

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)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение энергетической эффективности системы собственных нужд ТЭЦ г.  
Бишкек

Обучающийся

Э.Т. Акматов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н, В.И. Платов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

М.В. Дайнеко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Название бакалаврской работы: «Повышение энергетической эффективности системы собственных нужд ТЭЦ г. Бишкек».

Выпускная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, таблиц, списка литературы, включая зарубежные источники, и графической части на 6 листах формата А1.

Ключевым вопросом выпускной работы является повышение энергоэффективности системы электроснабжения собственных нужд; изучение общих сведений об объекте; анализ существующей распределительной сети; обоснование необходимости проведения модернизации с целью повышения надежности и энергоэффективности, определение категории надежности системы электроснабжения и выбор схемы ЭСН, расчет электрических нагрузок, выбор числа и мощности питающих трансформаторов, расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения, составление спецификации электрооборудования для собственных нужд, оценка применения альтернативных источников энергии для питания потребителей собственных нужд подстанции, разработка вопросов обеспечения безопасности персонала при эксплуатации основного электрооборудования.

Целью бакалаврской работы является повышение энергетической эффективности системы собственных нужд ТЭЦ.

Выпускная работа может быть разделена на следующие логически взаимосвязанные части: введение, обоснование целей, задач и объема работ; расчет и выбор элементов проектируемой системы электроснабжения; разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда.

Подводя итоги, мы бы хотели подчеркнуть, что данная работа актуальна не только для ТЭЦ, но и других аналогичных по назначению объектов.

## **Abstract**

Title of the bachelor's thesis: "Improving the energy efficiency of the system of auxiliary needs of the CHPP in Bishkek."

The final work consists of an introduction, 3 sections, conclusion, tables, list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the final work is to increase the energy efficiency of the power supply system for own needs; study of general information about the object; analysis of the existing distribution network; substantiation of the need for modernization in order to increase reliability and energy efficiency, determination of the reliability category of the power supply system and selection of the ESS scheme, calculation of electrical loads, selection of the number and power of supply transformers, calculation and selection of protection devices and power supply lines, drawing up the specification of electrical equipment for own needs, assessment of the application alternative energy sources for supplying consumers of the substation's own needs, development of issues to ensure the safety of personnel during the operation of the main electrical equipment.

The purpose of the bachelor's work is to increase the energy efficiency of the CHP auxiliary system.

Graduation work can be divided into the following logically interconnected parts: introduction, justification of goals, objectives and scope of work; calculation and selection of elements of the designed power supply system; development of measures for safety and labor protection.

Summing up, we would like to emphasize that this work is relevant not only for thermal power plants, but also for other similar facilities.

## Содержание

Введение.....	5
1 Цели, задачи и объем модернизации.....	7
1.1 Общие сведения об объекте .....	7
1.2 Анализ существующей распределительной сети .....	9
2 Расчет и выбор электрооборудования.....	13
2.1 Расчет электрической нагрузки .....	13
2.2 Выбор мощности трансформатора .....	19
2.3 Расчет и выбор защитных, коммуникационных, измерительных аппаратов и приборов .....	20
2.3.1 Выбор автоматических выключателей для отходящих линий панелей переменного тока.....	20
2.3.2 Выбор автоматических выключателей для защиты цепей щита постоянного тока .....	23
2.4 Спецификация электрооборудования для собственных нужд .....	34
2.5 Применение солнечных батарей для заряда аккумуляторных батарей.....	40
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда .....	43
3.1 Безопасность жизнедеятельности при эксплуатации основного электрооборудования.....	43
Заключение .....	47
Список используемых источников.....	48

## Введение

Современная энергетика обеспечивает теплом и электрической энергией как промышленный, так и жилой сектор. Распределение потребления между ними примерно такое: 40% потребляет промышленность, 12% на бытовые нужды граждан. Остальная электроэнергия примерно равномерно распределяется между другими отраслями народного хозяйства.

Основное назначение бытовых электрических сетей нашего времени – наружное и внутреннее электрическое освещение, а в домах – эксплуатация электрических плит, стиральных машин и другой бытовой техники. Еще недавно большая мощность электроустановок требовалась только на производстве для приведения в движение механизмов станков, насосов, конвейеров и т.д. Однако за последние три десятилетия резко увеличилось потребление электроэнергии населением. С 1990 года годовое потребление электроэнергии населением выросло с 35,3 млрд. кВт ч до 154 млрд. кВт·ч. Серийное производство дало возможность понизить себестоимость производимых изделий. Электробытовые товары стали доступнее для населения. Например, годовое производство стиральных машин в 1980 году составляло 975 тыс. шт., а в 2016 уже 4 млн. шт [11]. Иными словами, стиральная машина сегодня стала предметом домашнего обихода в каждой российской семье. И это относится ко многим электроприборам. Широкое распространение бытовых электроприборов повлекло за собой увеличение мощности, потребляемой объектами жилищно-коммунального хозяйства, гражданских зданий.

На территории России электрическая энергия вырабатывается пятью основными способами (электростанциями):

- тепловыми: 679,9 млрд.кВт·ч;
- гидростанциями: 190,3 млрд.кВт·ч;
- атомными: 208,8 млрд.кВт·ч;
- ветровыми: 0,3 млрд.кВт·ч;

- солнечными: 1,3 млрд.кВт·ч;

Несмотря на то, что ТЭЦ являются основными производителями энергии как в России, так и на территории Республики Киргизии, у них множество проблем экологического и технического спектра. Например, до сих пор 26% ТЭЦ потребляют в качестве сырья каменный уголь, при этом КПД составляет 45,9%. Износ генерирующего оборудования превышает нормативные значения у 53% турбоагрегатов (и составляет 33 года), 49% генераторов (срок эксплуатации 34 года), 60% трансформаторов (срок службы 27 лет). Стоимость капиталовложений на 1 кВт установленной мощности ТЭЦ с «классическим» энергооборудованием составляет 90000 руб, а с применением «перспективного» энергосберегающего – 330000 руб [18]. КПД современных газовых турбин производства Siemens составляет 63%, лучшие отечественные турбины производства «ОДК-Сатурн» - 52%.

Как видим на тепловые электростанции (далее ТЭЦ) приходится самое большое количество вырабатываемой электрической энергии, а значит повышение энергетической эффективности системы собственных нужд ТЭЦ г. Бишкек является актуальной задачей.

Целью бакалаврской работы является разработка технических мероприятий для повышения энергетической эффективности системы собственных нужд ТЭЦ г. Бишкек.

## 1 Цели, задачи и объем модернизации

### 1.1 Общие сведения об объекте

Бишкекская ТЭЦ (ранее — Фрунзенская ТЭЦ) — крупнейшая тепловая электростанция Киргизии, расположенная в городе Бишкек. Входит в состав крупнейшей генерирующей компании Киргизии ОАО «Электрические станции» (см. рисунок 1).

Установленная электрическая мощность станции составляет 666 МВт, тепловая — 1443,9 Гкал/час. На ТЭЦ установлено 9 турбоагрегатов единичной мощностью от 60 до 150 МВт. Дата ввода в эксплуатацию – сентябрь 1961 года. Подстанция в разные годы работала на разном сырье. В 2017 году топливом для ТЭЦ стал киргизский уголь.



Рисунок 1 – Бишкекская ТЭЦ

«В основе работы угольной ТЭЦ лежит цикл Ренкина (см. рисунок 2). Схема работы ТЭЦ достаточно проста [26]. В топку одновременно поступают топливо и разогретый воздух — окислитель. Наиболее распространенное топливо на российских ТЭЦ — измельченный уголь. Тепло от сгорания угольной пыли превращает воду, поступающую в котел в пар, который затем под давлением подается на паровую турбину. Мощный поток пара заставляет ее вращаться, приводя в движение ротор генератора, который преобразует механическую энергию в электрическую» [3].

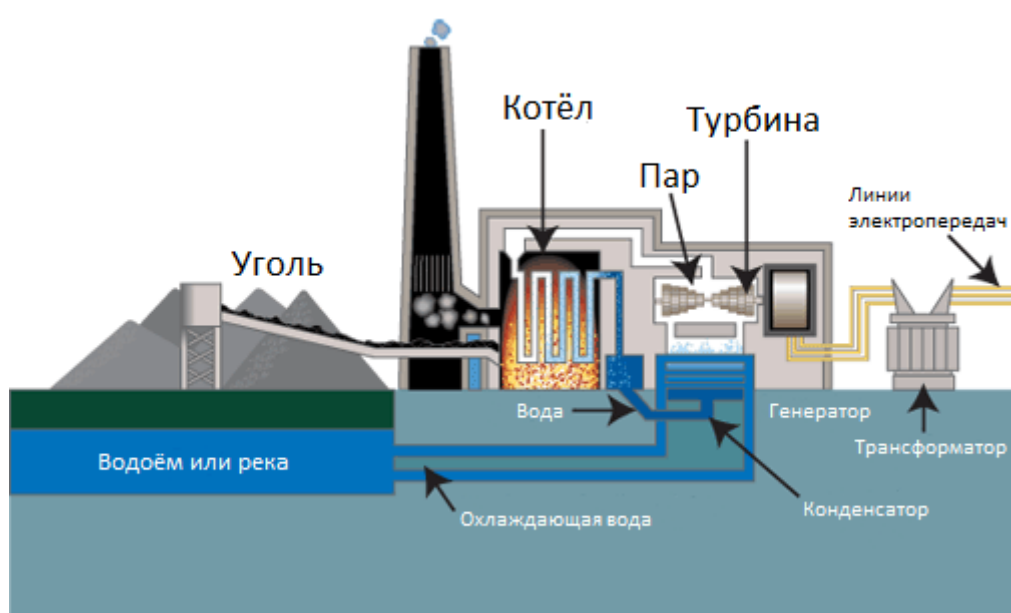


Рисунок 2 – Принцип действия угольной ТЭЦ

Собственные нужды ТЭЦ – это комплекс вспомогательного электрического оборудования, обеспечивающего бесперебойную работу ее основных агрегатов. В состав собственных нужд входит силовая и осветительная электросеть, аккумуляторные установки, аварийные источники питания, электроприводы защитных и распределительных аппаратов, обогрев шкафов и приборов наружной установки, электроснабжение приборов контроля и управления.



«Системы питания собственных нужд ТЭЦ должны обеспечивать надежную работу электротехнического и технологического оборудования электростанций в нормальных, ремонтных и аварийных режимах. Для остальных электродвигателей переменного тока собственных нужд должно применяться напряжение 0,4 кВ. Сеть 0,4 кВ должна выполняться с заземленной нейтралью. Для питания особо ответственных потребителей постоянного тока применяется напряжение 220 В постоянного тока. При выборе мощности рабочих источников питания собственных нужд, необходимо исходить из условия обеспечения питания всей присоединенной к соответствующей секции нагрузки» [5].

## 1.2 Анализ существующей распределительной сети

Питание потребителей собственных нужд ТЭЦ на напряжение ~380/220В по первой категории электроснабжения осуществляется от проектируемого щита собственных нужд с АВР.

Установленная мощность на шинах собственных нужд щита ЩСН:

- 1 секция шин:  $P_y=70,02$  кВт, расчетная мощность  $P_p=60,56$  кВт;
- 2 секция шин:  $P_y=85,25$  кВт, расчетная мощность  $P_p=72,54$  кВт;
- 3 секция шин:  $P_y=70,02$  кВт, расчетная мощность  $P_p=60,56$  кВт.

Суммарная мощность собственных нужд подстанции:  $P_y=225,29$  кВт,  
 $P_p=193,66$  кВт.

Проектируемыми потребителями собственных нужд являются:

- шкафы РЗиА, телемеханики, связи и учета электроэнергии;
- нагреватели и приводы высоковольтных выключателей и разъединителей 110кВ;
- нагреватели в клеммных шкафах наружной установки;
- освещение в панелях проектируемых шкафов;
- щит собственных нужд модульного здания.

Электроснабжение потребителей на напряжение  $\approx 220\text{В}$  будет выполняться от проектируемого щита постоянного тока (ЩПТ).

Выводы по первому разделу.

Электротехническое оборудование, используемое на ТЭЦ для электроснабжения собственных нужд, не модернизировалось с 1996 года. За прошедшие 27 лет электрооборудование физически изнашивается и морально устарело, что негативным образом сказывается на эффективности его использования. Модернизация электрооборудования позволит повысить надежность системы электроснабжения собственных нужд и повысить энергоэффективность работы. Для питания современной системы управления и защитой электрооборудования, эксплуатируемого в системе электроснабжения собственных нужд, необходимо бесперебойное электроснабжение напряжением постоянного тока. Для этого проектируется новый ЩПТ, обеспечивающий потребителей бесперебойным электроснабжением в течении 3 часов. Данного времени достаточно для устранения большинства возможных поломок или неисправностей.

## 2 Расчет и выбор электрооборудования

### 2.1 Расчет электрической нагрузки

Основные потребители электроэнергии для собственных нужд ТЭЦ показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальная мощность оборудования

Электропотребители	Установленная мощность, $P_u$ , кВт	$K_n$	$\cos\varphi$
1	2	3	4
Панель переменного тока Н1			
Обогрев помещения ТСН в ЗРУ 10 кВ	10,5	0,4	0,95
Обогрев щитовой	2,0	0,4	0,95
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (основной ввод)	8,0	0,4	0,95
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1	14,2	0,68	0,9
Зарядное устройство №1 щита постоянного тока	21,0	0,9	0,75
Наружное освещение: прожекторные мачты	2,4	0,5	0,9
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №1	2,0	0,8	0,85
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №1	1,5	0,7	0,85
Шкаф оперативной блокировки (ввод №1)	0,255	0,1	0,9
Цепи освещения в панелях РЗиА	1,0	0,1	0,9
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (ввод №1)	2,2	0,2	0,75
Освещение в ячейках ЗРУ 10 кВ	1	0,1	0,9
Шкаф гарантированного питания (резервный ввод)	3	1,0	0,82
Шкаф связи ШС1	0,47	1,0	0,85
Шкаф связи ШС2	0,5	1,0	0,85
Панель переменного тока Н2			
Обогрев релейного зала и комнаты связи	5,0	0,4	0,95
Обогрев персонала, кладовой, санузла	3,0	0,4	0,95
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (резерв)	8,0	0,4	0,95
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1 (резерв)	14,2	0,68	0,9
Зарядное устройство №2 щита постоянного тока	21,0	0,9	0,75

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №2	2,0	0,8	0,85
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №2	1,5	0,7	0,85
Шкаф сварочный	25,0	0,1	0,75
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (ввод №2)	2,2	0,2	0,75
Шкаф гарантированного питания (основной ввод)	3	1,0	0,82
Шкаф телемеханики	0,1	1,0	0,85
Шкаф оперативной блокировки (ввод №2)	0,255	0,1	0,9
Панель переменного тока НЗ			
Обогрев помещения ТСН в ЗРУ 10 кВ	10,5	0,4	0,95
Обогрев щитовой	2,0	0,4	0,95
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (резервный ввод)	8,0	0,4	0,95
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1 (резерв)	14,2	0,68	0,9
Зарядное устройство №1 щита постоянного тока (резерв)	21,0	0,9	0,75
Наружное освещение: прожекторные мачты	2,4	0,5	0,9
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №1 (резерв)	2,0	0,8	0,85
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №1	1,5	0,7	0,85
Шкаф оперативной блокировки (резервный)	0,255	0,1	0,9
Цепи освещения в панелях РЗиА	1,0	0,1	0,9
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (резервный)	2,2	0,2	0,75
Освещение в ячейках ЗРУ 10 кВ	1	0,1	0,9
Шкаф гарантированного питания (резервный ввод)	3	1,0	0,82
Шкаф связи ШС1	0,47	1,0	0,85
Шкаф связи ШС2	0,5	1,0	0,85

Для определения электрических нагрузок используем следующий порядок расчета. Для примера будем рассчитывать потребителя «Обогрев помещения ТСН в ЗРУ 10 кВ», а по остальным результаты сразу занесем в таблицу 2.

Используя данные таблицы 1, определяется общая потребляемая мощность:

$$P_{H\Sigma} = P_H \cdot n, \quad (1)$$
$$P_{H\Sigma} = 10.5 \cdot 1 = 10.5 \text{ кВт}$$

Отношение максимальных и минимальных паспортных мощностей электрических групповых потребителей:

$$m = \frac{P_{H.max}}{P_{H.min}}, \quad (2)$$

Групповой коэффициент использования потребителей электрической энергии  $K_{и}$ :

$$K_{и} = \frac{\sum P_c}{\sum P_H}. \quad (3)$$

Принимаем по справочным данным и заносим в таблицу 1 [1]:  $K_{и}=0,4$ .

Средняя сменная мощность:

$$P_c = K_{и} \cdot \sum P_H, \quad (4)$$
$$P_c = 0,4 \cdot 10,5 = 4,2 \text{ кВт.}$$

Для известного  $\cos \varphi = 0,95$  (см. таблицу 1), определяем  $tg \varphi = 0.33$ .

Средняя сменная реактивная мощность:

$$Q_c = tg \varphi \cdot P_c, \quad (5)$$
$$Q_c = 0.33 \cdot 4.2 = 1.38 \text{ квар.}$$

Для нахождения эффективного числа электрических приёмников  $n_э$  определим по таблице 1 для панели переменного тока Н1 электрприемника с наибольшей мощностью  $P_{н.наиб} = 21$  кВт. Тогда

$$n_э = \frac{2 \cdot 10,5}{21} = 1,0. \quad (6)$$

Зная  $n_э = 1,0$ ,  $к_и = 0,4$  выбираем  $к_μ = 2,2$  [4]. Тогда расчетная мощность:

$$P_p = к_μ \cdot \sum P_c, \quad (7)$$
$$P_p = 2,2 \cdot 4,2 = 9,24 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность для  $n_э < 10$ :

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_c \cdot tg\varphi_{ср}, \quad (8)$$
$$Q_p = 1,1 \cdot 9,24 \cdot 0,33 = 3,35 \text{ квар.}$$

Общая расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (9)$$
$$S_p = \sqrt{9,24^2 + 3,35^2} = 9,83 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (10)$$
$$I_p = \frac{9,83}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 14,9 \text{ А.}$$

Остальные расчеты внесем в таблицу 2.

Таблица 2- Расчетные нагрузки ССН

Электропотребители	$P_p$ , кВт	$K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Панель переменного тока Н1								
Обогрев помещения ТСН в ЗРУ 10 кВ	10,5	0,4	0,95	0,33	9,24	3,35	9,83	14,9
Обогрев щитовой	2,0	0,4	0,95	0,33	4,56	1,51	6,57	9,99
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (основной ввод)	8,0	0,4	0,95	0,33	6,17	2,01	8,03	12,2
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1	14,2	0,68	0,9	0,48	9,87	4,73	12,63	19,2
Зарядное устройство №1 щита постоянного тока	21,0	0,9	0,75	0,88	8,68	7,63	12,56	35,1
Наружное освещение: прожекторные мачты	2,4	0,5	0,9	0,48	1,87	0,89	2,81	4,28
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №1	2,0	0,8	0,85	0,62	1,24	0,76	2,0	3,04
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №1	1,5	0,7	0,85	0,62	0,98	0,61	1,5	2,28
Шкаф оперативной блокировки (ввод №1)	0,255	0,1	0,9	0,48	0,71	0,39	0,8	1,22
Цепи освещения в панелях РЗиА	1,0	0,1	0,9	0,48	3,01	1,44	3,32	5,05
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (ввод №1)	2,2	0,2	0,75	0,88	2,07	1,82	2,75	4,18
Освещение в ячейках ЗРУ 10 кВ	1	0,1	0,9	0,48	2,86	1,37	3,32	5,05
Шкаф гарантированного питания (резервный ввод)	3	1,0	0,82	0,7	6,91	4,83	8,95	13,6
Шкаф связи ШС1	0,47	1,0	0,85	0,62	1,18	0,74	1,48	2,25
Шкаф связи ШС2	0,5	1,0	0,85	0,62	1,21	0,74	1,57	2,39
Итого по Н1	70,02	-	0,879	0,54	60,56	32,82	78,12	134,73
Панель переменного тока Н2								

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обогрев релейного зала и комнаты связи	5,0	0,4	0,95	0,33	5,61	1,85	6,12	9,3
Обогрев персонала, кладовой, санузла	3,0	0,4	0,95	0,33	2,08	0,68	2,96	4,5
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (резерв)	8,0	0,4	0,95	0,33	6,97	2,31	8,03	12,2
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1 (резерв)	14,2	0,68	0,9	0,48	9,56	4,07	12,63	19,2
Зарядное устройство №2 щита постоянного тока	21,0	0,9	0,75	0,88	18,74	16,5	23,09	35,1
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №2	2,0	0,8	0,85	0,62	1,58	0,97	2,0	3,04
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №2	1,5	0,7	0,85	0,62	1,12	0,69	1,5	2,28
Шкаф сварочный	25,0	0,1	0,75	0,88	20,14	17,7	25,0	38,0
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (ввод №2)	2,2	0,2	0,75	0,88	2,79	2,45	3,14	4,78
Шкаф гарантированного питания (основной ввод)	3	1,0	0,82	0,7	3,14	2,19	3,68	5,6
Шкаф телемеханики	0,1	1,0	0,85	0,62	0,27	0,17	0,31	0,47
Шкаф оперативной блокировки (ввод №2)	0,255	0,1	0,9	0,48	0,54	0,29	0,62	0,94
Итого по Н2	85,25	-	0,824	0,687	72,54	49,87	89,08	135,41
Панель переменного тока Н3								
Обогрев помещения ТСН в ЗРУ 10 кВ	10,5	0,4	0,95	0,33	9,24	3,35	9,83	14,9
Обогрев щитовой	2,0	0,4	0,95	0,33	4,56	1,51	6,57	9,99
Обогрев шкафов и приводов наружной установки (резервный ввод)	8,0	0,4	0,95	0,33	6,17	2,01	8,03	12,2



Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Освещение и розеточная помещения с силовым щитом №1 (резерв)	14,2	0,68	0,9	0,48	9,87	4,73	12,63	19,2
Зарядное устройство №1 щита постоянного тока (резерв)	21,0	0,9	0,75	0,88	8,68	7,63	12,56	35,1
Наружное освещение: прожекторные мачты	2,4	0,5	0,9	0,48	1,87	0,89	2,81	4,28
Шкаф управления вентилятором обдува силового трансформатора №1 (резерв)	2,0	0,8	0,85	0,62	1,24	0,76	2,0	3,04
Шкаф переключающего устройства РПН силового трансформатора №1	1,5	0,7	0,85	0,62	0,98	0,61	1,5	2,28
Шкаф оперативной блокировки (резерв)	0,255	0,1	0,9	0,48	0,71	0,39	0,8	1,22
Цепи освещения в панелях РЗиА	1,0	0,1	0,9	0,48	3,01	1,44	3,32	5,05
Шкаф управления дугогасительным реактором Р6 (резервный)	2,2	0,2	0,75	0,88	2,07	1,82	2,75	4,18
Освещение в ячейках ЗРУ 10 кВ	1	0,1	0,9	0,48	2,86	1,37	3,32	5,05
Шкаф гарантированного питания (резервный ввод)	3	1,0	0,82	0,7	6,91	4,83	8,95	13,6
Шкаф связи ШС1	0,47	1,0	0,85	0,62	1,18	0,74	1,48	2,25
Шкаф связи ШС2	0,5	1,0	0,85	0,62	1,21	0,74	1,57	2,39
Итого по НЗ	70,02	-	0,879	0,54	60,56	32,82	80,31	134,73

Общая расчетная нагрузка составляет  $S_{\text{НАГР}} = 78,12 + 89,08 + 80,31 = 247,51$  кВА.

## 2.2 Выбор мощности трансформатора

Так как часть электроприемников имеет I категорию, то принимаем число трансформаторов  $n = 2$  с коэффициентом загрузки  $k_3 = 0,7$  [22].

Расчетная номинальная мощность трансформатора:

$$S_{T.НОМ.расч} = \frac{S_{НАГР}}{n \cdot k_3}, \text{ кВА}, \quad (11)$$

$$S_{T.НОМ.расч} = \frac{247,51}{2 \cdot 0,7} = 156,79 \text{ кВА}.$$

Исходя из номинальной расчетной мощности, выберем трансформатор мощностью ближайшей большей к  $S_{T.НОМ.расч}$ . Выберем трансформатор мощностью 160 кВА марки ТМ [7] (см. таблицу 3).

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора

Характеристика	Величина
Тип	Силовой масляный
ВН, кВ	10
НН, кВ	0,4
Схема и группа соединения обмоток	Y/Yн-0
Потери ХХ при номинальном напряжении, кВт	0,37
Потери КЗ при номинальной нагрузке, кВт	2,65
Напряжение короткого замыкания, %	4,5
Ток холостого хода, %	1,4
Климатическое исполнение	У

## 2.3 Расчет и выбор защитных, коммуникационных, измерительных аппаратов и приборов

### 2.3.1 Выбор автоматических выключателей для отходящих линий панелей переменного тока

Для примера выполним выбор автоматического выключателя 2QF2 (см. рисунок 3) линии питания обогрева релейного зала:  $P_y=5$  кВт,  $I_y=9,3$  А,  $U_n=220$ В.

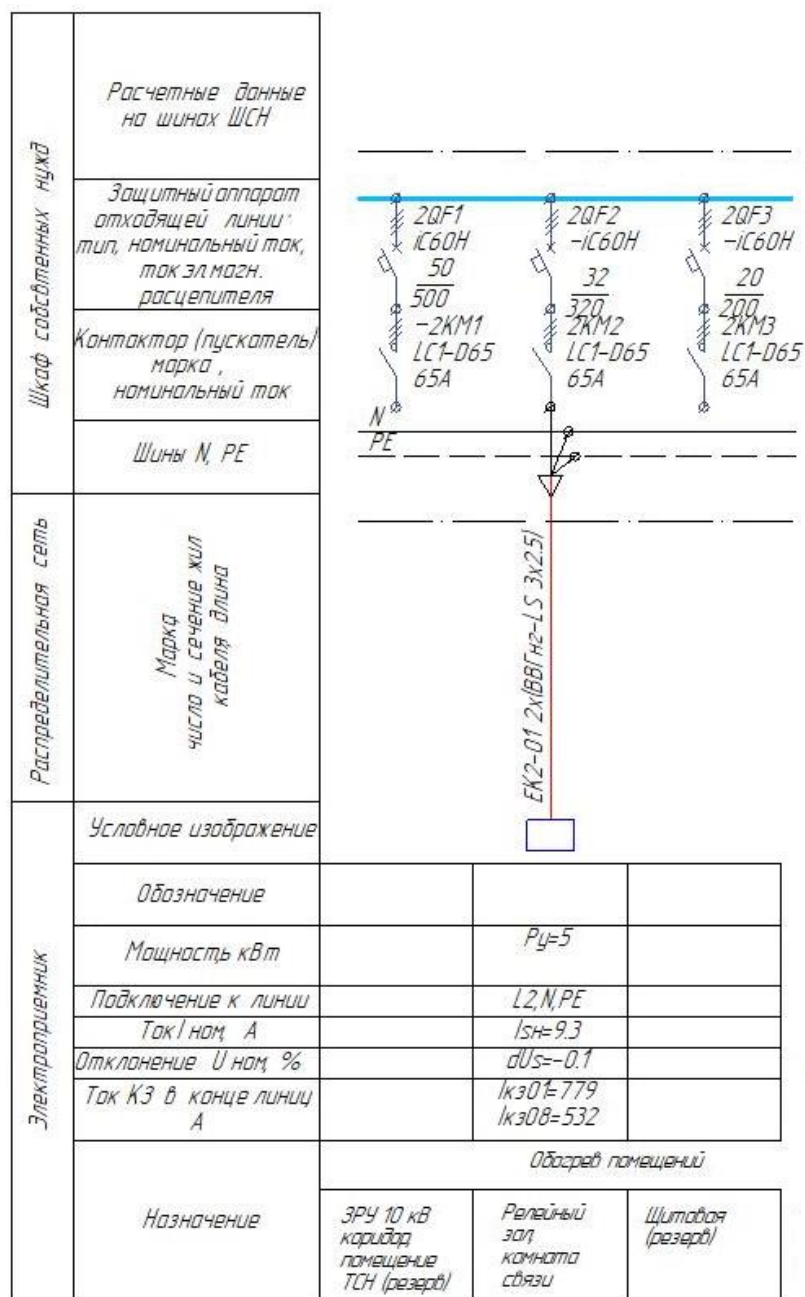


Рисунок 3 - Автоматического выключателя 2QF2 линии питания обогрева релейного зала

Предварительно выбираем модель iC60H C 10A 2P серии Acti9 производства Schneider Electric [4]. Автоматические выключатели выбирают в соответствии со следующими условиями [2]. Напряжение сети:

$$U_{\text{ном.авт}} \geq U_{\text{ном}}, \quad (12)$$

где  $U_{\text{ном.авт}}$  – номинальное напряжение автомата, В;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение сети, В.

$$U_{\text{ном.авт}} = 400\text{В} \geq U_{\text{ном}} = 220\text{В}.$$

Номинальный ток теплового расцепителя [6]:

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq k_n I_{\text{нагр}}, \quad (13)$$

где  $I_{\text{ном.т.р}}$  – номинальный ток теплового расцепителя, А;

$I_{\text{нагр}}$  – ток нагрузки защищаемой линии, А;

$k_n = 1,1$  – коэффициент надёжности, учитывающий пусковые токи [21].

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq 1,1 \cdot 9,3 = 10,23 \text{ А}.$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{ср.э.расц.}} \geq 10 \cdot I_{\text{нагр}} \cdot k_{\text{н.э}} \quad (14)$$

где  $I_{\text{ср.э.расц.}}$  – ток срабатывания электромагнитного расцепителя, А;

$I_{\text{мах}}$  – нагрузочный ток, А;

$k_{\text{н.э}} = 1,4$  – коэффициент надёжности, учитывающий разброс по току электромагнитного расцепителя [22].

$$I_{\text{ср.э.расц.}} \geq 10 \cdot 9,3 \cdot 1,4 = 130,2 \text{ А}.$$

Предельный допустимый ток отключения автомата

$$I_{\text{пр.авт.}} \geq I_{\text{КЗмах}}^{(3)} \quad (15)$$

где  $I_{\text{пр.авт.}}$  – предельный ток отключения автомата, кА;

$I_{\text{КЗмах}}^{(3)} = 779 \text{ А}$  – максимальный ток трёхфазного короткого замыкания в линии обогрева релейного зала, кА.

$$I_{\text{пр.авт.}} = 15 \text{ кА} \geq 779 \text{ А}$$

Чувствительность теплового расцепителя:

$$\frac{I_{\text{кз}}^{(1)}}{I_{\text{ном.т.р.}}} \geq 3 \quad (16)$$

где  $I_{\text{кз}}^{(1)} = 532 \text{ А}$  – ток однофазного КЗ в линии обогрева релейного зала.

$$\frac{532}{10,32} = 51,5 \geq 3$$

Условие выполняется, использование независимого расцепителя не требуется. Результаты подбора автоматических выключателей для остальных отходящих линий отобразим непосредственно в графической части проекта.

### **2.3.2 Выбор автоматических выключателей для защиты цепей щита постоянного тока**

Для примера выполним выбор автоматического выключателя 1QF2 линии питания панели управления У2:  $P_y=2 \text{ кВт}$ ,  $I_p=9,1 \text{ А}$ ,  $U_n=220\text{В DC}$ . Предварительно выбираем модель ВА-57-31-821810-16А-220DC-УХЛ3 производства КЭАЗ [15]. Проверим выбранный автомат по критериям (12...16):

$$U_{\text{ном.авт}} = 220\text{В} \geq U_{\text{ном}} = 220\text{В}.$$

$$I_{\text{ном.т.р.}} \geq 1,1 \cdot 9,1 = 10,01 \text{ А}.$$

$$I_{\text{ср.э.расц.}} \geq 10 \cdot 9,1 \cdot 1,4 = 127,4 \text{ А}.$$

$$I_{\text{пр.авт.}} = 20 \text{ кА} \geq 910 \text{ А}$$

$$\frac{I_{\text{кз}}^{(1)}}{I_{\text{ном.т.р.}}} = \frac{418}{10,01} = 41,7 \geq 3$$

Для цепей постоянного тока рекомендуется дополнительно использовать реле максимального постоянного тока, обеспечивающая срабатывание независимого расцепителя автоматического выключателя. Выбираем ток срабатывания отсечки:

$$I_{\text{НОМ.ОТС.}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{НОМ.Т.Р.}}}, \quad (17)$$

$$I_{\text{НОМ.ОТС.}} = \frac{418}{10,01} = 41,7 \text{ А.}$$

Выбираем модель РМПТ-01: выставляем ток отсечки 100А, время отсечки 0,2 с (см. рисунок 3) [16].

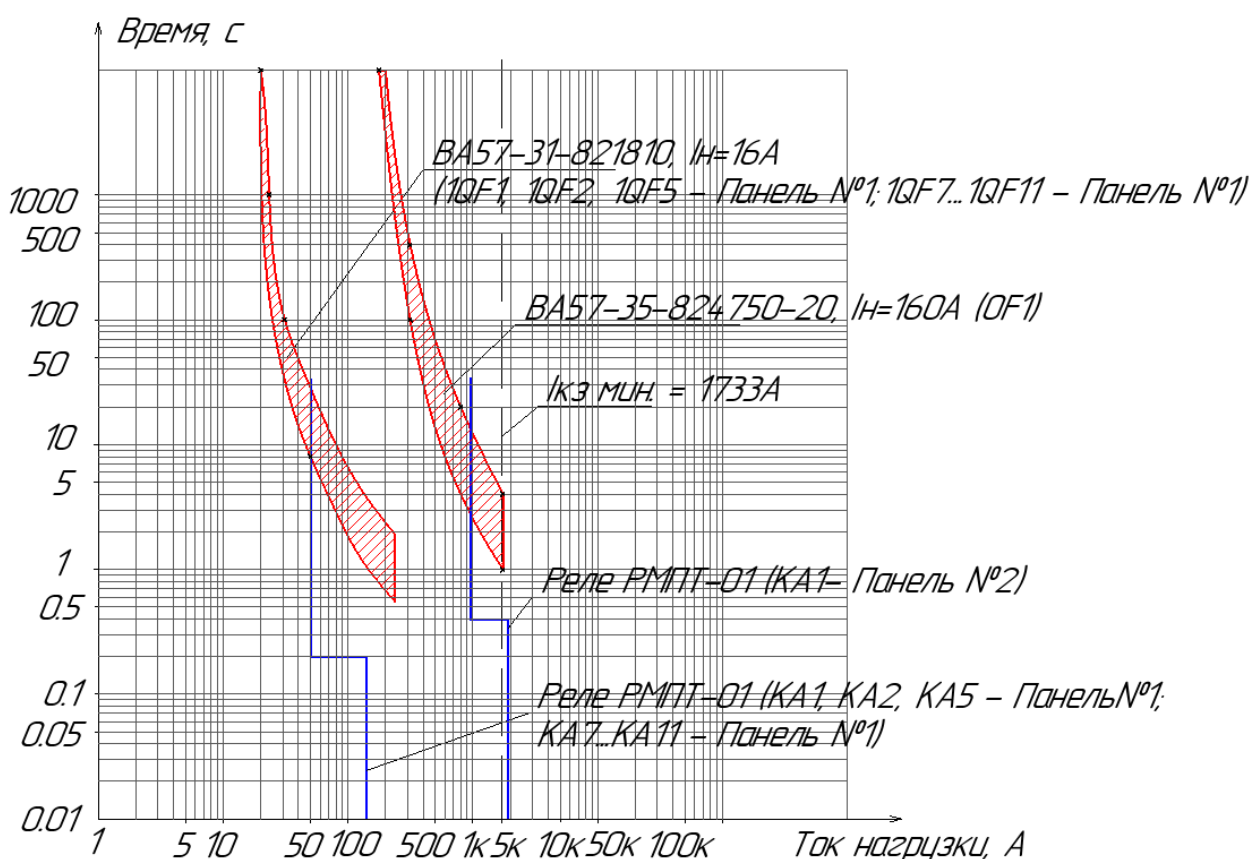


Рисунок 3 – Карта селективности работы аппаратов ВА57-31 и токового реле РМПТ-01 [12]

### 2.3.3 Выбор реле

В схеме управления работой системы ЭСН применяются следующие виды реле:

- реле контроля фаз;
- реле промежуточное;
- реле логическое программируемое;
- реле времени программируемое астрономическое.

Реле контроля фаз применяется для определения двух неисправностей:

- обрыв двух или более фаз питания;
- правильность чередования фаз.

Выбор осуществляется:

- по уровню номинального напряжения: 220В;
- условиям окружающей среды: 0...+30 °С;
- по характеристикам вывода: требуется подача сигнала в логическое реле.

Выбираем реле контроля трехфазного питания RM17TG (см. рисунок 4, таблицу 4) [21].

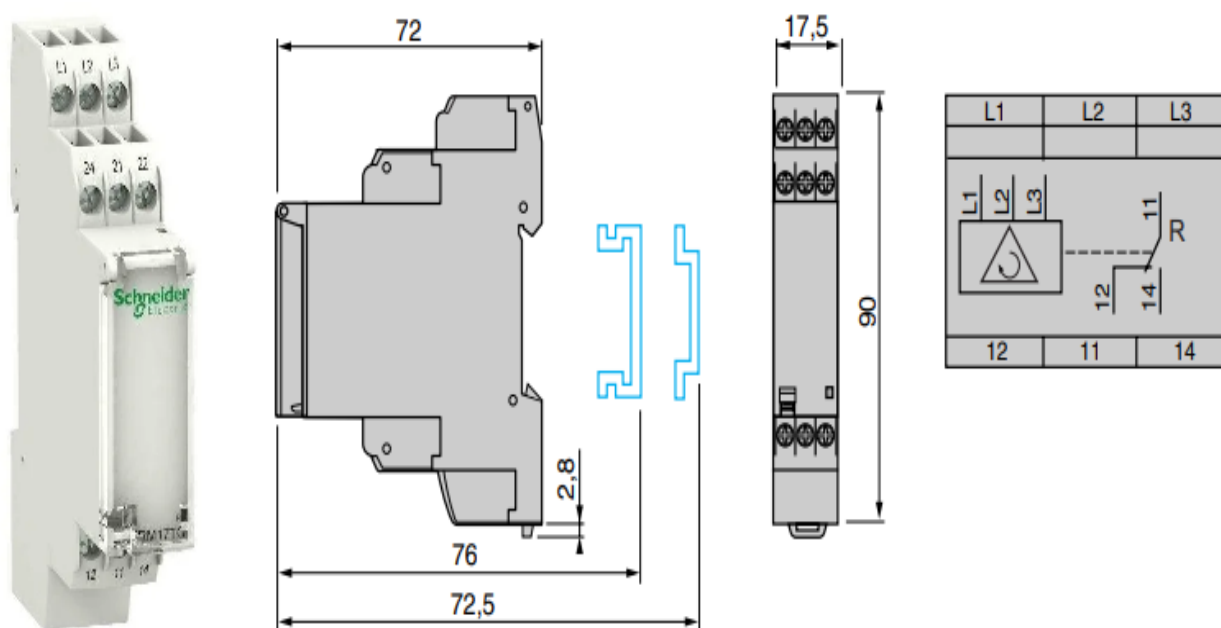


Рисунок 4 - Реле контроля трехфазного питания RM17TG

Таблица 4 – Параметры реле контроля трехфазного питания RM17TG

Показатель	Единицы измерения	Величина
Температура среды вокруг реле	°С	-20...+50
Класс защиты	IP	20
Индикатор состояния	-	Led
Номинальное напряжение питания	В	208...480
Максимальная потребляемая мощность	ВА	1,8
Номинальный ток	А	5
Гарантированный порог срабатывания при обрыве фазы	В	<~100
Максимальная скорость срабатывания при неисправности	мс	100
Категория применения по МЭК 60947-5-1	-	AC-12, DC-12

Работа реле RM17TG основана на отслеживании уровня собственного питания. «При правильном чередовании и напряжении фаз ( $> \sim 183$  В), выходной релейный контакт замкнут и светодиодный индикатор горит желтым цветом. Когда чередование фаз нарушается или происходит обрыв одной или нескольких фаз, что определяется реле сразу же, как только напряжение какой либо фазы падает ниже 100 В, реле мгновенно срабатывает, а желтый индикатор гаснет. Когда на сработавшее реле подается напряжение, контакт остается разомкнутым» [23].

Промежуточное реле применяется для замыкания или размыкания контактов при подаче напряжения в ее катушку. Для примера выберем реле KL1. Назначение реле в схеме – включить сигнальную лампу HLE1 «Неисправность» при возникновении электрического повреждения, зафиксированного блоком контроля МТ.

Выбор промежуточного реле KL1 производится по условиям:

- номинальное напряжение катушки управления: 220В;
- ток через контакты реле: не более 1 А (ток сигнальной лампы);
- количество переключающихся контактов: 1 замыкающий.

Выбираем: реле RXM2AB1P7 (см. рисунок 5, таблицу 5) [25].



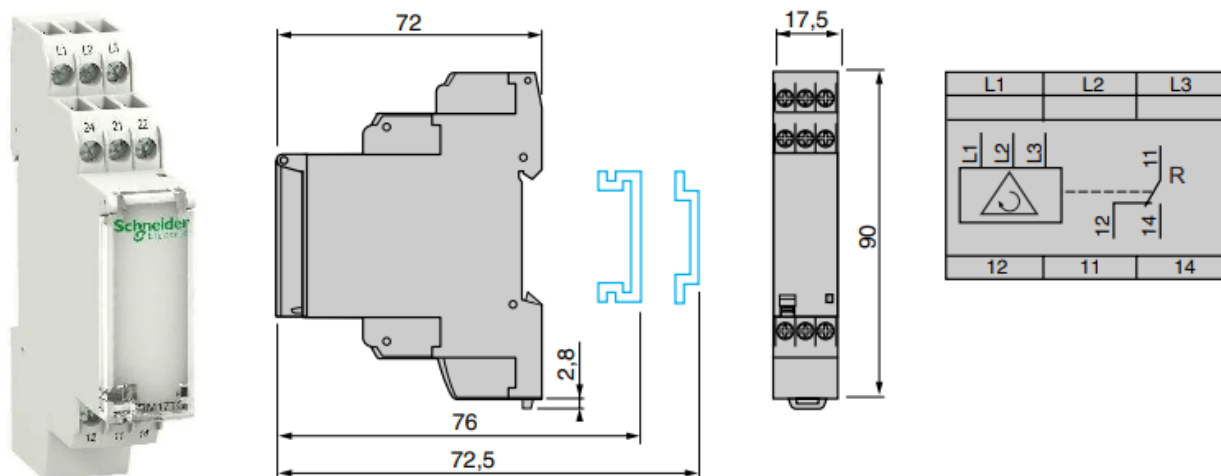


Рисунок 5 - Реле RXM2AB1P7

Таблица 5 – Параметры реле RXM2AB1P7

Показатель	Единицы измерения	Величина
Номинальное напряжение	В	220
Класс защиты	IP	40
Температура окружающей среды	°С	-30...+50
Сопротивление катушки управления	Ом	180
Максимальная потребляемая мощность катушки управления	Вт	336
Номинальный ток через контакты	А	12
Максимальная коммутируемая мощность через контакты переменного тока	кВА	3
Контактная группа	-	двухполюсная
Вес	гр	38,8

Реле логическое программируемое – «это программируемый логический контроллер (ПЛК) простого типа. Устройство используется при создании систем управления с логической обработкой информации. Область применения: автоматизация технологических процессов и производств, включение электроприборов в быту» [18].

Программируемое реле работает следующим образом. «На компьютере с использованием простого языка функционально-блочных диаграмм (FBD) создается специальная программа, которая и задает алгоритм работы ПЛК.

Для тестирования алгоритма программы без подключения контроллера есть встроенный симулятор. Программа закачивается из компьютера в контроллер при помощи специального кабеля. Программу можно создать и с панели контроллера» [19].

Выбираем: реле SR2B201FU серии Zelio logic компании Schneider Electric (см. рисунок 6, таблицу 6) [9].

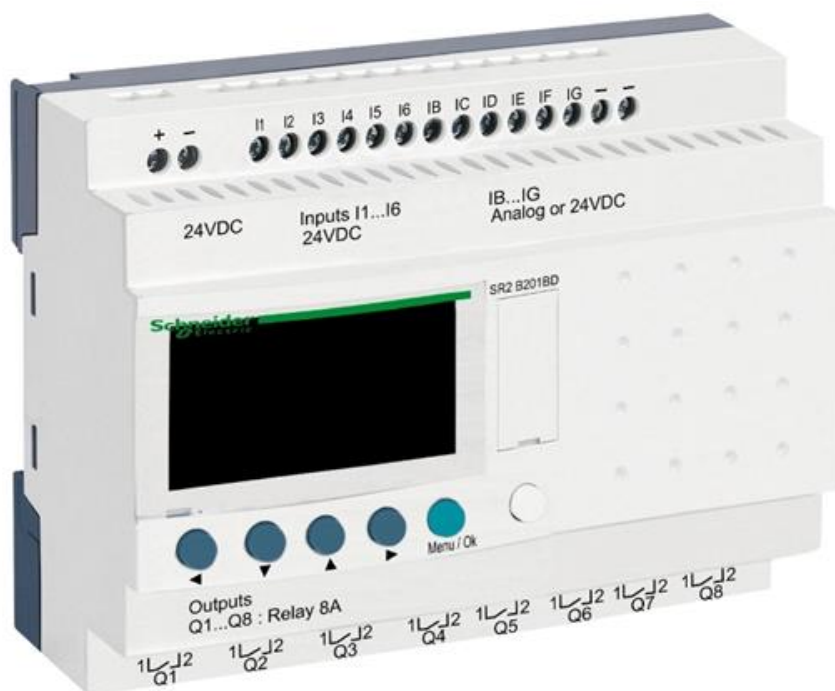


Рисунок 6 - Реле SR2B201FU серии Zelio logic

Таблица 6 – Параметры реле SR2B201FU серии Zelio logic

Показатель	Единицы измерения	Величина
Номинальное напряжение питания	В	~100...240
Номинальный потребляемый ток	мА	50
Потребляемая мощность	ВА	11
Количество дискретных входов	шт	12
Ток дискретного входа	мА	0,6
Количество выходов	шт	8
Напряжение дискретного входа	В	~100...240
Пределы выходного напряжения	В	-5...30
Время отклика	мс	5

Реле времени программируемое астрономическое – «опираясь на информацию о текущей дате и географических координатах местности ежедневно формирует программные точки включения и выключения освещения. Точное время включения и выключения определяется на основании расчета положения солнца относительно горизонта. Между программными точками включения и выключения можно установить ночной перерыв и временно отключить нагрузку в целях энергосбережения» [10].

Выбираем: астрономическое реле PCZ-527 (см. рисунок 7 и 8, таблицу 7) [17].



Рисунок 7 - Астрономическое реле PCZ-527

Таблица 7 – Параметры астрономического реле PCZ-527

Показатель	Единицы измерения	Величина
Напряжение питания	В	24-264 AC/DC
Максимальный коммутируемый ток	А	2x16
Количество каналов	шт	2
Тип батареи	-	CR2032
Степень защиты	IP	20
Коммутационная износостойкость	циклов	>100000
Категория перенапряжения	-	III
Температура окружающей среды	°С	-25...+50
Масса	гр	119

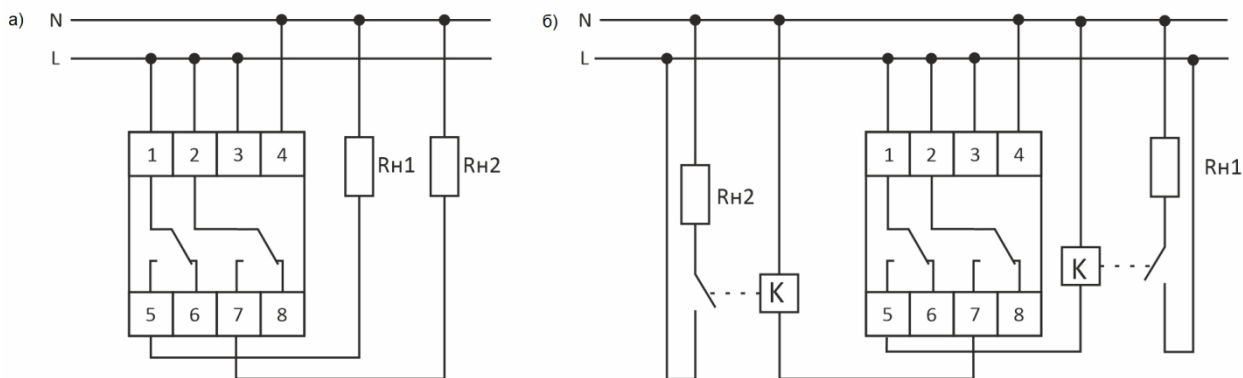


Рисунок 8 – Схема подключения астрономического реле PCZ-527 и осветительной нагрузки  $R_N$ : а) к сети 230В; б) с использованием контактора при токе нагрузки более 16А

### 2.3.3 Выбор датчиков, трансформаторов тока, амперметров

В схеме управления работой системы ЭСН применяются:

- трансформаторы тока (ТТ) в цепи 0,4 кВ силовых трансформаторов;
- амперметры работающие совместно с ТТ;
- датчики температуры в цепях управления температурой помещений.

Трансформатор тока выбирается по следующим критериям:

$$U_{уст} \geq U_{ном}; \quad (18)$$

$$I_{max} \geq I_{ном}; \quad (19)$$

$$I_{по} > I_{дин}; \quad (20)$$

где  $U_{ном}=380В$  – номинальное напряжение в линии;

$I_{ном} = 400 А$  – максимально возможный ток в линии;

$I_{дин} = 25,6 кА$  – ток в динамическом режиме;

Выбираем трансформатор тока: ТТИ-40 400/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК (см. рисунок 9 и 10, таблицу 8) [24]



Рисунок 9 - Трансформатор тока ТТИ-40 400/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК

Таблица 8 – Параметры ТТ ТТИ-40 400/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК

Показатель	Обозначение	Величина
Номинальное напряжение ТТ, В	$U_{уст}$	660
Первичный номинальный ток, А	$I_{max}$	400
Периодическая составляющая тока КЗ, кА	$I_{по}$	40
Вторичный ток, А	$I_2$	5
Класс точности	S	0,5
Номинальная вторичная полная мощность, ВА	$S_2$	5
Климатическое исполнение	-	УХЛ3
Степень защиты	IP	20

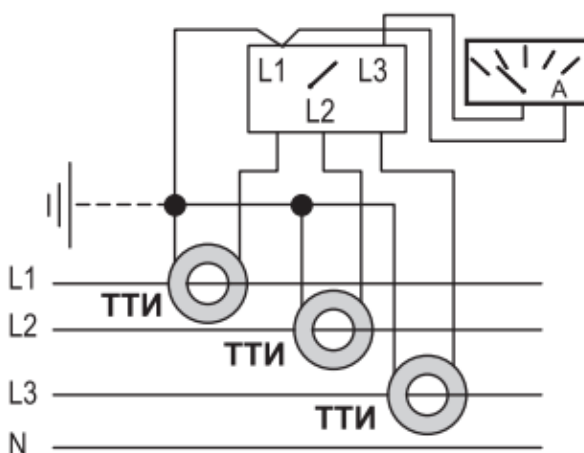


Рисунок 10 – Подключение ТТ ТТИ-40 400/5А к трехфазной сети

Проверяем выбранный ТТ по критериям (18, 19, 20):

$$660\text{В} \geq 380\text{В};$$

$$400\text{А} \geq 400\text{А};$$

$$40\text{кА} > 25,6\text{кА}.$$

Критерии выполнены, ТТ выбран верно. нагрузкой ТТ является электросчетчик ЦЭ-2727 с потребляемой мощностью собственной измерительной системой приблизительно 2,5 ВА и амперметр Э-42702 с аналогичной мощностью 0,5 ВА. То есть суммарная нагрузка для ТТ  $S_{\text{сум}} = 3,0\text{ ВА}$ . Вторичный ток прибора 5А.

Определим сопротивление ТТ:

$$r_{\text{ТТ}} = \frac{S_{\text{сум}}}{I_2^2}, \quad (21)$$

$$r_{\text{ТТ}} = \frac{3}{5^2} = 0,12\text{ Ом}$$

Принимаем по справочным данным:

- сопротивление контактов  $r_k = 0,05\text{ Ом}$ ;

- полное сопротивление вторичной цепи  $Z_{2.\text{ном}} = 0,4\text{ Ом}$ .

Определяем сопротивление соединительных проводов между ТТ и измерительными приборами:

$$r_{\text{пров}} = Z_{2.\text{ном}} - r_{\text{ТТ}} - r_k, \text{ Ом}, \quad (22)$$

$$r_{\text{пров}} = 0,4 - 0,12 - 0,05 = 0,23\text{ Ом}.$$

Так как для присоединения измерительной аппаратуры рекомендуется использовать медные многожильные провода, то выбираем контрольный кабель КРВГ с удельным сопротивлением жилы  $\rho = 0,0175\text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ .

Расстояние от ТТ до шкафа  $l_{Т-П}$  со счетчиком и амперметром обычно в ТП равно 6 метров. Длину провода  $l_{расч}$  принимают с запасом в  $\sqrt{3}$  раз:

$$l_{расч} = l_{Т-П} \cdot \sqrt{3}, \quad (23)$$

$$l_{расч} = 6 \cdot \sqrt{3} = 10,39 \text{ м.}$$

Сечение провода КРВГ:

$$q = \frac{\rho \cdot l_{расч}}{r_{пров}}; \quad (24)$$

$$q = \frac{0,0175 \cdot 10,39}{0,23} = 0,79 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 1,0 мм<sup>2</sup>.

Для работы в системе управления отоплением помещения выбираем датчик-реле температуры ДТКБ-53 (см. рисунок 11): камерный, биметаллического типа, двухпозиционного регулирования:



Рисунок 11 - Датчик-реле температуры ДТКБ-53 [14]

Датчик-реле температуры полностью удовлетворяет требованиям.

## 2.4 Спецификация электрооборудования для собственных нужд

Общие сведения об электрооборудовании для собственных нужд.

Для сигнала в диспетчерский центр на наиболее ответственных автоматических выключателях устанавливаются дополнительные контакты.

Управление обогревом в помещениях подстанции выполняется автоматически, с возможностью переключения в ручной режим. Для автоматического обогрева в отдельных помещениях установлены датчики температуры.

Управление наружным освещением выполнено от астрономического реле времени, позволяющего настроить периоды освещения по временам года и суткам.

Шкаф постоянного тока состоит из трех панелей:

- П1: панель распределительная с шинами ШП (шина переходная) и ШУ (шина универсальная) первой секции шин;
- П2: панель секционирования;
- П3: панель распределительная с шинами ШП и ШУ 2 секции шин.

Аккумуляторные батареи размещаются в отдельно стоящем шкафу аккумуляторных батарей [27]. Аккумуляторные батареи приняты герметичного необслуживаемого исполнения Sonnenschein A412, емкостью 90 А·ч (см. рисунок 12). Количество батарей - 17 шт., номинальным напряжением 12 В [16].





## Рисунок 12 – Аккумуляторная батарея Sonnenschein A412

Данный тип батарей с электролитом в связанном состоянии и клапаном избыточного давления не требуют долива воды в течение всего срока службы. Вскрытие аккумуляторов и долив воды в них запрещен. Используемый для герметизации аккумуляторов клапан избыточного давления не может быть вскрыт без разрушения.

Параметры аккумуляторной батареи Sonnenschein A412/90 F10:

- «напряжение 12 В;
- емкость С10 (1,8 В/эл., 20°C): 90 А·ч;
- максимальная нагрузка: 770 А;
- внутреннее сопротивление: 7 мОм;
- ток короткого замыкания: 1733 А;
- тип клеммы: F-M10;
- максимальная длина: 284 мм;
- максимальная ширина: 267 мм;
- высота: 208 мм;
- общая высота с контактами: 2230 мм;
- вес: 33,5 кг;
- срок службы: 15 лет» [23].

В качестве панелей щита постоянного тока приняты шкафы управления оперативным постоянным током на напряжение =220В типа КАУ-ШУОТ (ЗАО "СИЭЛ").

В силовом щиту ЩС1 выполнено два питающих ввода 0,4кВ с различных секций шин щита собственных нужд ЩСН для оперативного переключения питания потребителей здания при проведении работ на одной из секций шин собственных нужд. Электроснабжение шкафов обогрева на напряжение 380/220В выполнено от щита собственных нужд.

Управление обогревом выполняется автоматически термостатами установленными внутри шкафов проектируемого оборудования.

Обогревательные устройства:

- обогрев привода ВЭБ-110кВ – 1650 Вт (2 шт.);
- обогрев выключателя, для климатического исполнения УХЛ1 – 4355 Вт (2 шт.);
- нагревательные элементы шкафов наружной установки – 320 Вт (2 шт.);
- нагревательные элементы шкафов наружной установки – 150 Вт (8 шт.)

В таблице 9 представлена спецификация электрооборудования, изделий и материалов, необходимых для системы ЭСН.

Таблица 9 - Электрооборудование, изделия и материалы системы ЭСН

Обозначение	Наименование и техническая характеристика	Тип, марка, обозначение документа	Завод-изготовитель	Единица измерения	Количество	Масса единицы
1	2	3	4	5	6	7
	Щит собственных нужд Щит постоянного тока комплектно с аккумуляторными батареями Шкаф гарантированного питания					
	Электрощитовое оборудование					
ШО1, ШО2	Шкаф силовой, с габаритными размерами (ВхШхГ) 1000х600х360 мм, IP54, с вводными рубильниками S1, S2 – ВР32-35 А31220-00 250А, с автоматическими выключателями на отходящих линиях типа iC60N с нагревательными элементами управляемыми термостатом,	ЯОВМ-2	ООО Электрощит, г. Екатеринбург	шт	2	75

	напольного исполнения					
--	-----------------------	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
ШП1, ШП2	Шкаф силовой, с габаритными размерами (ВхШхГ) 1000х600х360 мм, IP54, с вводными рубильниками S1, S2 – ВР32-35 А21220-00 250А, с автоматическими выключателями на отходящих линиях типа iC60N с нагревательными элементами управляемыми термостатом, напольного исполнения	ЯОВМ-2	ООО Электр ощит, г. Екатер инбург	шт	2	75
	Кабельные изделия					
	Кабель силовой с медными жилами на напряжение 1 кВ. с оболочкой из ПВХ-изоляции пониженной пожароопасности, сечением, мм <sup>2</sup> :	ВВГнг- LS-1 ТУ 1671- 310- 2001	ООО «Камка бель»			
	4x70			м	35	
	2x6			м	230	
	2x2,5			м	468	
	2x4			м	118	
	5x6			м	189	
	5x10			м	24	
	5x2,5			м	538	
	3x2,5			м	553	
	3x1,5			м	111	
	Монтажные материалы					
	Металлорукав РЗ-Ц-П-25			м	10	
	Резьбовой крепежный элемент РКН-25			шт	4	

Полка кабельная:					
K1160 ЦУТ1,5 L=175			шт	34	

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
	K1162 ЦУТ1,5 L=340			шт	80	0,52
	Стойка кабельная:					
	K1160 ЦУТ1,5 L=175			шт	17	
	K1162 ЦУТ1,5 L=340			шт	42	0,68
	Лотки					
	Лоток перфорированный 100x50, L=3000	35262	DKC	м	18	
	Крышка на лоток с заземлением основанием 100, L=3000	35522	DKC	м	18	
	Винт с крестообразным шлицем M6x10	CMO106 10	DKC	шт	246	
	Гайка с насечкой, препятствующая откручиванию M6	CMO106 00	DKC	шт	246	
	Винт для электрического соединения M5x8	CMO305 08	DKC	шт	49	
	Угол CS90 вертикальный внутренний 100 (90)/50	36662	DKC	шт	4	
	Пластина крепежная GTO H50	37301	DKC	шт	36	
	Пластина PTSE для заземления	37501	DKC	шт	27	
	Крышка CS90 на угол вертикальный внутренний 100 (90)	38202	DKC	шт	4	
	Крышка на лоток с заземлением основанием 300, L=3000	35525	DKC	м	60	
	Угол CPO90 горизонтальный 90...300 x 50	36005	DKC	шт	1	
	Крышка CP090 на угол горизонтальный 100 (90), основание 300	38005	DKC	шт	1	
	Угол CS90 вертикальный	36665	DKC	шт	4	

внутренний 90...300 / 50					
--------------------------	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
	Крышка CS90 на угол вертикальный внутренний 90, основание 300	38205	DKC	шт	4	
	Лоток перфорированный 300x50, L=3000	35265	DKC	м	60	
	Оборудование и материалы внутри помещения ОПУ					
	Датчик температуры ДТКБ-53, T=0...+30°C			шт	4	
	Труба газопроводная Ц-25x3,2	ГОСТ 3262-75		м	15	
	Пластиковый миниканал ТМС 25x17	Код 00304		м	10	
	Провод ПВЗ, сечением 6 мм <sup>2</sup> , желто-зеленый			м	50	
	Наконечник с отверстием под болт М8			шт	35	
	Болт М8, L=30 мм	ГОСТ 7798-70		шт	35	
	Гайка М8	ГОСТ 5915-70		шт	35	
	Шайба 8	ГОСТ 1137-78		шт	70	
	Оборудование и материалы для выполнения сети наружного освещения					
	Ящик ЯБПВУ-МУЗ, 100А, 380В, IP54, ток плавкой вставки 6А	ТУ 36- 20-54		шт	2	
	Прожектор ЖО-39-400-04-УХЛ1,			шт	6	

симметричный, IP65, со встроенным блоком ПРА, цоколь E40						
--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7
	Металлогалогенная лампа мощностью 400Вт, 220В, цоколь E40			шт	6	
	Коробка клеммная У614АУ2, IP54	ТУ 36-2665-85		шт	2	
	Сталь листовая 270x350x4	ГОСТ 19903-74		шт	1	
	Сталь листовая 200x200x4	ГОСТ 19903-74		шт	1	
	Полоска-пряжка К392 УХЛ2 L=110 мм	ТУ 36-22-66-80		шт	15	
	Металлорукав РЗ-ЦП32			м	6	
	Гибкий ввод К1085 L=925 мм	ТУ 36-1684-85		шт	3	
	Гибкий ввод К1083 L=425 мм	ТУ 36-1684-85		шт	2	
	Труба Ц32x3,2	ГОСТ 3262-75		м	15	

## 2.5 Применение солнечных батарей для заряда аккумуляторных батарей

Произведем расчет и выбор солнечных элементов для заряда аккумуляторных батарей [31]. Суммарная установочная мощность АКБ в системе собственных нужд составляет  $P_{уст} = 18,36 \cdot 10^3$  Вт (п.п. 2.4).

Определим площадь солнечных элементов, если электродвижущая сила одного фотоэлемента равна  $V_0=0,5\text{В}$ , а эффективность ФЭ  $\gamma=2\cdot 10^{-2}$  А/см<sup>2</sup> [28]. Электрический ток, протекающий по ФЭ определяется по формуле

$$I = \gamma \cdot P_{\text{СЭ}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{СЭ}}, \quad (25)$$

где  $P_{\text{СЭ}}$  - площадь солнечных элементов.

Необходимую площадь СЭ [32]:

$$P_{\text{СЭ}} = \frac{P_{\text{расч}}}{\gamma}, \quad (26)$$

$$P_{\text{СЭ}} = \frac{18,36 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2}} = 918000 \text{ см}^2 = 91,8 \text{ м}^2$$

«Рабочее напряжение фотоэлектрических элементов всегда кратно 12В [29]. Это напряжение выбрано из-за того, что аккумуляторные батареи с напряжением 12В являются самыми распространенными. Отсюда используемые рабочие напряжения подавляющего большинства используемых гелиосистем равно 12В, 24В и 48В» [10].

Мощность, требуемая от проектируемой солнечной батареи, равна суммарной мощности солнечных модулей  $P_{\text{С}}$ , Вт, которая определяется по формуле:

$$P_{\text{С}} = \frac{1000 \cdot E_{\text{СУТ}}}{k \cdot C_{\text{ИН}}}, \quad (27)$$

где  $E_{\text{СУТ}}$  – общее среднесуточное потребление.;

1000 – принятая светочувствительность фотоэлектрических элементов, кВт/м<sup>2</sup>;

$k$  – «сезонный коэффициент, учитывающий все потери. Принимается равным  $k=0,7$  для летнего времени,  $k=0,5$  для зимнего времени.

Принимаем к расчету наименее благоприятный вариант  $k=0,5$ » [13];

$C_{ИН}$  – «табличное значение инсоляции (потока солнечной радиации) при оптимальном наклоне панелей, кВт·ч/м<sup>2</sup> (см. таблицу 3)» [13].

Принимаем к расчету  $C_{ИН} = 3,06$  кВт·ч/м<sup>2</sup>. Тогда

$$P_C = \frac{1000 \cdot 18,36}{0,5 \cdot 3,06} = 12000 \text{ Вт.}$$

Выбираем солнечную батарею 12В 500 Вт (т.м. Delta BST) [30], монокристаллическая, стоимость 21000 руб. [7]

В общем проектируемая солнечная батарея будет включать: 12000 Вт/500 Вт= 24 модуля, которые займут общую площадь  $1,48 \cdot 0,62 \cdot 24 = 22$  м<sup>2</sup>, общий вес  $15 \cdot 24 = 360$  кг.

Выводы по второму разделу.

Общая расчетная электрическая нагрузка составила  $S_{НАГР} = 247,51$  кВА. Для снабжения собственных нужд выбрали трансформатор мощностью 160 кВА марки ТМ. Произведен выбор автоматических выключателей на отводящих линиях щитов переменного и постоянного тока. Составлена спецификация электрооборудования собственных нужд. Для повышения надежности системы электроснабжения собственных нужд был спроектирован щит постоянного тока с 17 аккумуляторными батареями. Для повышения энергоэффективности предложено заряд аккумуляторных батарей производить от солнечных панелей. В результате расчета определено необходимое количество солнечных панелей – 24 шт. Суммарная площадь, занимаемая солнечными панелями – 22 м<sup>2</sup>. Общая мощность солнечных панелей, при наиболее благоприятных погодных условиях 12 кВт.



### **3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда**

#### **3.1 Безопасность жизнедеятельности при эксплуатации основного электрооборудования**

Оперативные переключения должен выполнять оперативный персонал, допущенный распорядительным документом руководителя организации. Для допускающих по наряду-допуску и распоряжению наличие на право выполнения оперативных переключений обязательно.

В электроустановках напряжением выше 1000 В работники из числа персонала, единолично обслуживающие электроустановки, или старшие по смене должны иметь группу по электробезопасности IV, остальные работники в смене – группу III.

Единоличный осмотр электроустановок, электротехнической части технологического оборудования может выполнять работник, имеющий группу не ниже III, из числа оперативного персонала, находящегося на дежурстве, либо работник из числа административно-технического персонала, имеющий группу V, для электроустановок напряжением выше 1000 В, и работник, имеющий группу IV, для электроустановок напряжением до 1000 В и права единоличного осмотра на основании письменного распоряжения руководителя организации.

Работники, не обслуживающие электроустановки, могут допускаться в них в сопровождении оперативного персонала, имеющего группу IV, в электроустановках напряжением выше 1000 В, и имеющего группу III – в электроустановках напряжением до 1000 В, либо работника имеющего право единоличного осмотра.

При замыкании на землю в электроустановках напряжением 3-35 кВ приближаться к месту замыкания на расстояние менее 4 м в ЗРУ и менее 8 м – в ОРУ и на ВЛ допускается только для оперативных переключений с целью

ликвидации замыкания и освобождение людей попавших под напряжение. При этом следует пользоваться электрозащитными средствами.

Отключать и включать разъединители, отделители и выключатели напряжением выше 1000 В с ручным приводом необходимо в диэлектрических перчатках.

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены необходимые отключения и приняты меры препятствующие подачи напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;

- на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;

- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;

- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там, где они отсутствуют, установлены переносные заземления);

- вывешены указательные плакаты "Заземлено", при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

В электроустановках напряжением выше 1000 В с каждой стороны, с которой коммутационным аппаратом на рабочее место может быть подано напряжение, должен быть видимый разрыв. Видимый разрыв может быть создан отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, отсоединением или снятием шин и проводов.

Силовые трансформаторы и трансформаторы напряжения, связанные с выделенным для работ участком электроустановки, должны быть отключены и схемы их разобраны также со стороны других своих обмоток для исключения возможности обратной трансформации.

После отключения выключателей, разъединителей (отделителей) и выключателей нагрузки с ручным управлением необходимо визуально убедиться в их отключении и отсутствии шунтирующих перемычек.

В электроустановках напряжением выше 1000 В для предотвращения ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов, которыми может быть подано напряжение к месту работы, должны быть приняты следующие меры:

- у разъединителей, отделителей, выключателей нагрузки ручные приводы в отключенном положении должны быть заперты на механический замок;

- у разъединителей управляемых оперативной штангой, стационарные ограждения должны быть заперты на механический замок;

- у приводов коммутационных аппаратов, имеющих дистанционное управление, должны быть отключены силовые цепи и цепи управления;

- у грузовых и пружинных приводов включающий груз или включающие пружины должны быть приведены в нерабочее положение;

- должны быть вывешены запрещающие плакаты.

На приводах (рукоятках приводов) коммутационных аппаратов с ручным управлением коммутационных аппаратов с ручным управлением (выключателей, отделителей, разъединителей) во избежание подачи напряжения на рабочее место должны быть вывешены плакаты "Не включать! Работают люди".

Плакаты должны быть вывешены на ключах и кнопках дистанционного и местного управления, а также на автоматах или у места снятых предохранителей цепей управления и силовых цепей питания приводов коммутационных аппаратов [20]

На приводах разъединителей, которыми отключена для работ ВЛ или КЛ, независимо от числа работающих бригад, вывешивается один плакат "Не включать! Работа на линии". Этот плакат вывешивается и снимается по указанию оперативного персонала.

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящихся под напряжением.

В электроустановках напряжением выше 1000 В пользоваться указателем напряжения необходимо в диэлектрических перчатках.

В электроустановках напряжением 35 кВ и выше для проверки отсутствия напряжения можно пользоваться изолирующей штангой, прикасаясь ею несколько раз к токоведущим частям. Признаком отсутствия напряжения является отсутствие искрения и потрескивания.

В РУ проверять отсутствие напряжения разрешается одному работнику из числа оперативного персонала, имеющему группу IV – в электроустановках напряжением выше 1000 В и имеющему группу III – в электроустановках напряжением до 1000 В.

На ВЛ проверку отсутствия напряжения должны выполнять два работника: на ВЛ напряжением выше 1000 В – работники, имеющие группы IV и III, на ВЛ напряжением до 1000 В – работники, имеющие группу III.

Устройства, сигнализирующие об отключенном положении аппарата, блокирующие устройства, постоянно включенные вольтметры и т.п. являются только дополнительными средствами, подтверждающими отсутствие напряжения, и на основании их показания нельзя делать заключение об отсутствии напряжения.

Выводы по третьему разделу.

Выполнение правил техники безопасности обеспечивает безопасность деятельности обслуживающего персонала, предотвращает возникновение опасных ситуаций для жизни и здоровья работников.

## Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был разработан проект системы электроснабжения собственных нужд ТЭЦ г. Бишкек с повышенной энергоэффективностью.

Электротехническое оборудование, используемое на ТЭЦ для электроснабжения собственных нужд, не модернизировалось с 1996 года. За прошедшие 27 лет электрооборудование физически изнашивается и морально устарело, что негативным образом сказывается на эффективности его использования. Модернизация электрооборудования позволит повысить надежность системы электроснабжения собственных нужд и повысить энергоэффективность работы. Для питания современной системы управления и защитой электрооборудования, эксплуатируемого в системе электроснабжения собственных нужд, необходимо бесперебойное электроснабжение напряжением постоянного тока. Для этого проектируется новый ЩПТ, обеспечивающий потребителей бесперебойным электроснабжением в течении 3 часов. Данного времени достаточно для устранения большинства возможных поломок или неисправностей.

Общая расчетная электрическая нагрузка составила  $S_{\text{НАГР}} = 247,51$  кВА. Для снабжения собственных нужд выбрали трансформатор мощностью 160 кВА марки ТМ. Произведен выбор автоматических выключателей на отводящих линиях щитов переменного и постоянного тока. Составлена спецификация электрооборудования собственных нужд. Для повышения надежности системы электроснабжения собственных нужд был спроектирован щит постоянного тока с 17 аккумуляторными батареями. Для повышения энергоэффективности предложено заряд аккумуляторных батарей производить от солнечных панелей. В результате расчета определено необходимое количество солнечных панелей – 24 шт. Суммарная площадь, занимаемая солнечными панелями – 22 м<sup>2</sup>. Общая мощность солнечных панелей, при наиболее благоприятных погодных условиях 12 кВт.

## Список используемых источников

1. Автоматизация расчета показателей состояния энергооборудования [Электронный ресурс] : URL: <https://www.eg-online.ru/article/454368/> (дата обращения 10.03.2023)
2. Автоматический выключатель iC60H 2П 10А С Schneider Electric A9F89210 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Кабель.РФ». URL: <https://cable.ru/low-voltage/schneider-electric-avtomaticheskii-viklyuchatel-ic60h-2p-10a-c.php> (дата обращения 03.03.2023).
3. Алгоритм работы теплоэлектростанции [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Альтернативная энергетика». URL: <https://altenergetika.ru/ustrojstvo-i-princzip-raboty-teplovyh-elektrostantsij/> (дата обращения 10.03.2023)
4. Анализ реактивной мощности промышленного предприятия [Электронный ресурс] : URL: <https://core.ac.uk/download/11337356.pdf> (дата обращения 10.03.2023)
5. Анализ распределительной сети ТЭЦ [Электронный ресурс] : информационный ресурс «FIS». URL: <https://fis.bobrodobro.ru/24336> (дата обращения 10.03.2023)
6. Автоматический выключатель iC60H 2П 10А С Schneider Electric A9F89210 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Кабель.РФ». URL: <https://cable.ru/low-voltage/schneider-electric-avtomaticheskii-viklyuchatel-ic60h-2p-10a-c.php> (дата обращения 10.03.2023)
7. Альтернативные источники энергии [Электронный ресурс] : URL: <https://trends.rbc.ru/trends/green/609e76449a7947f4755ac9dc> (дата обращения 10.03.2023)
8. Автоматический выключатель: достоинства, недостатки [Электронный ресурс] : URL: <https://www.vseinstrumenti.ru/category/avtomaticheskie-vyklyuchateli-3623/otzyvy/> (дата обращения 10.03.2023)

9. Астрономическое реле PCZ-527 [Электронный ресурс] : URL: <https://tde-fif.ru/catalog/pcz-527> (дата обращения 10.03.2023)
10. Астрономическое реле времени [Электронный ресурс] : официальный сайт «НПО Электроавтоматика». URL: <https://elektroavtomatika.ru/articles/astronomicheskoe-rele-vremeni-opisanie> (дата обращения 10.03.2023)
11. Болдырев К.В. Состояние российской тепловой электроэнергетики и существующие российские технологии генерации на пороге новой программы модернизации электроэнергетического комплекса России. Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление, 2019, №4. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/econ/2019/04/2019-04-05.pdf> (дата обращения 20.02.2023).
12. ВА 57-31 Автоматические выключатели в литом корпусе на токи от 16А до 100 А [Электронный ресурс] : официальный сайт завода «КЭАЗ». URL: <https://keaz.ru/catalog/automat/avtomaticheskie-viklyuchateli-v-litom-korpuse/va57-blochnie-avtomaticheskie-vikluchateli-na-toki-ot-16a-do-630a/va57-31> (дата обращения 10.03.2023)
13. Выбор автоматического выключателя 0,4 кВ: расчет защиты, уставок для сетей и двигателей [Электронный ресурс] : информационный ресурс «ПУЭ8». URL: <https://pue8.ru/vybor-elektrooborudovaniya/223-vybor-avtomaticheskikh-vyklyuchateley.html> (дата обращения 03.03.2023)
14. Датчик-реле температуры ДТКБ-53 [Электронный ресурс] : URL: <https://www.texenergo.ru/catalog/item.html/te00005946> (дата обращения 10.03.2023)
15. Категории надежности электроснабжения (1,2 и 3) [Электронный ресурс] : URL: <https://tech-expo.ru/akty-i-pravila-dgu/kategorii-nadezhnosti/> (дата обращения 10.03.2023)
16. Коэффициент разброса автоматического выключателя [Электронный ресурс] : информационный ресурс «СЭТЗ». URL:

<https://setzenergo.ru/vyklyuchateli/koeffitsienta-razbrosa-avtomaticheskogo-vyklyuchatelya.html> (дата обращения 04.03.2023).

17. Модульные реле измерения и контроля Zelio Control [Электронный ресурс] : URL: <https://www.sktech.ru/docs/manuals/schneider-electric/zelio-control-relays-russian2007.pdf> (дата обращения 10.03.2023)

18. Программируемые логические реле [Электронный ресурс] : URL: <https://www.e-automation.ru/taxonomy/term/88> (дата обращения 10.03.2023)

19. ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7 [Электронный ресурс] : URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue/razdel-1-2-3.html> (дата обращения 07.03.2023)

20. Р 641. Методика выбора и проверки автоматических выключателей и предохранителей в электрических сетях напряжением до 1000 В [Электронный ресурс] : URL: <https://osjd.org/api/media/resources/11887?action=download> (дата обращения 10.03.2023)

21. Реле тока РМПТ 01-01, РМПТ 01-02 [Электронный ресурс] : информационный ресурс «ЭЛКОНТ». URL: [http://www.elkont.ru/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=13&sobi2Id=670&Itemid=55](http://www.elkont.ru/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=13&sobi2Id=670&Itemid=55) (дата обращения 10.03.2023)

22. Технический паспорт продукта – интеллектуальное реле SR2B201FU [Электронный ресурс] : URL: <http://www.electricline.ru/catalog/SE/zeleo%20logic/sr2b201fu.pdf> (дата обращения 10.03.2023)

23. Трансформатор ТМ 160 кВА 6(10) 0,4 кВ [Электронный ресурс] : официальный сайт завода «ЭЛТЕХКОМ». URL: <https://eltexkom.com/tm-160-610-04-transformator/> (дата обращения 03.03.2023)

24. Трансформатор тока ТТИ-40 400/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК [Электронный ресурс] : URL: <https://shop220.ru/itt30-2-05-0400-transformator-toka-tti-40-400-5a-5va-klass-05-iek.htm> (дата обращения 10.03.2023)



25. Трансформаторы тока измерительные на напряжение 0,66 кВ типа ТТИ [Электронный ресурс] : URL: <https://shop220.ru/pdf/?id=27730> (дата обращения 10.03.2023)

26. Цикл Ренкина [Электронный ресурс] : <http://tw.t.mpei.ac.ru/tthb/2/Aleksandrov/Chapter-7/7-1.pdf> (дата обращения 05.03.2023)

27. Эксплуатационная документация. Стационарные свинцово-кислотные герметизированные необслуживаемые аккумуляторы [Электронный ресурс] : [https://www.ups-mag.ru/files/pdf/gnb/instr\\_dryfit.pdf](https://www.ups-mag.ru/files/pdf/gnb/instr_dryfit.pdf) (дата обращения 10.03.2023)

28. Photovoltaic Applications [electronic resource]: official website of the company «NREL Transforming Energy» URL: <https://www.nrel.gov/pv/applications.html> (date of the application 20.03.2023)

29. Seven uses of solar energy [electronic resource]: blog «Renewable energy», July 12, 2018. URL: <https://freedomssolarpower.com/blog/7-uses-of-solar-energy> (date of the application 19.03.2023)

30. Solar Panel 460 W Sunway Mono-Crystalline [electronic resource]: Internet portal «SmartSecurity» URL: <https://www.smartsecurity-lb.com/product/solar-panel-460-w-sunway-mono-crystalline/> (date of the application 02.04.2023)

31. Solar Panel Calculator [electronic resource]: URL: <https://www.omnicalculator.com/ecology/solar-panel> (date of the application 22.03.2023)

32. Calculation & Desing of Solar Photovoltaic [electronic resource]: URL: <https://www.electricaltechnology.org/2020/10/calculation-design-solar-photovoltaic-modules-array.html> (date of the application 02.04.2023)