности, экономической устойчивости и экологической безопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ю.В. Шпак. Электроснабжение промышленных предприятий.
- 2 Хорольский В.Я., Таранов М.А. Эксплуатация систем электроснабжения Москва, 2024.
- 3 Воропай Н.И. Надёжность систем электроснабжения. Новосибирск: Наука, 2015.
- 4 Осика Л.К. Расчётные методы интеллектуальных измерений (Smart Metering) в задачах учёта и сбережения электроэнергии: практическое пособие Москва, 2013.
- 5 Шарапов А.С., Шкурко В.Е. АСКУЭ - перспективная система интеллектуального учёта электроэнергии, 2014.
- 6 Е. П. Забелло, В. Г. Булах, А. С. Качалко. Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов, 2016
- 7 Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. 3-е изд., доп. и перераб. - Москва: Директ-Медиа, 2014.
- 8 Ус А.Г., Бахмутская В.В., Шведова О.С., Петров И.В. Электроснабжение промышленных предприятий: лабораторный практикум, 2014.
- 9 Лещев С.А. Автоматизированные системы контроля и учёта электроэнергии современного предприятия. Минск: БНТУ, 2014.
- 10 Чернявский А., Быковский А. «Применение системы энергетического мониторинга для повышения эффективности энергопотребления на предприятиях молочной промышленности», статья.
- 11 Колесник Ю.Н., Елкин В.Д., Бахмутская В.В. Электроснабжение промышленных предприятий: практикум. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2015.
- 12 Бахмутская В.В., Капанский А.А., Шведова О.С., Петров И.В. Электроснабжение промышленных предприятий: учебно-методическое пособие к курсовому проектированию. Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2016.
- 13 ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения.

Приложение

Однолинейная схема электроснабжения механического завода



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

**«Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение
энергетического баланса на промышленном предприятии»**

Масленникова Константина Александровича

6B07101 – «Энергетика»

В данной дипломной работе студент Масленников Константин выполнил комплексный анализ электропотребления механического завода и провел обзор автоматизированной системы мониторинга учета и контроля энергопотребления.

В процессе работы студент выполнил расчёт суммарной нагрузки предприятия, обоснованно выбрал трансформаторы как в цеху, так и на ГПП, компенсирующие устройства, высоковольтное оборудование, а также разработал однолинейную схему электроснабжения. Рассмотрены два варианта схем внешнего электроснабжения, из которых выбран наиболее рациональный. Кроме того, особое внимание в работе уделено анализу существующих систем учета энергоресурсов, обоснованию эффективности внедрения АСКУЭ и сведению энергетического баланса.

Студент Масленников К. показал способность применять теоретические знания в практических расчетах, уверенно ориентируется в вопросах электроснабжения, энергоучета и оптимизации нагрузки. Он проявил самостоятельность, ответственность и хороший уровень владения инженерными расчетами.

Дипломная работа выполнена в полном объеме, тема раскрыта. Представленные материалы актуальны и соответствуют современным требованиям энергетики промышленного сектора.

Были небольшие ошибки в расчетах при выборе высоковольтных выключателей.

В целом, дипломная работа Масленникова К. на тему «Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса на промышленном предприятии» заслуживает оценки «отлично», (95 баллов), а сам студент присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07101 - «Энергетика».

Научный руководитель

PhD, ст.преподаватель

кафедры «Энергетика»



Р.Ш. Абитаева

(подпись)

« 26 » 05 2025 г.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Масленникова Константина Александровича

6B07101 - Энергетика

На тему: «Автоматизированная система мониторинга энергопотребления
и сведение энергетического баланса на промышленном предприятии»

В дипломной работе выполнено электроснабжение механического завода. Был произведен расчет электрических нагрузок цехов, расчет числа трансформаторов и распределения их по трансформаторным подстанциям, расчеты компенсации реактивной мощности, расчет токов короткого замыкания и выбор защитного оборудования. В экономической части произведено технико-экономическое сравнение 2 вариантов электроснабжения и по итогам выбран наиболее выгодный.

В специальной части был проведен анализ существующих систем учета энергоресурсов, а также оценена эффективность внедрения автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ), которая очень актуальна в современных промышленных предприятиях.

Замечания к работе

В качестве замечания можно отметить, что были допущены местами ошибки в выборе цен на оборудования в ТЭР. В общем, дипломная работа написана в соответствии с требованиями, и тема раскрыта.

Оценка работы

Дипломная работа Масленникова Константина Александровича заслуживает оценки «отлично» (95 баллов), а сам студент присвоения академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07101 – «Энергетика».

Рецензент

Главный энергетик ТОО
«Консолидированная
строительная горнорудная
компания»

Товарищество с ограниченной
ответственностью
с 2011 года
«ОАО «БЭМ»
(полное)

Е.А. Жолдыбеков

2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Масленников Константин Александрович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса на промышленном предприятии.

Научный руководитель: Рахимаш Абитаева

Коэффициент Подобия 1: 19

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 104

Знаки из других алфавитов: 174

Интервалы: 0

Белые Знаки: 3

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:

Дата 5.06.2025г

Заведующий кафедрой Энергетики
Саржабаев С.А.


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Масленников Константин Александрович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Автоматизированная система мониторинга энергопотребления и сведение энергетического баланса на промышленном предприятии.

Научный руководитель: Рахимаш Абитаева

Коэффициент Подобия 1: 19

Коэффициент Подобия 2: 2.5

Микропробелы: 104

Знаки из других алфавитов: 174

Интервалы: 0

Белые Знаки: 3

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:

Дата

5.06.2015

проверяющий эксперт