

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики  
(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника  
(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Цифровые технологии в электроэнергетике  
(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Разработка элементов информационно–измерительных систем технического учета электрической энергии на ООО ПСК «Союз»

Обучающийся

Е. В. Белоус

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.п.н., доцент, доцент А. В. Егорова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

## Аннотация

В данной бакалаврской работе проведена разработка элементов информационно–измерительных систем технического учета электрической энергии и диспетчеризации на предприятии строительной отрасли.

Ключевым вопросом бакалаврской работы является разработка элементов автоматизированной системы с высокой степенью интеграции в рамках единой автоматизированной системы диспетчерского учета промышленного предприятия.

Целью бакалаврской работы является повышение безопасности обслуживающего персонала за счет разработка автоматизированной системы диспетчерского управления коммутационными модулями и коммерческого учета электроэнергии на базе существующей РУ–6 кВ. Кроме этого, разработка и внедрение автоматизированной системы контроля позволит снизить потери электроэнергии на предприятии. Для этого необходимо проанализировать отдельные составляющие элементов оборудования РУ-6 кВ, рассмотреть электроприемники исследуемого предприятия, выполнить расчет электрических нагрузок, определиться со схемой электроснабжения, рассчитать токи короткого замыкания, подобрать электрооборудование и проверить его на электродинамическую стойкость, разработать наиболее рациональную схему размещения оборудования и его объединения в общую единую систему с автоматическим управлением, разработать конструкцию выкатного элемента, предназначенного для коммутации линий высоковольтных электропередач.

Данная работа актуальна не только для предприятия строительной отрасли, но и других аналогичных по назначению объектов.

Данная бакалаврская работа содержит пояснительную записку объемом 54 страницы, дополняемую 17 таблицами, 12 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

## **Abstract**

Title of the bachelor's thesis: «Development of elements of information and measuring systems for technical accounting of electric energy at OOO PSC Soyuz»

The bachelor's thesis contains an explanatory note of 54 pages, supplemented by 17 tables, 12 figures, and 6 A1 format drawings. The key issue of the bachelor's thesis is the development of elements of an automated system with a high degree of integration within the framework of a single automated dispatch accounting system for an industrial enterprise.

The objective of the bachelor's thesis is to improve the safety of service personnel by developing an automated dispatch control system for switching modules and commercial electricity metering based on the existing 6 kV switchgear. In addition, the development and implementation of an automated control system will reduce electricity losses at the enterprise.

The bachelor's thesis can be divided into the following logically interconnected parts: analyze individual components of the 6 kV switchgear equipment, consider the electrical receivers of the enterprise under study, calculate electrical loads, determine the power supply circuit, calculate short-circuit currents, select electrical equipment and test it for electrodynamic resistance, develop the most rational layout of the equipment and its unification into a common unified system with automatic control, develop a design for a roll-out element intended for switching high-voltage power transmission lines

In conclusion, we would like to emphasize that this work is relevant not only for enterprises in the construction industry, but also for other similar facilities.

## Содержание

Введение.....	5
1 Анализ особенностей АСТУЭ на предприятиях и характеристика объекта .	7
2 Расчет электрических нагрузок предприятия .....	9
2.1 Расчет электрических нагрузок .....	9
2.2 Расчет мощности цеховых трансформаторных пунктов .....	14
2.3 Расчет картограммы нагрузок.....	16
3 Расчет токов короткого замыкания .....	19
4 Выбор и проверка оборудования.....	22
4.1 Техническое задание на проектирование АСТУЭиД.....	22
4.2 Замена масляных выключателей .....	24
4.3 Разработка конструкции выкатного элемента .....	27
5 Выбор элементов информационно–измерительных систем технического учета электроэнергии и диспетчеризации .....	33
5.1 Выбор счетчика электроэнергии .....	33
5.2 Выбор программируемого контроллера .....	35
5.3 Блок управления вакуумными выключателями.....	36
5.4 Разработка структурной схемы.....	40
5.5 Выбор устройства ввода вывода.....	41
5.6 Выбор датчиков .....	42
5.7 Принцип действия объекта управления.....	44
5.8 Разработка общего вида автоматизированного диспетчерского пункта .....	45
6 Программное обеспечение информационно–измерительных систем технического учета электроэнергии и диспетчеризации .....	48
Заключение .....	51
Список используемых источников.....	52

## Введение

«Главными фактором экономического роста любого производства является повышение производительности труда и экономия энергоресурсов. Одним из важнейших решений этих задач является автоматизация производства. Особое значение придается всемирному сокращению ручного труда, облегчению его условий, разумному потреблению электроэнергии внутри предприятия, обеспечению безопасности персонала предприятия при выполнении различных работ. Автоматизация производства – это применение комплекса средств, позволяющих осуществлять производственные процессы без непосредственного участия человека, но под его контролем» [2].

«Для решения данных задач в современных условиях широко используются автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) на различных промышленных предприятиях. АСКУЭ базируется на применении автоматизированных приборов учета, которые существенно минимизируют участие человека на этапах измерения, сбора и последующей обработки данных. Эти системы обеспечивают учет, который может быть адаптирован к различным тарифным системам и гибким рабочим графикам предприятия. Учет осуществляется всесторонне, охватывая все аспекты потребления и распределения электроэнергии. Системы предоставляют оперативную и достоверную информацию всем заинтересованным сторонам, включая поставщиков энергоресурсов, их потребителей, работников предприятия, а также службы инженерного контроля и обеспечения безопасности» [2].

«АСКУЭ полностью контролирует весь свой процесс ресурсопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты. В этом случае появляется возможность эффективно перераспределять все виды ресурсов внутри предприятия,

контролируя эффективность использования рабочего времени работниками предприятия. При этом осуществляется автоматизация процессов ремонта и обслуживания электрооборудования, находящегося под высоким напряжением, что исключает риск возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с жизнью человека» [3].

Целью настоящего исследования является значительное повышение уровня безопасности обслуживающего персонала на предприятиях. Это достигается посредством разработки и внедрения автоматизированной системы диспетчерского управления коммутационными модулями. «Данная система эффективно исключает необходимость непосредственного участия человека в проведении ремонтных работ на электрооборудовании и линиях электропередач, находящихся под высоким напряжением. Кроме того, система осуществляет комплексный учет электроэнергии. Она надежно обеспечивает предоставление полной и актуальной информации о потреблении электроэнергии на диспетчерский пункт» [2].

В автоматизированной системе диспетчерского управления коммутационными модулями предусмотрена подача светового сигнала на диспетчерский пункт, в случае поломки электрооборудования или аварии на линиях электропередач.

## **1 Анализ особенностей АСТУЭ на предприятиях и характеристика объекта**

Компания ООО «ПСК Союз» занимается строительством различных объектов, в том числе и жилых домов. Одним из активов ООО «ПСК Союз» является завод по производству строительных конструкций. Генеральной план предприятия представлен в графической части проекта.

На данный момент на предприятии нет автоматизированной системы технического учета электрической энергии (АСТУЭ). Учетом электроэнергии занимается служба главного энергетика.

Система АСТУЭ предназначена не только для фиксации объема потребляемой электроэнергии, но и для хранения и последующего анализа полученных данных, что способствует оптимизации производственных расходов.

Технический учет электроэнергии осуществляется на различных объектах, таких как электростанции, подстанции, здания, квартиры и другие. Он представляет собой важную составляющую в системе обеспечения эффективного использования электроэнергии и контроля за ее расходом внутри этих объектов.

Применение автоматизированной системы учета электроэнергии включает в себя несколько ключевых аспектов. Среди них учет электроэнергии по различным категориям потребления, планирование энергопотребления, резервирование данных коммерческого учета, выявление и анализ нерационального использования электроэнергии, а также использование данных для анализа финансово-экономической деятельности предприятия.

Автоматизация учета электроэнергии обеспечивает возможность удаленного контроля и измерения потребляемой электроэнергии, сбора необходимой информации для последующих расчетов и управления режимами энергопотребления на объектах.

Выводы по разделу 1.

Для расширения функциональных возможностей АСТУЭ в данной бакалаврской работе предложено дополнить автоматизированную систему учета функциями диспетчеризации. Краткое обозначение системы – АСТУЭиД. В результате внедрения данной системы станет возможным осуществление управления электроснабжением полностью без непосредственного участия человека в диспетчерском пункте. При этом все модули должны быть выведены из рабочей зоны, что создаст дополнительные условия для безопасности персонала. АСТУЭиД будет разработана на базе существующего распределительного устройства с напряжением 6 кВ (РУ-6 кВ), что обеспечит её интеграцию и высокую эффективность. Предполагаемый состав АСТУЭиД будет включать:

- силовой распределительный шкаф для управления и распределения энергии;
- многотарифный электросчетчик;
- коммутационный модуль;
- модуль управления для координации всех операций системы;
- рабочий стол оператора, который будет выполнять функции диспетчерского пункта;
- персональный компьютер для мониторинга и управления системой в реальном времени.

## 2 Расчет электрических нагрузок предприятия

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

«Корректное определение величин электрических нагрузок является одним из ключевых факторов, имеющих важное значение как на стадии проектирования, так и при дальнейшей эксплуатации электрических сетей предприятия. Определение расчетной нагрузки, базирующееся на средней потребляемой мощности за наиболее загруженную смену и коэффициенте максимума (расчетном коэффициенте), является наиболее точным методом. Этот подход широко используется для точного вычисления расчетной электрической нагрузки на всех уровнях системы электроснабжения промышленного предприятия» [12].

Для электроприемников каждого цеха по справочным данным выбираются коэффициенты использования и полезной мощности, которые соответствуют условиям эксплуатации.

Если в справочных данных отсутствует информация для конкретного производства, используются данные по аналогичному производству с похожими характеристиками. В случае отсутствия аналогичного производства, коэффициенты выбираются из диапазонов (1) и (2) по методике [12]:

$$K_{\text{И}} = 0,2 \dots 0,9, \quad (1)$$

$$\cos \varphi = 0,5 \dots 0,9. \quad (2)$$

«Для каждого цеха предприятия определяются средние за наиболее загруженную смену активные и реактивные электрические нагрузки по формулам (3) и (4)» [12]:

$$P_{\text{С}} = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{Н}}, \quad (3)$$

$$Q_C = K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi . \quad (4)$$

«Затем определяется расчетный коэффициент по справочным данным. Для его нахождения нужно знать коэффициент использования и количество эффективных ЭП» [12]:

$$K_P = f(K_{И}; n_{Э}) \quad (5)$$

«Используя расчетный коэффициент и количество эффективных ЭП, находим расчетные активную и реактивную мощности по формулам (6), (7) и (8)» [12]:

$$P_P = K_P \cdot P_C , \quad (6)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot Q_C \text{ при } n_{Э} \leq 10 , \quad (7)$$

$$Q_P = Q_C \text{ при } n_{Э} > 10 . \quad (8)$$

Полную расчетную мощность рассчитываем по формуле (9) [1]:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} . \quad (9)$$

После этого проводятся детальные расчеты, которые направлены на определение итоговых значений для электрических нагрузок на уровне напряжения 0,4 кВ. В частности, вычисляются такие параметры, как суммарное значение для всех электроприемников, а также номинальная активная мощность. Также определяются средние значения активной и реактивной мощности, что позволяет получить более точную картину энергетического потребления. Кроме того, проводится расчет расчетных активных и реактивных мощностей, что является важным этапом для дальнейшего анализа.

Определяется коэффициента использования, коэффициента мощности и полная мощность:

$$K_{И} = \frac{\sum P_{С}}{\sum P_{Н}}, \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_{С}}{\sum P_{С}}. \quad (11)$$

$$\sum S_{P} = \sqrt{\sum P_{P}^2 + \sum Q_{P}^2}. \quad (12)$$

Далее проводится детализированный расчет высоковольтной нагрузки на уровне напряжения 6–10 кВ, что является важным этапом в проектировании системы электроснабжения. Расчет ведется по методике [14]. Затем рассчитывается среднесменная нагрузка, которая учитывает режимы работы оборудования в течение смены. Особое внимание следует уделить тому, что синхронные двигатели могут использоваться для компенсации реактивной мощности. Это позволяет учитывать реактивную мощность с отрицательным знаком, что способствует более точным расчетам [14]. Затем проводится расчет итоговых параметров для высоковольтной нагрузки на уровне 6–10 кВ: суммарное значение всех электроприемников, номинальная активная мощность, средние значения активной и реактивной мощности. Далее рассчитываются общие коэффициенты, необходимые для анализа системы электроснабжения, с использованием формул (10) и (11). Коэффициент одновременности учитывает влияние одновременной работы различных электроприемников. С применением коэффициента одновременности определяются расчетные мощности. Для этого используются формулы (13) и (14) [14]:

$$P_{P} = K_{O} \cdot P_{С}, \quad (13)$$

$$Q_{P} = K_{O} \cdot Q_{С}. \quad (14)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузок по предприятию

Название цеха	$P_H$ , кВт	$n_{\Sigma}$	$\Sigma P_H$ , кВт	$K_{И}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , квар	$\frac{K_P}{K_O}$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , квар	$S_P$ , кВА
Нагрузка 0,4 кВ												
Котельная	–	4	1481	0,6	0,75	0.88	888,6	781,9	1,0 / –	888,6	860,1	1236,6
Насосная станция	–	3	291	0,7	0,8	0.75	203,7	152,7	1,0 / –	203,7	167,9	263,9
Ремонтно–механический цех	–	21	312	0,4	0,8	0.75	124,8	93,6	0,85 / –	106,1	93,6	141,4
Склад готовой продукции №1	–	7	188	0,2	0,6	1.33	37,6	50	0,96 / –	36,1	55	65,7
Производственный корпус №1	–	90	3154	0,3	0,6	1.33	946,2	1258,4	0,7 / –	662,3	1258,4	1421,7
Склад заполнителей	–	15	364	0,2	0,6	1.33	72,8	96,8	0,8 / –	58,2	96,8	112,9
Административно–бытовой корпус	–	20	54	0,5	0,7	1.02	27	27,5	0,85 / –	22,9	27,5	35,8
Бетоносмесительный цех №1	–	15	286	0,7	0,7	1.02	200,2	204,2	0,9 / –	180,1	204,2	272,1
Склад горюче–смазочных материалов	–	11	54	0,2	0,6	1.33	10,8	14,3	0,8 / –	8,6	14,3	16,7
Производственный корпус №2	–	80	2448	0,3	0,6	1.33	734,4	976,7	0,7 / –	514	976,7	1103,1
Склад эмульсора	–	9	56	0,2	0,6	1.33	11,2	14,9	0,91 / –	10,2	16,4	19,3
Галереи подачи заполнителей	–	31	140	0,7	0,75	0.88	98	86,2	0,85 / –	83,3	86,2	119,8

Продолжение таблицы 1

Название цеха	$P_H$ , кВт	$n_{\text{Э}}$	$\sum P_H$ , кВт	$K_{И}$	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_C$ , кВт	$Q_C$ , квар	$K_P / K_O$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , квар	$S_P$ , кВА
Столовая	–	–	355	0,5	0,7	1.02	177,5	181,1	– / –	177,5	199,2	266,8
Производственный корпус №3	–	80	3235	0,3	0,6	1.33	970,5	1290,7	0,7 / –	679,3	1290,7	1457,9
Компрессорная	–	7	255	0,7	0,8	0.75	178,5	133,8	0,91 / –	162,4	147,2	219,1
Бетоносмесительный цех №2	–	20	162	0,7	0,7	1.02	113,4	115,6	0,9 / –	102,1	115,6	154,2
Склад цемента	–	10	347	0,2	0,6	1.33	69,4	92,3	0,8 / –	55,5	101,5	115,2
Склад готовой продукции №2	–	9	263	0,2	0,6	1.33	52,6	69,9	0,91 / –	47,8	76,9	89,8
ИТОГО	–	173	13445	0,36	–	1,14	4917,2	5640,6	–	3998,7	5788,2	7035,1
Нагрузка 6 кВ												
Компрессорная станция – синхронные ЭД	630	6	3780	0,7	0,8	–1.02	2646	–2698	–/0,95	2513,7	–2967,8	3889,2
ИТОГО	630	6	3780	0,7	0,8	–1.02	2646	–2698	–/0,95	2513,7	–2967,8	3889,2
Вся нагрузка												
ИТОГО	–	179	17225	0,44	–	0,39	7563,2	2942,6	–	6512,4	2820,4	10924,3

Согласно таблице 1, полная расчетная нагрузка по предприятию составляет 10924,3 кВА.

## 2.2 Расчет мощности цеховых трансформаторных пунктов

Подключим промышленные объекты к трансформаторным подстанциям. Примем минимум мощности одной ТП – 1000 кВА, будем также учитывать взаимное расположение. Результаты объединения в таблицах 2–6.

Таблица 2 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ для ТП1

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
Котельная	1	800	1,25	888,6	400	860,1	1000,6
Насосная станция	1	133	1,71	203,7	65	167,9	228,2
Ремонтно–механический цех	2	1550	0,06	106,1	33	93,6	122,2
Итого	–	–	–	1198,4	–	1121,6	–
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА$							1351
Выбираем к установке трансформатор мощностью , кВА							1000

Таблица 3 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ для ТП2

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
Склад готовой продукции №1	3	9450	0,004	36,1	30,2	55	43,8
Производственный корпус №1	2	10625	0,09	662,3	554,3	1258,4	969,2
Итого				698,4		1313,4	
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА$							1013
Выбираем к установке трансформатор мощностью , кВА.							630

Таблица 4 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ для ТПЗ

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{Ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
Административно–бытовой корпус	2	1480	0,018	22,9	12,7	27,5	27,3
Производственный корпус №2	2	8500	0,086	514	430	976,7	735,4
Столовая	2	400	0,507	177,5	99	199,2	202,9
Итого	–	–	–	714,4	–	1203,4	–
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА:$							965,6
Выбираем к установке трансформатор мощностью , кВА.							630

Таблица 5 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ для ТП4

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{Ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
Склад заполнителей	3	1450	0,051	58,2	48,7	96,8	74,5
Бетоносмесительный цех №1	1	280	0,74	180,1	100,4	204,2	207,8
Склад горюче–смазочных материалов	3	180	0,06	8,6	7,2	14,3	10,9
Склад эмульсора	3	200	0,059	10,2	8,5	16,4	11,8
Галереи подачи заполнителей	2	160	0,61	83,3	35,9	86,2	97,4
Компрессорная	1	280	0,66	162,4	51,1	147,2	186,8
Бетоносмесительный цех №2	1	225	0,51	102,1	56,9	115,6	115,8
Склад цемента	3	300	0,262	55,5	46,4	101,5	78,8
Склад готовой продукции №2	3	9450	0,006	47,8	40	76,9	60,3
Итого	–	–	–	708,2	–	859,1	–
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА:$							844,1
Выбираем к установке трансформатор мощностью 1000 кВА.							630

Таблица 6 – Результаты расчетов выбора цеховых трансформаторов и КУ для ТП5

Наименование цехов предприятия	Категория надежности	$F_{Ц}, м^2$	$\sigma, кВА/м^2$	$P_p, кВт$	$Q_{к.р}, квар$	$Q_p, квар$	$S_p, кВА$
Производственный корпус №3	2	10625		679,3	568,6	1290,7	968,6
Суммарная полная мощность цехов, $\sum S_p, кВА:$							968,6
Выбираем к установке трансформатор мощностью , кВА.							630

В ТП1 приняли к установке трансформатор мощностью 1000 кВА, в остальных ТП – трансформаторы мощностью 630 кВА.

### 2.3 Расчет картограммы нагрузок

В таблице 7 объединены данные по цеховым ТП.

Таблица 7 – Данные по мощностям цеховых ТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
Номера цехов подключенных к данным цеховым ТП	1,2,3	4,5	7,10,13	6,8,9,11,12,15,16,17,18	14
$P_p$ , кВт	1198,4	698,4	714,4	708,2	679,3
$Q_p$ , квар	1121,6	1313,4	1203,4	859,1	1290,7

«Для начала нанесем генплан предприятия на картограмму с осями X и Y. Масштаб равен  $m_T = 30$  м/см. Теперь расположим цеховые ТП так, чтобы они располагались как можно ближе к месту прихода питания. При этом они должны располагаться только в пределах своих цехов. Если к цеховому ТП подключается несколько цехов, то данное ТП должно быть расположено так, чтобы до каждого цеха было примерно одинаковое расстояние» [9].

Размер цеховых ТП равен 10×10 метров.

«После этого нужно определить координаты X и Y каждой цеховой ТП.

Следующим шагом будет определение радиусов активных и реактивных нагрузок. Принимаем для наименьшей нагрузки (Ц5) радиус  $R_{A1} = 45$  м.» [9], тогда:

$$m_a = \frac{P_1}{\pi R_{A1}^2}, \quad (15)$$

$$m_a = \frac{679,3}{3,14 \cdot 45^2} = 0,106 \text{ кВт/м}^2.$$

Принимается  $m_a = 0,1$  кВт/м<sup>2</sup>.

Определяется радиус для наибольшей нагрузки цеховых ТП:

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{P_6}{\pi m_a}}, \quad (16)$$

$$R_{A1} = \sqrt{\frac{1198,4}{3,14 * 0,1}} = 61,7 \text{ м.}$$

Все укладывается в масштабы, а значит, значения выбраны верно. «Досчитаем радиусы для остальных цехов. Примем  $m_p = 0,1$  квар/м<sup>2</sup> и рассчитаем радиусы реактивных мощностей по формуле» [9]:

$$R_{Pi} = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi m_p}}. \quad (17)$$

Результаты в таблице 8.

Таблица 8 – Данные по радиусам мощностей цеховых ТП

Название цехового ТП	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
X, м	150	140	120	270	140
Y, м	570	420	290	290	240
$P_p$ , кВт	1198,4	698,4	714,4	708,2	679,3
$R_A$ , м	61,7	47,1	47,6	47,4	46,5
$Q_p$ , квар	1121,6	1313,4	1203,4	859,1	1290,7
$R_p$ , м	59,7	64,6	61,8	52,3	64,1

Изобразим центры цеховых ТП, и радиусы активных и реактивных нагрузок непосредственно на чертеже графической части проекта.

Теперь определяются условные ЦЭН активной и реактивной:

$$X_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (18)$$

$$X_{a0} = \frac{1198,4 \cdot 150 + 698,4 \cdot 140 + 714,4 \cdot 120 + 708,2 \cdot 270}{1198,4 + 698,4 + 714,4 + 708,2} +$$

$$+ \frac{679,3 \cdot 140}{679,3} = \frac{649320}{3997} = 162 \text{ м}$$

$$Y_{a0} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (19)$$

$$Y_{a0} = \frac{1198,4 \cdot 570 + 698,4 \cdot 420 + 714,4 \cdot 290 + 708,2 \cdot 290}{1198,4 + 698,4 + 714,4 + 708,2} +$$

$$+ \frac{679,3 \cdot 240}{679,3} = \frac{1551360}{3997} = 388 \text{ м}$$

$$X_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (20)$$

$$X_{p0} = \frac{1121,6 \cdot 150 + 1313,4 \cdot 140 + 1203,4 \cdot 120 + 859,1 \cdot 270}{1121,6 + 1313,4 + 1203,4 + 859,1} +$$

$$+ \frac{1290,7 \cdot 140}{1290,7} = \frac{908860}{5786} = 157 \text{ м}$$

$$Y_{p0} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i},$$

$$Y_{p0} = \frac{1121,6 \cdot 570 + 1313,4 \cdot 420 + 1203,4 \cdot 290 + 859,1 \cdot 290}{1198,4 + 698,4 + 714,4 + 708,2} +$$

$$+ \frac{1290,7 \cdot 240}{679,3} = \frac{2098010}{5786} = 362 \text{ м}$$

Получили точку А (162; 388) и точку В (157;362)

Вблизи точки А располагается ГПП. Вблизи точки В располагается ККУ или СК.

Выводы по разделу 2.

В данном разделе частично разработана система электроснабжения завода по производству строительных конструкций, состоящая из 18 цехов.

Полная суммарная электрическая нагрузка составила  $S_p=5142,3$  кВА. Для их питания рассчитали 5 цеховых трансформаторных подстанций. В качестве конденсаторных устройств выбрали КУ типа АУКРМ.

Составлена картограмма нагрузок и выбран их центр – точки А (162; 388) и точку В (157;362). Определено место расположения главной понижающей подстанции.

### 3 Расчет токов короткого замыкания

«В данном разделе нужно найти ток трехфазного КЗ на низкой стороне трансформатора» [6].

«Расчетная схема показана на рисунке 1, а соответствующая им схема замещения – на рисунке 2, а данные трансформатора – в таблице 9» [6].

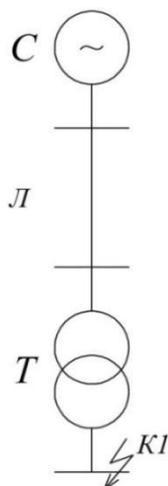


Рисунок 1 – Расчетная схема

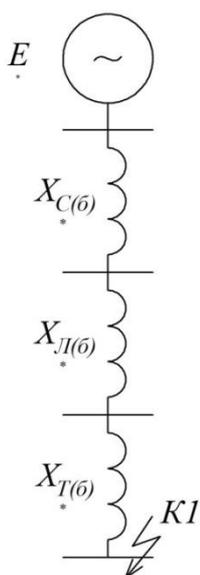


Рисунок 2 – Схема замещения

Таблица 9 – Параметры трансформатора

Тип	S <sub>н</sub> , МВА	Каталожные данные				
		U <sub>НОМ</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	P <sub>к</sub> , кВт	P <sub>х</sub> , кВт
		ВН	НН			
ТМН – 6300/110	6,3	115	10,5	10,5	35	6,5

«Также запишем дополнительные данные: S<sub>б</sub> = 1000 МВА; U<sub>б</sub> = 10,5 кВ; S<sub>к</sub> = 1250 МВА; k<sub>уд</sub> = 1,85; l = 4 км; x<sub>0</sub> = 0,4  $\frac{\text{Ом}}{\text{км}}$ .

Рассчитаем сопротивления системы» [29]:

$$x_{*C(б)} = \frac{S_б}{S_к}, \quad (21)$$

$$x_{*C(б)} = \frac{1000}{1250} = 0,8 \text{ о. е.}$$

«Рассчитаем сопротивления системы» [29]:

$$x_{*Л(б)} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_б^2}, \quad (22)$$

$$x_{*Л(б)} = 0,4 \cdot 4 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,12 \text{ о. е.}$$

«Рассчитаем сопротивление трансформатора» [29]:

$$x_{*Т(б)} = \frac{U_к}{100} \cdot \frac{S_б}{S_н}, \quad (23)$$

$$x_{*Т(б)} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{6,3} = 16,6 \text{ о. е.}$$

«Осталось рассчитать ток короткого замыкания» [29]:

$$x_{к1} = x_{*C(б)} + x_{*Т(б)}, \quad (24)$$

$$x_{к1} = 0,8 + 0,12 + 16,6 = 17,52 \text{ о. е.}$$

Базовый ток:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}, \quad (25)$$
$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 54,9 \text{ кА.}$$

Апериодическая составляющая базового тока:

$$I_{П,0} = \frac{E''_C}{x_{рез,К1}} \cdot I_6, \quad (26)$$
$$I_{П,0} = \frac{1}{17,52} \cdot 54,9 = 3,14 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{П,0} \cdot k_{уд}, \quad (27)$$
$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 3,14 \cdot 1,85 = 8,2 \text{ кА.}$$

Занесем полученные данные в таблицу 10.

Таблица 10 – Расчет КЗ в точке К1

Точка	Ударный ток	Периодическая составляющая тока КЗ
К1	8,2 кА	3,14 кА

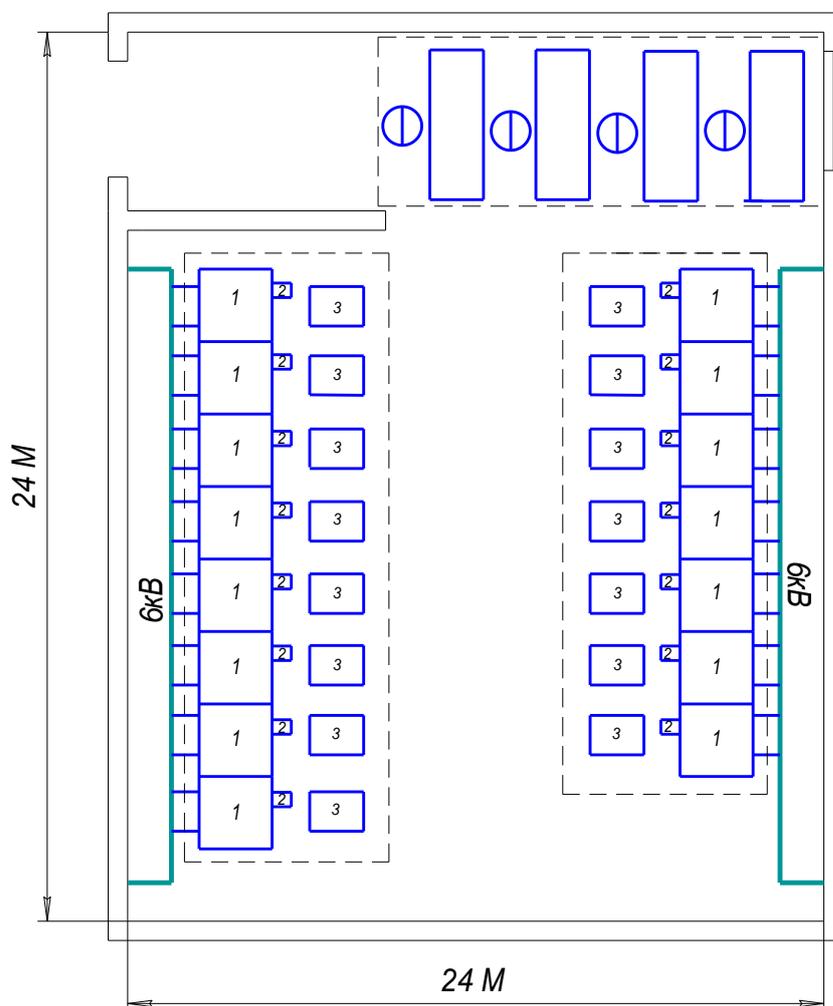
Выводы по разделу 3.

В результате расчета определен ударный ток трехфазного КЗ на низкой стороне трансформатора и периодическая составляющая тока КЗ.

## 4 Выбор и проверка оборудования

### 4.1 Техническое задание на проектирование АСТУЭиД

В данном разделе выполним расчет, выбор и проверку электрооборудования АСТУЭиД. Как было сказано ранее, данная система будет спроектирована и размещена на территории существующей РУ–6 кВ. Общая площадь РУ–6 кВ составляет 576 м<sup>2</sup>, и до модернизации имело планировку, показанную на рисунке 3.



1 – шкаф распределительный силовой; 2 – счетчик электроэнергии; 3 – масляный выключатель

Рисунок 3 – Планировка РУ–6 кВ до модернизации

Модернизация распределительного устройства на уровне 6 кВ будет включать в себя процесс замены устаревших масляных выключателей. Эти масляные выключатели обладают низкой долговечностью, что делает их непригодными для длительной эксплуатации, поэтому их заменят на более надежные вакуумные выключатели. Вакуумные выключатели будут установлены на выкатном элементе, который также известен как коммутационный модуль [11]. Установка этих вакуумных выключателей на выкатной элемент позволит управлять ими дистанционно из диспетчерского пункта, что значительно повысит оперативность и безопасность управления.

Мероприятия по модернизации будут осуществлены с использованием существующей рабочей площади, которая составляет 576 квадратных метров [17]. Планировка РУ–6 кВ после модернизации показана на рисунке 4.

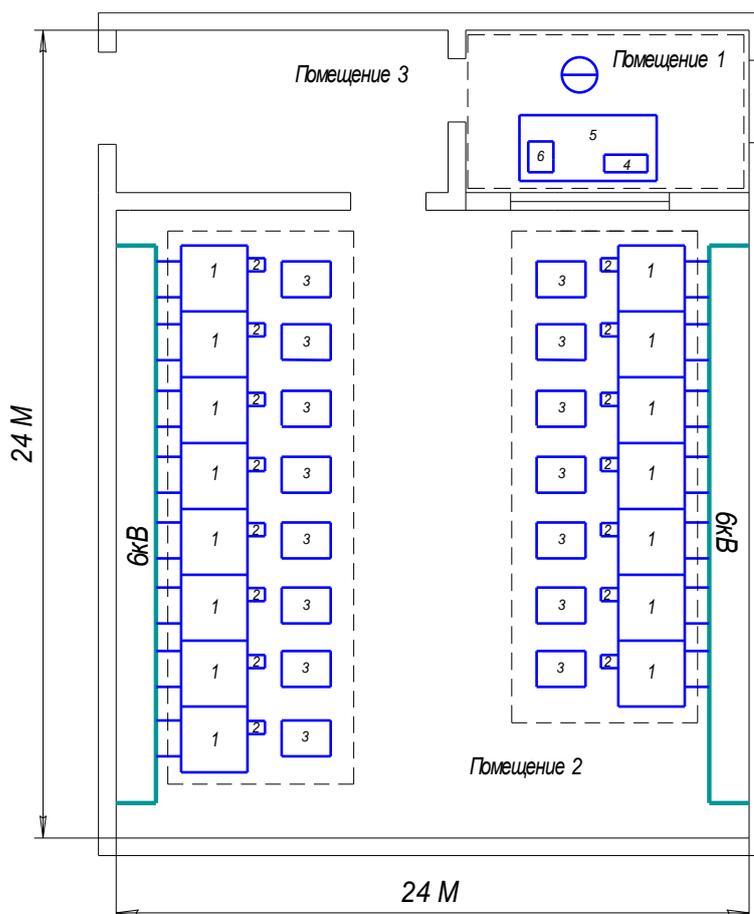


Рисунок 4 – Планировка РУ–6 кВ после модернизации

Рассмотрим назначение помещений, изображенных на рисунке 4:

- помещение 1 диспетчерский пункт;
- помещение 2 зона с распределительными силовыми шкафами;
- помещение 3 выполняет функцию тамбура.

## 4.2 Замена масляных выключателей

В исходной конфигурации масляные выключатели функционируют в непрерывном цикле без остановок, что требует постоянного контроля и обслуживания. Их обслуживанием занимаются несколько электромонтеров, работающих в одну смену для обеспечения бесперебойной работы.

До начала модернизации в распределительном устройстве использовались малогабаритные, горшковые масляные выключатели серии ВМП–6, которые имели ограниченный ресурс. Принцип действия этих масляных выключателей заключается в гашении электрической дуги, возникающей при размыкании контактов. Гашение электрической дуги осуществляется с помощью потока газомасляной смеси, образующейся в результате интенсивного разложения трансформаторного масла, что обеспечивает эффективное прекращение дуги [21].

«Выбор вакуумного выключателя основан на расчете рабочего тока в линиях электропередач.

Расчет произведем по формуле» [28]:

$$I_n = P_n / \sqrt{3} \times U_n \times \cos\varphi \times \eta, \quad (28)$$

где « $P_n$  – номинальная мощность, 6500 кВт;

$U_n$  – номинальное напряжение, 6000В;

$I_n$  – номинальный ток, А

$\cos\varphi$  – потери в сетях, 0,8

$\eta$  – к.п.д. электросетей, 0,9» [29]

$$I_n = 6500000 / 1,73 \times 6000 \times 0,8 \times 0,9 = 870 \text{ А.}$$

В настоящее время как теоретически, так и практически доказано, что гашение электрической дуги в вакуумной среде является значительно более эффективным по сравнению с аналогичным процессом в масляной среде. Это сравнение проводится относительно масляной среды. Кроме того, такое оборудование значительно проще в эксплуатации, особенно в бытовых условиях, что увеличивает его практическую ценность [16]. Среди прочих преимуществ вакуумных аппаратов можно выделить следующие аспекты:

- отсутствие необходимости в постоянном контроле за уровнем масла и его периодическом доливе.
- повышенная устойчивость к износу, что увеличивает срок службы оборудования.
- простота установки, эксплуатации и последующего ремонта, что облегчает обслуживание.
- бесшумная работа, что способствует более комфортной эксплуатации.
- высокий уровень чистоты, что особенно важно для эксплуатации в чувствительных средах.
- легкость замены вакуумной камеры при необходимости, что упрощает процесс обслуживания.
- относительно небольшие габаритные размеры устройства, что позволяет экономить пространство.
- отсутствие выделения опасных газов, загрязняющих окружающую среду, что повышает экологическую безопасность.
- быстрое срабатывание выключателя при обнаружении проблем в сети, что обеспечивает надежную защиту.

Приняли решение о выборе вакуумного выключателя модели ВВ/TEL 6–20/1000 У2 от компании «Таврида Электрик». Данный выключатель характеризуется номинальным током 1000 А. Внешний вид устройства изображен на рисунке 5, а основные технические характеристики приведены в таблице 11.

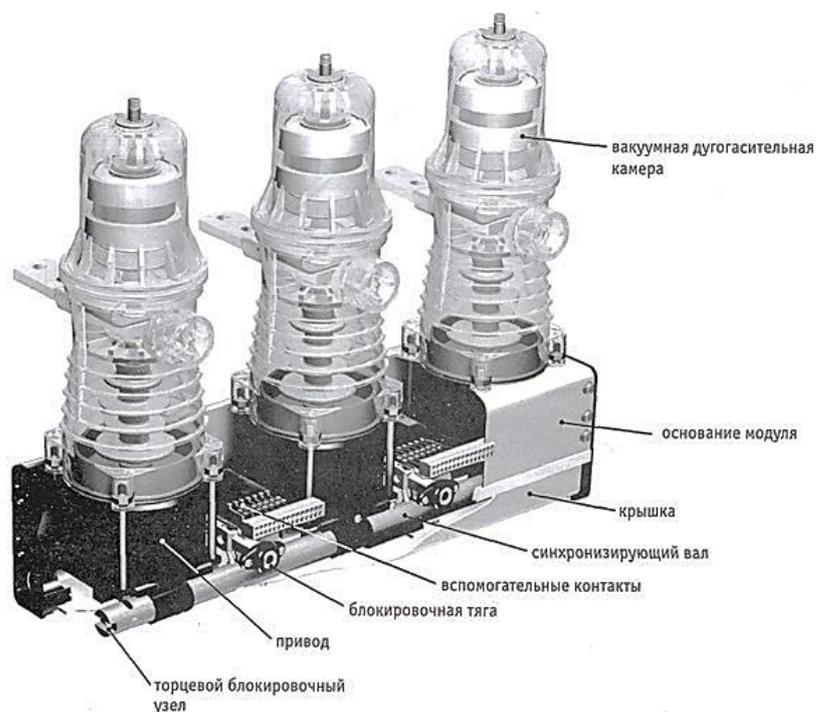


Рисунок 5 – Вакуумный выключатель BB/TEL 6–20/1000 У2

Таблица 11 – Технические характеристики BB/TEL 6–20/1000 У2

Номинальное напряжение ( кВ )	6
Номинальный ток ( А )	1000
Номинальный ток отключения ( кА )	20
Ток термической стойкости (3с) ( кА )	20
Сквозной ток короткого замыкания ( кА )	51
Ресурс по коммутационной стойкости: а) при номинальном токе отключения б) при номинальном токе	100 50000
Механический ресурс циклов включения и отключения	50000
Собственное время отключения ( мс )	85
Время протекания тока КЗ ( мс )	120
Разновременность замыкания и размыкания контактов ( мс )	4
Номинальное напряжение электромагнитов привода (В)	220
Электрическое сопротивление главной цепи полюса (мкОм)	40
Масса коммутационного модуля ( кг )	35
Срок службы, лет	25

«Вакуумные выключатели этой фирмы отличаются от большинства существующих выключателей тем, что они основаны на принципе раздельного управления контактами вакуумных дугогасительных камер фаз аппарата» [29].

### **4.3 Разработка конструкции выкатного элемента**

«Главным условием при разработке и конструировании выкатного элемента (ВЭ) является исключение работы человека в зоне с повышенным электромагнитным излучением, а также упрощение ремонта вакуумных выключателей.

Выкатной элемент представляет собой металлическую конструкцию служащую для установки, крепления вакуумных выключателей и предназначен для коммутации электрических цепей в нормальных и аварийных режимах в силовых распределительных шкафах внутренней и наружной установки с номинальным напряжением до 10 кВ трехфазного переменного тока частотой 50 Гц для систем с изолированной нейтралью» [6].

«Выкатной элемент (ВЭ) с вакуумным выключателем типа ВВ/TEL, показанный на рисунке 6, представляет собой сборную металлоконструкцию, состоящую из следующих основных частей:

- основания 1, со смонтированным на нем фиксатором 2, узла заземления 3;
- кронштейнов 4;
- стоек 5, с закрепленным на них вакуумным выключателем 6;
- кронштейнов 7 для крепления опорных полимерных изоляторов 8;
- нижней 9 и верхней 10 частей фасадных листов;
- уголков 11;
- шин 12;
- пластин 13;

- розеточных контактов 14 и 15, выполненных в виде тюльпанов, сочленяемых с неподвижными контактами корпуса ШРС;
- ручек 16;
- блокировочного узла 17;
- жгутов со штепсельными разъёмами 18 (ХР2 и ХР1 );
- электродвигателя с червячным редуктором в корпусе 19;
- колес выкатного элемента 20;
- защитные металлические листы 21;
- вал с подшипниками, на который насажено червячное колесо 22;
- блок управления вакуумными выключателями 23;
- концевых выключателей 24» [6].

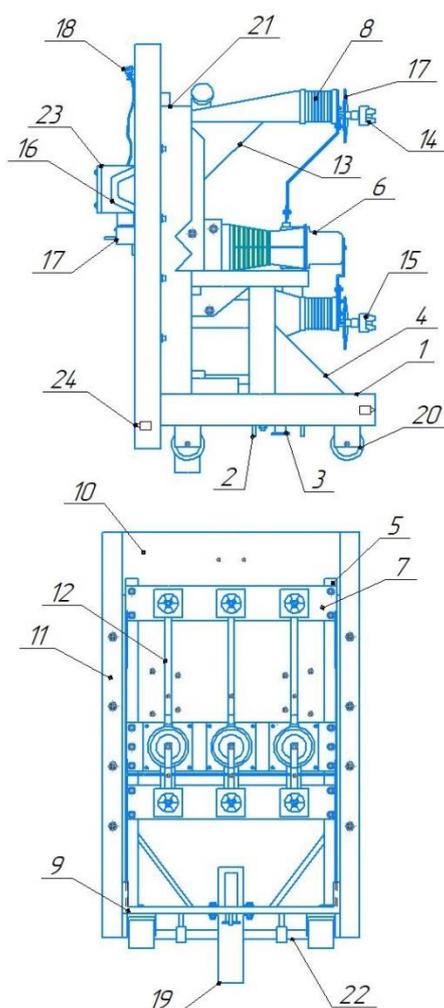


Рисунок 6 – Выкатной элемент

«Для создания металлоконструкции выкатного элемента, а так же крепления и фиксации описанных частей применяем крепежные болты М10, М16 и дуговую сварку.

Выбор электродвигателя для ВЭ.

Для выезда и заезда выкатного элемента из распределительного силового шкафа необходимо подобрать электродвигатель» [13].

Расчет электродвигателя производим по формуле:

$$P=F \times v/n, \quad (29)$$

где « $P$  – мощность выбираемого электродвигателя;

$F$  – сила необходимая для сдвига выкатного элемента с места;

$v$  – скорость тележки;

$n$  – к.п.д. червячной передачи» [13].

$$F= m_a + F_{тр}, \quad (30)$$

где « $F_{тр}$  – сила трения;

$a$  – ускорение;

$m$  – масса выкатного элемента с вакуумными выключателями»

[13].

$$m = m_T + m_p, \quad (31)$$

где « $m_T$  – масса выкатного элемента;

$m_p$  – масса вакуумных выключателей» [13];

$$m = 121 + 30 = 151 \text{ кг.}$$

Находим ускорение тележки по формуле:

$$a = (V-V_0)/t, \quad (32)$$

где « $V_0$  – начальная скорость;

$t$  – время разгона» [13];

$$a = (0,3-0)/1=0,3 \text{ м/с}^2.$$

Находим силу трения по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \mu \times m \times g, \quad (33)$$

где «g – ускорение свободного падения;

$\mu$  – коэффициент трения» [13];

$$F_{\text{тр}} = 0,2 \times 151 \times 9,8 = 296 \text{ Н};$$

$$F = 151 \times 0,3 + 296 = 341 \text{ Н}$$

Находим необходимую мощность электродвигателя:

$$P = 341 \times 0,3 / 0,8 = 128 \text{ Вт}.$$

«Выбираем двигатель постоянного тока серии ДП–108 с реверсом, ГОСТ 20815–93. Мощность двигателя – 150Вт. Параметры ДПТ серии ДП–108 приведены в таблице 12» [22].

Таблица 12 – Параметры ДПТ серии ДП–108 [25]

Наименование параметра	Значение параметры
«Напряжение питания (постоянный ток), В	27
Мощность, Вт	150
Частота вращения, об/мин	2200
Номинальный момент, Гсм	4200
Режим работы	цикл в 1 мин.
Направление вращения	Реверсивное
Степень защиты	IP20
Климатическое исполнение	У2
Масса, кг» [22]	3,7

Общий вид двигатель постоянного тока серии ДП–108 представлен на рисунке 7.

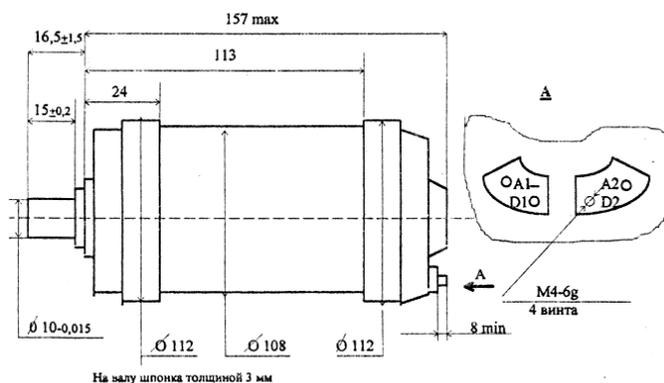


Рисунок 7 – Двигатель постоянного тока серии ДП–108

Работа выкатного элемента.

«Выкатной элемент может занимать в корпусе распределительного силового шкафа (ШРС) два фиксированных положения:

- рабочие розеточные контакты главных цепей и штепсельные разъемы вспомогательных цепей замкнуты;
- контрольные розеточные контакты главных цепей разомкнуты, штепсельные разъемы вспомогательных цепей замкнуты.

Положение ВЭ вне ШРС является ремонтным, все цепи разомкнуты (для осмотра и ремонта ВЭ может полностью выкатываться из корпуса шкафа)» [15].

«Перемещение выкатного элемента (ВЭ) осуществляется с помощью электропривода, который оснащен червячным редуктором и управляется командами, поступающими из диспетчерского пункта. В случае отказа электропривода предусмотрена возможность перемещения ВЭ вручную, с использованием рычага типа «кривого стартера», что обеспечивает дополнительную надежность.

Процесс заезда выкатного элемента в распределительный силовой шкаф включает несколько этапов, каждый из которых важен для корректного функционирования системы. Сначала подается питание на электродвигатель из диспетчерского пункта, что инициирует заезд ВЭ в распределительный силовой шкаф (ШРС). Затем происходит срабатывание концевого

выключателя, после чего подпружиненные токовые ножи входят в розеточные контакты ВЭ, обеспечивая надежное соединение. В завершение процесса на диспетчерском пункте выключается аварийная лампочка, сигнализирующая о нормальном завершении операции» [15].

«Процесс выезда выкатного элемента из распределительного силового шкафа также состоит из нескольких ключевых этапов, каждый из которых направлен на обеспечение безопасности и эффективности работы. Сначала подается питание на электродвигатель из диспетчерского пункта, что инициирует разъединение токовых ножей с розеточными контактами ВЭ. Затем выкатной элемент начинает движение на выход, при этом происходит срабатывание концевого выключателя, что приводит к остановке ВЭ. После этого осуществляется ремонт и осмотр выкатного элемента и вакуумного выключателя, что гарантирует их исправное состояние и готовность к дальнейшей эксплуатации» [15].

Выводы по разделу 4.

Создание АСТУЭиД потребовало модернизации существующего помещения РУ-6 кВ. В нем появилось отдельное помещение, в котором разместилось электрооборудование диспетчерского пункта и рабочее место оператора. Для повышения надежности и долговечности работы произведена замена существующих масляных выключателей на более современные вакуумные модели ВВ/TEL 6–20/1000 У2. Была разработана конструкция выкатного элемента с расчетом необходимого для перемещения тележки электродвигателя, в качестве которого был выбран двигатель постоянного тока модели ДП-108 мощностью 150 Вт.

## 5 Выбор элементов информационно–измерительных систем технического учета электроэнергии и диспетчеризации

### 5.1 Выбор счетчика электроэнергии

«На РУ–6кВ для коммерческого учета активной электроэнергии в одном направлении в трех– или четырехпроводной сети переменного тока применялись трехфазные однотарифные счетчики «Меркурий 230 АМ», показанные на рисунке 8. Учет активной электроэнергии в однотарифном режиме осуществляется нарастающим итогом с момента ввода в эксплуатацию, причем только в сторону увеличения показаний при любом нарушении фазировки подключения токовых цепей счетчика. В этом счетчике применяются электромеханическое отсчетное устройство и светодиодный индикатор наличия и потребления электроэнергии. Главным отличием счетчика «Меркурий 230 АМ» от нового устанавливаемого счетчика (СЭТ 4ТМ) является отсутствие гальванически развязанных стандартный телеметрический выход позволяет эксплуатировать счетчик в составе АСКУЭ» [6].



Рисунок 8 – Электросчетчик «Меркурий 230 АМ»

«Счетчик СЭТ 4ТМ – микропроцессорные полностью электронные приборы, основные их преимущества – высокая надежность, точность (классы точности 0,2; 0,5; 1; 2), малая чувствительность к изменениям температуры окружающей среды, возможность передачи информации по цифровым и импульсным каналам, учет тарифных зон. Счетчики измеряют активную и реактивную энергию, автоматически пересчитывают электроэнергию на первичную сторону (с учетом коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов тока и напряжения).

На РУ–6кВ устанавливаем счётчики СЭТ 4ТМ на отходящих линиях, в соответствии с рисунком 9. Так как на РУ невозможна передача мощности в систему, то на отходящих линиях 6 кВ устанавливаем счётчики СЭТ 4ТМ, позволяющие измерять активную энергию и максимальную мощность» [6].

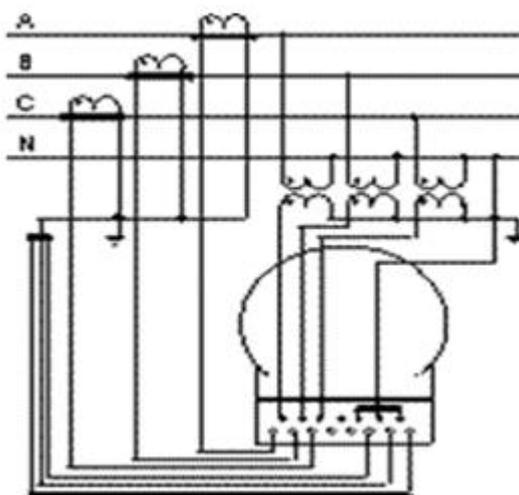


Рисунок 9 – Схема подключения электросчетчика СЭТ 4ТМ

«Такие схемы подключения счетчиков позволяют эффективно использовать выбранные трансформаторы тока и напряжения не только для выполнения функций релейной защиты, но и для точного учета электроэнергии на высоковольтных линиях 6–10 кВ. Это расширяет функциональные возможности оборудования и повышает его эффективность» [18].

Параметры счетчика СЭТ 4ТМ подробно представлены в таблице 13, что позволяет оценить его технические характеристики.

Таблица 13 – Параметры счетчика электроэнергии

Номинальное (максимальное) значение силы тока ( А )	от 1 до 5(10)
Ток чувствительности (мА )	1
Номинальное значение напряжения ( В )	220
Рабочий диапазон частот ( Гц )	50
Полная мощность, потребляемая последовательной цепью, (В·А)	0,1
Число индицируемых разрядов жидкокристаллического	8
Точность хода встроенных часов	±5с/сутки
Скорость обмена информацией, по интерфейсам RS–485 ( бит/с)	9600
Самодиагностика	непрерывная
Средняя наработка до отказа ( ч )	90000
Средний срок службы ( лет )	30
Масса ( кг )	1,75
Габаритные размеры, ( мм )	330x170x80,2

Таким образом, счетчик СЭТ 4ТМ обеспечивает стабильные и точные измерения.

## 5.2 Выбор программируемого контроллера

«Наиболее положительно в работе зарекомендовала себя фирма «ADVANTECH», которая может предоставить программируемый контроллер и распределительные системы ввода – вывода данных различного типа. Анализируя число возможных портов ввода данных, от конечных выключателей выбранного выше технологического оборудования, коммутационных модулей и счетчиков электроэнергии, можно легко определить необходимое число модулей ввода – вывода и выбрать к установке программируемый контроллер типа ADAM–5510E/TCP. Устройство ADAM–5510E/TCP имеет встроенный порт Ethtunet,

предоставляет большему числу управляющих компьютеров прямой доступ к данным о состоянии контролируемого объекта с помощью OPC–сервера или элементов управления ActiveX. При этом ADAM–5510E/TCP использует популярный сетевой протокол ModBus/TCP, что позволяет легко интегрировать устройства ADAM–5510E/TCP со SCADA–системами или другими пользовательскими приложениями. Параметры контроллера в таблице 14» [19].

Таблица 14 – Технические характеристики контроллера

Модель	ADAM–5510E/TCP «ADVANTECH»
Модуль ввода сигнала	ADAM–5051S 16×2 кан. До – 50В
Модуль вывода сигнала	ADAM–5056S 16×2 кан. До – 40В / 0,2А
Каналы для внешней связи	10/100Base–T и RS–485
Питание не стабилизированное	от + 10 до + 30 В.
Защита от неправильной полярности	Имеется
Диапазон рабочих температур	от – 10 до + 70°С
Допустимая влажность воздуха	от 5 до 95 процентов без конденсата.

Таким образом, контроллер типа ADAM–5510E/TCP наилучшим образом подходит для использования в АСКУЭ.

### 5.3 Блок управления вакуумными выключателями

«Блоки управления БУ/TEL–12А вакуумными выключателями ВВ/TEL по основным функциям аналогично назначению приводов традиционных выключателей: управление выключателем путем подачи на его электромагниты управления порции электрической энергии, а также взаимодействие с релейной защитой и автоматикой. В отличие от традиционных приводов, блоки управления представляют собой электронные устройства нового поколения, позволяющие с высокой точностью поддерживать режимы управления выключателем, обеспечивая

тем самым оптимальные условия для его работы. Современная элементная база в совокупности с оригинальными схмотехническими решениями позволила создать блок управления, который без особого труда вписывается в электрические схемы и конструкции распределительных устройств различных существующих проектов» [10].

«Блок управления БУ/TEL–12А разработан для установки на выкатных элементах и в распределительных силовых шкафах на подстанциях и в распределительных устройствах, обеспечивая эффективное управление электрооборудованием и надежную работу систем электроснабжения.

Предназначение блока управления БУ/TEL–12А включает установку на выкатных элементах и в распределительных силовых шкафах, что позволяет обеспечивать надежную работу электрооборудования как на подстанциях, так и в распределительных устройствах» [10].

«Блок управления БУ/TEL–12А, спроектированный для установки на выкатных элементах и в распределительных силовых шкафах на подстанциях и в распределительных устройствах, играет ключевую роль в обеспечении стабильной работы электрооборудования и эффективного управления электроснабжением.

Для установки на выкатных элементах и в распределительных силовых шкафах на подстанциях и в распределительных устройствах предназначен блок управления БУ/TEL–12А, обеспечивающий надежное и эффективное функционирование систем электроснабжения и контроль за работой электрооборудования» [10].

«БУ/TEL обеспечивает выполнение следующих функций:

- управление выключателем;
- выполнение стандартного цикла АПВ О–0,3с–ВО–15с–ВО;
- блокировку повторных включений;
- блокировку включения выключателя при наличии команды отключения;
- контроль исправности цепи электромагнитов выключателя;

- сигнализацию внешних неисправностей цепей управления и внутренних неисправностей с идентификацией вида неисправности;
- включение выключателя от вспомогательного источника питания (только в БУ/TEL–X/X–12–03А);
- сигнализацию аварийного отключения выключателя (только в БУ/TEL–X/X–12–03А).
- БУ/TEL предназначен для эксплуатации в районах с умеренным климатом в условиях, предусмотренных для климатического исполнения У и категории размещения 2 по ГОСТ 15150 и ГОСТ 15543.1, условия эксплуатации при этом следующие:
  - высота над уровнем моря не более 2000 м;
  - верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха плюс 55°С;
  - нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха минус 40°С;
  - верхнее значение относительной влажности воздуха 100% при плюс 25°С;
  - среднегодовое значение относительной влажности воздуха 80% при плюс 15°С» [10].

«БУ/TEL должен эксплуатироваться во взрыво– и пожаробезопасной среде. Тип атмосферы II (промышленная), содержание коррозионных агентов и запыленность по ГОСТ 15150.

Рабочее положение в пространстве – любое.

Выбираем блок управления БУ/TEL–100/220–12–03А, так как он позволяет обеспечить неизменность схемы управления и защиты при реконструкции РУ–6кВ и замене масляных выключателей на вакуумные выключатели» [10]. Параметры блока показаны в таблице 15, внешний вид на рисунке 10. Это достигается подбором резисторов–эквивалентов.

Таблица 15 – Параметры блока управления БУ/TEL–100/220–12–03А

Параметр	Величина
Диапазон допустимых напряжений оперативного питания, % от номинального	80–125
Диапазон напряжения питания от вспомогательного источника, В	≈12–30
Номинальное напряжение, В	≈110/220
Мощность, потребляемая от источника оперативного питания, не более: в режиме установления выходного напряжения, Вт/ВА в установившемся режиме, Вт/ВА	50/70 10/15
Время сохранения способности к отключению выключателя, (с)	30
Диапазон значений токов, обеспечивающих заряд конденсатора отключения, А	2–300
Максимальное количество циклов ВО в час	100
Масса, кг	3,2
Габаритные размеры, мм	205×250×110

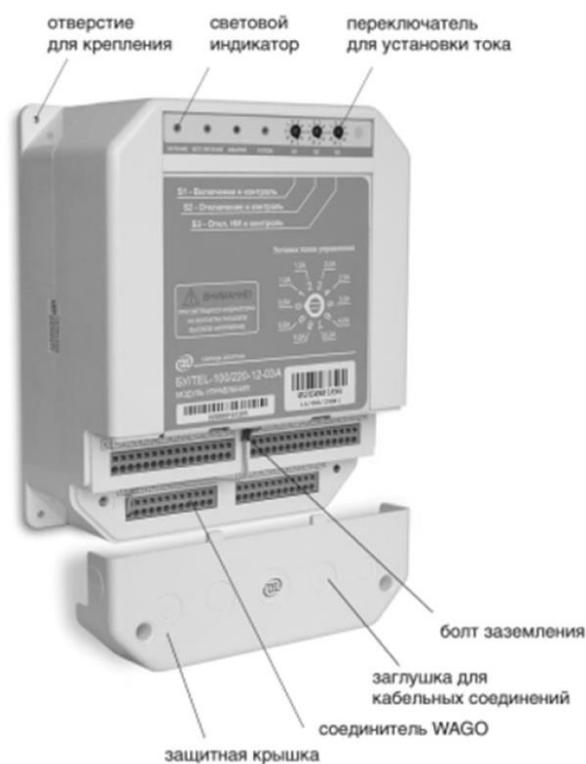


Рисунок 10 – Внешний вид блока управления БУ/TEL–100/220–12–03А

Достоинством блока управления БУ/TEL также является его высокая надежность при работе в условиях высокой запыленности.

## 5.4 Разработка структурной схемы

Система управления построена на основе программируемого контроллера ПК.

«Выкатные элементы и вакуумные выключатели управляются по командам с ПК, которые передаются по жгутам, собранных из проводов тип МГШВ –  $0,75\text{мм}^2$ , в виде электрических дискретных сигналов  $\pm 27\text{В}$ . Для исключения прохождения силовых токов по контактам ПК, выполнена гальваническая развязка силовых сигналов от сигналов управления. Для достижения этой цели на каждый элемент управления разработан и установлен свой блок управления, который включает силовые цепи при поступлении сигналов управления на управляющие контакты. В виде коммутационных аппаратов применены симисторные блоки фирмы «КонтрАвт». Для подтверждения выполнения команды выезда и заезда коммутационного модуля в шкаф ШРС система управления снабжена путевыми конечными выключателями со сдвоенными контактами серии ВПК 2110, которые соединены с ПК» [4]. «Для вывода параметров ЛЭП и учета электроэнергии, система снабжена персональным компьютером, который размещён на рабочем столе оператора. Связь персонального компьютера с блоком центрального управления БЦУ, где размещается ПК, выполняется кабелем УТР–5 (витая пара). Для учета активной и реактивной энергии на ШРС устанавливаются многофункциональные счетчики электроэнергии. Связь ПК с данными счетчиками выполняется посредством RS–485. Вся информация о потреблении электроэнергии на предприятии, выводится на монитор персонального компьютера для контроля оператором.

Поскольку все датчики являются дискретными, нет необходимости в применении устройств АЦП и ЦАП. Для нормальной работы автоматизированной системы диспетчерского управления достаточно дискретного устройства ввода–вывода» [4].

## 5.5 Выбор устройства ввода вывода

«Для ввода и вывода сигналов управления, в данном проекте, нужно устройство позволяющее принимать сигналы от 30 датчиков и иметь не менее 31-го порта, для вывода сигналов управления. В данном случае, наиболее эффективным является применение выбранного для установки программируемого контроллера, тип ADAM-5510E/TCP «ADVANTECH». Данный ПК оснащён навесными модулями ввода данных и вывода, с числом каналов равным 16-ти на каждый модуль, что наиболее удобно для разделения сигналов по принадлежности оборудования и занимаемых модулей ПК, а так же имеет защиту от электромагнитных помех и скачков напряжения» [13]. «Для сборки комплектации ПК с использованием указанных модулей предполагается следующий порядок действий: первоочередно, будет осуществлен выбор трех модулей типа ADAM-5551S с 16 каналами каждый для передачи сигналов от трансформаторов тока в ПК» [13]. «Для обеспечения функциональности передачи сигналов от ПК к выкатным элементам, вакуумным выключателям и лампочкам аварийной сигнализации, будет использовано два модуля типа ADAM-5556S с 16 каналами каждый.

Установка всех указанных модулей произойдет на специальной панели ПК, которая предназначена для размещения до восьми данных модулей, согласно указаниям. Параметры контроллера в таблице 16» [8].

Таблица 16 – Технические характеристики контроллера ADAM-5510E/TCP «ADVANTECH»

Модуль ввода дискретного сигнала	ADAM-5551S 16×3 кан. До – 50В
Модуль вывода дискретного сигнала	ADAM-5556S 16×3 кан. До – 40В
Каналы для внешней связи	10/100Base-T и RS-485
Питание не стабилизированное	от + 10 до + 30 В.
Мощность	1,1Вт
Защита от неправильной полярности	Имеется
Диапазон рабочих температур	от – 10 до + 70°C
Допустимая влажность воздуха	от 5 до 95 процентов без конденсата.

В контроллере предустановлена операционная система MS DOS. Применяется оперативная память типа SRAM.

## 5.6 Выбор датчиков

Внешний вид путевого выключателя показан на рисунке 11.

«Для контроля место положения и выезда и заезда коммутационного модуля в распределительный силовой шкаф, систему нужно оснастить датчиками. Наиболее удобными для применения в условиях автоматизированного участка являются контактные путевые выключатели, служащие для контроля положения объекта под воздействием управляющих упоров путем механического контакта в определенных точках пути. Путевые выключатели обладают низкой стоимостью, высокой износостойкостью, просты в настройке, монтаже. Такие датчики имеют большой ресурс до отказа, нечувствительны к загрязнениям, имеют высокий предел виброзащиты и ударопрочности» [7].



Рисунок 11 – Путевой выключатель

Выбираем путевые выключатели фирмы «Энергопромавтоматика» тип ВПК2110 [23]. «Выключатели путевые контактные типа ВПК2110 являются аппаратами общего назначения, прямого действия с самовозвратом и предназначены для коммутации электрических цепей управления переменного тока напряжением до 660В частотой 50 и 60Гц, технические характеристики которого показаны в таблице 17, а монтажная схема на рисунке 12» [20].

Таблица 17 – Технические характеристики путевого контактного выключателя

Номинальный ток (переменный и постоянный), А	10
Вид привода	толкатель
Рабочий ход, мм	8,5
Усилие срабатывания, Н, не более	15
Усилие отпускания, Н, не более	2
Количество контактных полюсов (замыкающих/замыкающих)	2/2

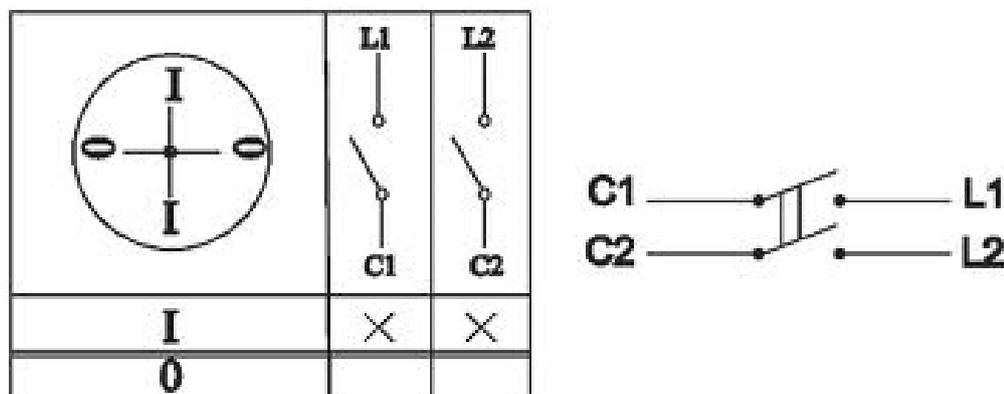


Рисунок 12 – Монтажная схема путевого выключателя

Достоинством данного путевого выключателя является высокая механическая износостойкость, составляющая 12500000 циклов.

## 5.7 Принцип действия объекта управления

«Объектом управления в данном дипломном проекте является коммутационный модуль и расположенные на нем вакуумные выключатели, а также силовые распределительные шкафы (ШРС), на которые установлены счетчики электроэнергии. Команды управляющей программы, записанной в памяти программируемого контроллера, поступают на электродвигатель коммутационного модуля: при этом он выезжает из ШРС по монорельсам для ремонта линии электропередач из рабочей зоны и заезжает в ШРС по окончании ремонта. Вся информация со счетчиков поступает по каналу RS 485 на диспетчерский пункт. В блоках управления установлены электрические аппараты, выполняющие гальваническую развязку силовой цепи от информационной» [24]. В качестве которых, применены симисторные блоки и твердотельные реле бесконтактной коммутации фирмы «КонтрАвт». «Программируемый контроллер установлен в центральном блоке управления, размещённого в первом помещении, на рабочем месте оператора. Блок центрального управления связан информационной сетью с персональным компьютером, что позволяет вводить данные в контроллер и осуществлять контроль исправной работы в целом. В случае аварии на линии электропередачи происходит автоматическое переключение на резервную линию из диспетчерского пункта. Разработанная система управления позволяет не только управлять коммутационными модулями, но и тестировать оборудование перед работой и следить за работоспособностью исполнительных элементов во время работы, проверять исправность контроллера, счетчиков и трансформаторов тока» [24].

«Если происходит отказ исполнительного элемента в рамках работы автоматизированной системы, производится генерация компьютером сигнала о неисправности, что приводит к временной остановке функционирования системы до устранения неисправности.

В случае, если любой из исполнительных элементов автоматизированной системы выходит из строя, компьютер автоматически генерирует сигнал о неисправности, что требует приостановки работы системы до устранения неисправности» [24].

## **5.8 Разработка общего вида автоматизированного диспетчерского пункта**

При проектировании автоматизированного диспетчерского пункта необходимо «учитывать такие факторы как:

- площадь размещения проектируемого автоматизированного диспетчерского пункта, включая обслуживающее его оборудование и оснастку.
- возможность беспрепятственного подъезда к коммутационным модулям цехового транспорта для выполнения погрузочно–разгрузочных и ремонтных работ.
- наличие на месте проектировки автоматизированного диспетчерского пункта всех необходимых для его работы систем питания и коммуникаций.
- безопасность автоматизированного диспетчерского пункта, наличие знаков, предупреждающих о высоком напряжении в рабочей зоне, возможность установки защитных ограждений, наличие пожарного щита и системы аварийной сигнализации» [26].

«Автоматизированный диспетчерский пункт должен размещаться в здании РУ–6кВ отдельно от основных производственных цехов, так как представляет собой источник повышенной опасности для человека, заключающаяся в поражения электрическим током.

А также сама зона, где располагается электрооборудование, является опасной для человека из–за повышенного уровня электромагнитного

излучения, и ее тоже необходимо изолировать от основного производства. Микроклимат должен быть также определённого качества по чистоте, что не представляется возможным в условиях размещения участка в нутрии производственной части цеха» [27].

«Проектируемый автоматизированный диспетчерский пункт занимает такую же площадь, как участок начального варианта, что исключает необходимость в специальных расчетах на дополнительную рабочую площадь, так как предоставленная площадь для размещения оборудования обеспечивает достаточное пространство для удобного размещения всех элементов, необходимых для полноценной работы.

Предложенная площадь для размещения оборудования, которая является равной площади участка начального варианта проектируемого автоматизированного диспетчерского пункта, позволяет легко разместить все необходимые для его полноценной работы элементы оборудования, что исключает потребность в специальных расчетах на дополнительную рабочую площадь» [27].

«Для установки вновь вводимого автоматизированного оборудования на диспетчерском пункте, нужно произвести демонтаж масляных выключателей и старых счетчиков электроэнергии из диспетчерского пункта (первого варианта). Возвести перегородки с выдержкой размеров. Перегородки позволяют нам отделить зону, где размещены силовые распределительные шкафы и коммутационные модули, от диспетчерского пункта, размещенного в нем рабочего места оператора.

Перегородки предлагается выполнять из строительного кирпича, размер перегородки равен 150 мм с учётом отштукатуренных стен строительным цементным бетоном. Между помещением, где размещаются силовые распределительные шкафы, коммутационные модули и рабочим местом оператора установлено окно, для осуществления визуального контроля над исправной работой автоматического оборудования в рабочем процессе. Сделать гаражные ворота. Силовые распределительные шкафы

расположены друг за другом, в два ряда на определенном расстоянии для выката коммутационных модулей и свободного заезда электроподъемников» [27].

«Всё автоматическое оборудование на участке размещено в отдельных от людей помещениях, рабочее место оператора находится за пределами ограждения. Также участок оснащен пожарным щитом, аптечкой и телефоном. Все работы по монтажу производятся специальной бригадой монтажников согласно инструкции предприятия с соблюдением необходимых мер техники безопасности и санитарных норм. Электромонтажные работы выполняются с соблюдением, требований действующих правил устройства электроустановок» [2].

Выводы по разделу 5.

В данном разделе произведен выбор основных элементов проектируемой АСТУЭиД. В том числе выбран электросчетчик модели СЭТ 4ТМ, управляющий программируемый контроллер типа ADAM-5510E/TCP, блоки управления вакуумными выключателями модели БУ/TEL-12А, концевые устройства и устройства ввода/вывода ADAM-5551S и ADAM-5556S, путевые выключатели ВПК2110. Составлена структурная схема автоматизированной системы.

## **6 Программное обеспечение информационно–измерительных систем технического учета электроэнергии и диспетчеризации**

Составление алгоритма работы диспетчерского пункта [30].

«Для обеспечения согласованности действий всех единиц оборудования автоматизированной системы диспетчерского управления коммутационными модулями, необходимо составить алгоритм его работы. Алгоритм – это целенаправленная взаимосвязанная система процедур управления.

Алгоритм работы проектируемого автоматизированного диспетчерского пункта состоит из основной программы, которая включает в себя:

- диагностику оборудования;
- управление коммутационными модулями;
- управление вакуумными выключателями;
- переход на запасную линию электропередач» [20].

«При включении питания, на персональном компьютере данного автоматизированного диспетчерского пункта в системе управления запускается основная программа, в которой проводится диагностика оборудования и сети, включающая проверку контроллеров, счетчиков и блоков управления. При отрицательном результате проверки на монитор ПК выводится ошибка о неисправности оборудования.

При исправном оборудовании происходит передача электроэнергии в рабочем порядке. На ПК выводятся данные параметров электрической сети и ведется учет электроэнергии по последовательному интерфейсу RS485 с помощью многотарифных счетчиков СЭТ 4ТМ» [20].

При возникновении перегрузки или короткого замыкания, при котором ток в одной из линий электропередач достигает 20 кА, начинается процесс открытия контактов фидера ( $SQ_{32}=0$ ).

Через пять секунд после открытия контактов подается команда на их замыкание ( $SQ_{32}=1$ ). Если ток в линии продолжает быть на уровне 20 кА, происходит повторное отключение фидера ( $SQ_{32}=0$ ), сопровождаемое

отправкой сигнала аварии в диспетчерский пункт и активацией аварийной индикации на панели управления [5].

«Затем выполняется команда на переключение на резервную линию, что включает закрытие вакуумного выключателя на перемычке между линиями. Поскольку ремонт силового оборудования запрещен в рабочей зоне, инициируется команда на выезд коммутационного модуля из распределительного силового шкафа ( $KV_1=1$ )» [20]. Если время выезда модуля превышает установленное значение  $T_{кр}$ , на экране монитора появляется сообщение «Поломка коммутационного модуля».

«В случае успешного выезда модуля в конечной точке его хода срабатывает концевой выключатель ( $SQ_1=1$ ), что приводит к отключению питания электродвигателя и отправке сигнала о низком уровне на контроллер. На экране монитора отображается информация «Коммутационный модуль выехал», что подтверждает обесточивание линии. Выполняется подробная инспекция и проводится ремонт линий электропередач и коммутационного модуля на подстанции» [20].

После успешного устранения выявленных неисправностей на линии и в модуле, выдается специальная команда на въезд коммутационного модуля ( $KV_1=0$ ). В случае, если время, необходимое для въезда модуля, превышает установленное пороговое значение  $T_{кр}$ , на мониторе диспетчерского пункта появляется оповещение о возникшей неисправности «Поломка коммутационного модуля».

Однако, если время въезда модуля оказывается меньше установленного предела  $T_{кр}$ , то в конечной точке его движения срабатывает концевой выключатель ( $SQ_2=1$ ). Этот процесс приводит к автоматическому отключению питания электродвигателя и отправке сигнала о низком уровне на контроллер. В этом случае на экране монитора отображается информационное сообщение «Коммутационный модуль заехал», и происходит замыкание контактов коммутационного модуля.

В результате успешного завершения операции система выдает информационное оповещение «Линия под напряжением», а индикатор аварийной остановки гаснет. Весь процесс работы подробно описан в графической части проектной документации.

Выводы по разделу 6.

В данном разделе разработан основной алгоритм функционирования проектируемой автоматизированной системы технического учета электроэнергии и диспетчеризации. В рабочее тело программы заложены алгоритмы проведения начальной и углубленной диагностики элементов системы АСТУиД с информацией о возникших неисправностях, блоки управления коммутационными модулями и вакуумными выключателями, запрограммированы функции автоматического ввода резерва. Учет электроэнергии производится по последовательному интерфейсу RS-485.

## Заключение

В данной бакалаврской работе разработана система электроснабжения завода строительных конструкций ООО «ПСК Союз».

Полная суммарная электрическая нагрузка составила  $S_p=5142.3$  кВА. Для их питания рассчитали 5 цеховых трансформаторных подстанций. В качестве конденсаторных устройств выбрали КУ типа АУКРМ. Составлена картограмма нагрузок и выбран их центр – точки А (162; 388) и точку В (157;362). Проверен трансформатор на токи КЗ.

В результате расчета токов КЗ определен ударный ток трехфазного КЗ на низкой стороне трансформатора составивший 8,2 кА и периодическая составляющая тока КЗ в размере 3,14 кА.

Создание АСТУЭиД потребовало модернизации существующего помещения РУ-6 кВ. В нем появилось отдельное помещение, в котором разместилось электрооборудование диспетчерского пункта и рабочее место оператора. Для повышения надежности и долговечности работы произведена замена существующих масляных выключателей на более современные вакуумные модели ВВ/TEL 6–20/1000 У2. Была разработана конструкция выкатного элемента с расчетом необходимого для перемещения тележки электродвигателя, в качестве которого был выбран двигатель постоянного тока модели ДП-108 мощностью 150 Вт.

В пятом разделе произведен выбор основных элементов проектируемой АСТУЭиД. В том числе выбран электросчетчик модели СЭТ 4ТМ, управляющий программируемый контроллер типа ADAM-5510E/ТСР, блоки управления вакуумными выключателями модели БУ/TEL-12А, концевые устройства и устройства ввода/вывода ADAM–5551S и ADAM–5556S, путевые выключатели ВПК2110. Составлена структурная схема.

В шестом разделе разработан основной алгоритм функционирования проектируемой автоматизированной системы технического учета электроэнергии и диспетчеризации.

## Список используемых источников

1. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА–М, 2024. 415 с.
2. Баранов Л. А. Светотехника и электротехнология. [Электронный ресурс] : URL: [https://www.studmed.ru/baranov-l-a-zaharov-v-a-svetotehnika-i-elektrotehnologiya\\_1b04eddd2ce.html](https://www.studmed.ru/baranov-l-a-zaharov-v-a-svetotehnika-i-elektrotehnologiya_1b04eddd2ce.html) (дата обращения: 11.02.2024)
3. Безопасность жизнедеятельности в энергетике : учебник для студ. высш. учеб. Заведений – М. : Издательский центр «Академия», 2019. — 400 с. [Электронный ресурс] : URL: [https://academia-moscow.ru/ftp\\_share/\\_books/fragments/fragment\\_17032.pdf](https://academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_17032.pdf) (дата обращения: 10.02.2024)
4. Газалов В. С. Методические указания к курсовому проекту, раздел «Проектирование системы освещения» [Электронный ресурс] : URL: [https://www.studmed.ru/gazalov-vs-metodicheskie-ukazaniya-k-kursovomu-proektu\\_ea0c67020f2.html](https://www.studmed.ru/gazalov-vs-metodicheskie-ukazaniya-k-kursovomu-proektu_ea0c67020f2.html) (дата обращения: 10.02.2024)
5. Группы допуска по электробезопасности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «U–hold.ru». URL: <https://www.u-hold.ru/stati/gruppy-dopuska-elektrikov-i-osobennosti-ikh-polucheniya/> (дата обращения: 12.02.2024)
6. Капитальный ремонт трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/podstancii/kapitalnyu-remont-transformatorov.html> (дата обращения: 10.02.2024)
7. Коэффициент мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Хомов Электро». URL: <https://khomovelectro.ru/articles/koeffitsient-moshchnosti-osnovnye-ponyatiya.html> (дата обращения: 04.03.2024)
8. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий [Электронный ресурс] : URL: [https://www.studmed.ru/kudrin-bi-elektrosnabzhenie-promyshlennyh-predpriyatiy\\_0e025f767ea.html](https://www.studmed.ru/kudrin-bi-elektrosnabzhenie-promyshlennyh-predpriyatiy_0e025f767ea.html) (дата обращения: 04.04.2024)

9. Курдюмов В. И., Зотов Б. И. Энергетика и экономика. – М.: Колос, 2019. 247 с.
10. Подстанции промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/knigi/arhivy/montazh-podstanciy-promyshlennyh-predpriyatiy-5.html> (дата обращения: 14.02.2024)
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: URL: <https://tech-expo.ru/pue/> (дата обращения: 05.03.2024)
12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей: 4-е изд., перераб. и доп. – М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
13. Производственный процесс. Автомобилестроение. [Электронный ресурс] : URL: [https://www.cfin.ru/management/manufact/product\\_process.shtml](https://www.cfin.ru/management/manufact/product_process.shtml). (дата обращения: 05.03.2024)
14. Расчет освещенности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/illumination-calculator/>. (дата обращения: 01.02.2024)
15. Расчет вентиляции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «AboutDC.ru». URL: <https://aboutdc.ru/page/1728.php> (дата обращения: 04.02.2024)
16. Расчет заземления [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Zandz.com». URL: [https://zandz.com/ru/raschet\\_zazemleniya/](https://zandz.com/ru/raschet_zazemleniya/) (дата обращения: 12.02.2024)
17. Ремонт силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : URL: [https://studme.org/240005/tehnika/remont\\_silovyh\\_transformatorov](https://studme.org/240005/tehnika/remont_silovyh_transformatorov) (дата обращения: 11.03.2024)
18. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение.– Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 328 с.
19. Сибикин Ю. Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок.– Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

20. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно–коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777) [Электронный ресурс] : URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 16.03.2024)

21. Справочник по проектированию электрических сетей : под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4–е изд., перераб. и доп. [Электронный ресурс] : URL: [https://stroykanasha.ru/upload/iblock/5ea/04\\_Karapetyan\\_Spravochnik\\_po\\_proektirovaniyu\\_elektricheskikh\\_setey.pdf](https://stroykanasha.ru/upload/iblock/5ea/04_Karapetyan_Spravochnik_po_proektirovaniyu_elektricheskikh_setey.pdf) (дата обращения: 12.03.2024)

22. Справочник по проектированию электроснабжения : под ред. Ю.Г. Барыбина и др.– М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.

23. Техническое обслуживание силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ЕНТО.ru». URL: <https://ehto.ru/spravochnik–ehetrika/tehnicheskoe–obsluzhivanie–silovyh–transformatorov> (дата обращения: 10.02.2024)

24. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. – М.: Лань, 2019. 480 с.

25. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учебное пособие для учреждений среднего профессионального образования по специальности 13.02.11 – М.: Форум, Инфра–М, 2021. 136 с.

26. David MacKay's. Understanding energy use and technology. By Bill Gates. January 15, 2020

27. Howard C. Hayden. Energy: a textbook. See all formats and editions. Perfect Paperback, June 2, 2019.

28. Kolleen Kessler. Electricity and magnetism. See all formats and editions. Paperback, September 12, 2019.

29. Robert L. Jaffe. The physics of energy. MIT Energy Initiative from the S. D. Bechtel, Jr. Foundation. Publication is planned for March 2019

30. Stephen P. Mayfield. Our Energy Future: Introduction to renewable energy and biofuels. Paperback – Illustrated, 18 Mart, 2019.