

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 Разработка системы централизованной защиты на землю в распределительных устройствах 35/6 кВ

Обучающийся

Д.Н. Голованов  
(Инициалы Фамилия)

  
(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов  
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

## Аннотация

Проблема ликвидации замыканий на землю уже давно препятствует нормальной работе электрической распределительной системы в сетях среднего напряжения. Ускоренное старение изоляции, вызванные ими повреждения ухудшают эффективность работы персонала из-за необходимости переключения персонала с плановых работ на аварийные.

Для решения данной проблемы необходимо для имеющихся распределительных устройств разработать систему защиты от ОЗЗ, которая сможет быстро и эффективно обнаруживать присоединения с повреждениями и при необходимости отключить его или переключить потребителя на резерв.

В данной выпускной квалификационной работе разработан проект системы централизованной защиты от однофазных замыканий на распределительных устройствах среднего напряжения. Проанализирована актуальность проблематики и местная статистика замыканий на землю, целесообразность внедрения защиты, проведён сравнительный анализ современных защит от замыканий, рассчитан экономический эффект от внедрения защиты, разработаны схемы подключения, а также произведены опытно-промышленные испытания, по результатам которых доказана эффективность работы защиты и выбранного устройства.

## Содержание

Введение.....	4
1 Цели и задачи внедрения защиты от ОЗЗ.....	6
1.1 ЗРУ-6кВ «Янтарная».....	7
1.2 Анализ методов ликвидации ОЗЗ на РУ.....	12
1.3 Обоснование необходимости централизованной защиты от ОЗЗ .	14
1.4 Централизованные защиты от ОЗЗ .....	16
2 Разработка системы централизованной защиты от ОЗЗ на РУ .....	18
2.1 Выбор централизованной защиты от ОЗЗ.....	18
2.2 Контроллер МКЗЗП-6-35 .....	20
2.3 Внедрение контроллера МКЗЗП-6-35 на РУ.....	23
2.3.1 Монтажные работы.....	23
2.3.2 Проверка сопротивления изоляции.....	28
2.3.3 Расчёт уставок защиты .....	29
3 Итоги работ и окупаемость .....	37
3.1 Работа с устройством.....	37
3.2 Экономический анализ проекта.....	38
Заключение .....	43
Список используемых источников.....	44
Приложение А .....	47
Приложение Б.....	50
Приложение В .....	51
Приложение Г .....	52

## Введение

В настоящее время на территории России в сетях с изолированной нейтралью напряжением 6-35 кВ, самым распространённым видом повреждений на линиях электропередач (ЛЭП) является однофазное замыкание на землю (ОЗЗ). От 70 до 90 % всех аварий. ОЗЗ – это такой вид повреждений, при котором одна из трёх фаз системы замыкается на землю или на элемент, который имеет электрический контакт с землёй. Ток ОЗЗ замыкается на землю через емкости неповрежденных фаз. Значение этого тока небольшое и определяется суммой емкостей неповрежденных фаз. Соотношение линейных напряжений при возникновении ОЗЗ не изменяется, что позволяет не производить отключение повреждённого элемента незамедлительно и продолжать эксплуатировать сеть. Тем не менее, ОЗЗ создаёт большую опасность для электрооборудования из-за того, что происходит увеличение фазного напряжения (между неповрежденными фазами и землей) до линейного и выше (от 2 до 4 раз больше номинального), ввиду уравнивания потенциала поврежденной фазы и земли. При влиянии повышенного напряжения изоляция неповрежденных фаз подвергается ускоренному старению, что в итоге приводит к замыканию на землю других фаз и возникновению двойного замыкания на землю, которое в свою очередь является коротким замыканием (КЗ) и требует немедленного отключения поврежденного участка сети. Также причиной ОЗЗ может быть механическое воздействие на электроустановку (повреждение кабеля при проведении земляных работ, падение ветки дерева на провод ЛЭП и т.д.).

Развитие и не оперативная ликвидация ОЗЗ опасно тем, что:

- ток ОЗЗ, растекаясь по земле вблизи места замыкания на землю, представляет опасность для жизни людей и животных;
- возникает дуговое замыкание на землю прерывистого характера с перенапряжением больше номинального;

- в трансформаторах напряжения (ТН) возникает феррорезонанс, который с высокой вероятностью приводит к преждевременному выходу их из строя.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что ликвидация ОЗЗ должна производиться в кратчайшие сроки. Для этих целей создаются и усовершенствуются защиты от ОЗЗ. Проблема массового применения таких защит связана со сложностью и многообразием факторов, влияющих на их работу, а именно:

- вид замыкания (металлическое, через переходное сопротивление или дугу);
- устойчивость замыкания (устойчивые и неустойчивые: прерывистое замыкание и замыкание через перемежающуюся дугу);
- наличие небалансов в сети;
- переходные процессы схожие с процессами при ОЗЗ (включение линии, наводка от других ЛЭП при ОЗЗ на них и т.д.).

До 2008 года повсеместно использовались индивидуальные защиты от ОЗЗ, которые обладали большим количеством недостатков, а именно низкая чувствительность, ложные срабатывания, сложная отстройка и т.д. Сейчас на рынке появились централизованные защиты от ОЗЗ, которые лишены многих недостатков своих предшественников. Принцип работы таких защит основан на сравнении действующих значений токов нулевой последовательности и выборе повреждённого фидера с максимальным емкостным током [1].

В данной ВКР разработан проект по использованию современной централизованной защиты на распределительное устройство (РУ) среднего напряжения и оценка его эффективности.

## 1 Цели и задачи внедрения защиты от ОЗЗ

Возникновение и последствия ОЗЗ, причины неправильного действия защит от замыканий неоднократно обсуждались во многих изданиях и публикациях и, в итоге, многие исследователи и изобретатели задали высокую планку для будущего изучения этого вопроса.

ОЗЗ создает ненормальный режим и представляет опасности ниже:

- появление перенапряжения, что может привести к пробое изоляции неповрежденных фаз и переходу ОЗЗ в «двухместное» или двойное замыкание на землю, близкое по своим характеристикам к двухфазным КЗ, риск аварий которых вырос в последнее время, т.к. изоляция оборудования устарела на многих энергообъектах и отсутствует средства на их модернизацию и замену;
- поражение электрическим током обслуживающего персонала и потребителей и опасность для окружающей среды;
- при длительном замыкании в сети происходит ускоренное старение изоляции и повреждение электрооборудования;
- появление феррорезонанса, от которого выходят из строя ТН [2].

Из выше сказанного следует, что ОЗЗ представляет серьёзную опасность для электрооборудования и обслуживающего персонала, что значит ликвидация замыканий на землю должна производиться в кратчайшие сроки.

Целью данной ВКР является уменьшение пагубных влияний ОЗЗ за счёт внедрения на распределительном устройстве, с большим числом присоединений, современной быстродействующей защиты от замыканий. Для реализации данной идеи необходимо выполнить следующие задачи:

- определить РУ, на которое необходимо внедрить централизованную защиту от ОЗЗ;
- проанализировать рынок современных защит от ОЗЗ и выбрать лучшее;

- спроектировать схемы подключения;
- установить централизованную защиту на РУ.

В ведомстве ООО «Газпромнефть Энергосистемы» производственного электрообеспечения «Холмогорнефть», где я проходил производственную и преддипломную практики, находится распределительное устройство с множеством отходящих воздушных линий (ВЛ) 6кВ. Это РУ было выбрано в качестве объекта для внедрения современной системы централизованной защиты от ОЗЗ.

### 1.1 ЗРУ-6кВ «Янтарная»

Данное РУ введено в эксплуатацию в феврале 1993 года, т.е. в настоящий момент срок службы составляет почти 30 лет. ЗРУ-6кВ «Янтарная» произведена в городе Самаре и имеет 45 ячеек типа К-26 (КРУН-6кВ серии XXVI ТУ-34). Источник питания ЗРУ подстанция 110/35/6кВ «Янтарная», расположенная в 20-ти метрах от неё. На рисунках 1 и 2 представлены внешний вид РУ и вид изнутри.



Рисунок 1 – Внешний вид ЗРУ-6кВ «Янтарная»



Рисунок 2 – Внутренний вид ЗРУ-6кВ «Янтарная»

Согласно [16] на стороне 6 кВ предусмотрена раздельная работа трансформаторов. За один час ЗРУ-6кВ «Янтарная» пропускает через себя 640 кВт, а за сутки 15,5 МВт – это самый большой расход электроэнергии на всём Вынгапурском месторождении. Связано это с тем, что ЗРУ является пунктом питания кустовой насосной станции (КНС), следовательно, в ней установлено много ячеек с двигательной нагрузкой. Данные ячейки питают двигатели насосных установок. Присутствует система возбуждения, которая предназначена для питания обмотки возбуждения синхронных машины постоянным током и соответствующего регулирования этого тока через тиристорные возбудители [8].

Релейная защита ячеек ЗРУ реализована на электромеханических реле, типа РТ-40, РТ-84, РП-23, РПВ-58, РН-54/160, РНФ-1М и т.д., которые исправно служат, при регулярном ежегодном техническом обслуживании. За всё время эксплуатации было заменено 13 выключателей с масляных типа ВМП на вакуумные типа ВБЭС и ВВ/TEL, в ближайшие годы планируется реализация плана по полному переводу всех ячеек на вакуумные



выключатели. Организация питания оперативных шинок постоянное, через зарядно-выпрямительное устройство (ЗВУ). Применение постоянного оперативного тока увеличивает стоимость сооружения, но обеспечивает большую надежность [11].

В приложении А представлена однолинейная схема ЗРУ-6кВ «Янтарная».

Ниже в таблице 1 представлен состав всех ячеек, т.е. основное силовое оборудования.

Таблица 1 – Ячейки ЗРУ-6кВ «Янтарная»

№ п.п.	Присоединение	Выключатель	ТСН, ТН	Предохранитель	Разрядник	ТТ	ТТНП
1	2	3	4	5	6	7	8
1	КЛ-6кВ резерв	ВМПЭ-10-630А	-	-	-	300/5	ТЗЛМ-УЗ 0,66
2	Т-2 КПП КНС-3	то же	-	-	-	300/5	то же
3	ф. Я-03	«»»	-	-	-	100/5	«»»
4	ВЛ-6кВ ф.Я-04	«»»	-	-	-	300/5	«»»
5	ТЗРУ-6кВ «ЦПС» яч.31	«»»	-	-	-	600/5	«»»
6	РВ6-2	-	-	-	ОПН-П	-	-
7	ТН6-2	-	НТМИ-0,66 УЗ	ПН-10А	-	-	-
8	ТСН-2	-	ТОНЬ 63/10	-	-	-	-
9	Ввод-2	ВБЭП-10 3150А	-	-	-	ТПШЛ-10 2000/5	-
10	Заземляющие ножи зВ6-2	-	-	-	-	-	-
11	Пр. ТСН-2		-	WBWMI-6/10 15А	-	-	-
12	СВ-6	ВМПЭ-10 3200А	-	-	-	ТЛШ-10 2000/5	-
13	СР-6		-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
14	ТН6-1	-	НТМИ-0,66 УЗ	ПН-10А	-	-	
15	ТСН-1	-	ТОНЬ 63/10	-	-	-	-
16	Пр. ТСН-2	-	-	WBWMI-6/10 15А	-	-	-
17	Заземляющие ножи зВ6-2	-	-	-	-	-	-
18	Ввод-1	ВБЭП-10 3150А	-	-	-	ТПШЛ-10 2000/5	-
19	РВ6-1	-	-	-	ОПН-П	-	-
20	ВЛ-6кВ ф.Я-20	ВМП-10-630А	-	-	-	600/5	ТЗЛМ-УЗ 0,66
21	ВЛ-6кВ ф.Я-21	то же	-	-	-	ТОЛ-10 300/5	то же
22	ВЛ-6кВ ф.Я-22	«»	-	-	-	400/5	«»
23	Т-1 КПП КНС-3	ВБЭС-10-1000А	-	-	-	300/5	«»
24	ф.Я-24	ВМП-10-630А	-	-	-	100/5	«»
25	-	-	-	-	-	ТЛМ-10 600/5	«»
26	ВЛ-6кВ ф.Я-26	ВМП-10-630А	-	-	-	150/5	«»
27	УКРМ-1	то же	-	-	-	ТПЛ-10 300/5	«»
28	ВЛ-6кВ ф.Я-28	«»	-	-	-	400/5	«»
29	КЛ-6кВ ф.Я-29	«»	-	-	-	100/5	«»
30	ВЛ-6кВ ф.Я-30	«»	-	-	-	ТПЛ-10 400/5	«»
31	ВЛ-6кВ ф.Я-31	«»	-	-	-	400/5	«»
32	-	«»	-	-	-	-	-
33	-	«»	-	-	-	-	-
34	ВЛ-6кВ ф.Я-34	«»	-	-	-	400/5	ТЗЛМ-УЗ 0,66
35	СД-7	ВВ/TEL 1000А	-	-	-	400/5	то же
36	-	ВМП-10-630А	-	-	-	ТПЛ-10 100/5	«»
37	СД-5	ВВ/TEL 1000А	-	-	-	400/5	«»

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
38	СД-1	ВМП-10-630А	-	-	-	ТЛМ-10 300/5	«»
39	СД-3	то же	-	-	-	ТОЛ-10 300/5	«»
40	СД-2	«»	-	-	-	ТЛМ-10 300/5	«»
41	СД-4	ВБЭС-10-1000А	-	-		300/5	«»
42	СД-6	ВВ/TEL 1000А	-	-	-	400/5	«»
43	СД-8	ВВ/TEL 1000А	-	-	-	ТПЛ-10 400/5	«»
44	ВЛ-6кВ ф.Я-44	ВМП-10-630А	-	-	-	300/5	«»
45	-	то же	-	-	-	-	-
46	-	«»	-	-	-	-	-
47	-	«»	-	-	-	-	ТЗЛМ- У3 0,66
48	-	«»	-	-	-	-	то же
49	-	«»	-	-	-	ТОЛ-10 300/5	«»
50	ВЛ-6кВ ф.Я-50	«»	-	-	-	ТОЛ-10 400/5	«»
51	ВЛ-6кВ ф.Я-51	«»	-	-	-	300/5	«»
52	УКРМ-2	«»	-	-	-	ТПЛ-10 300/5	«»
53	КЛ-6кВ ф.Я-53	ВБЭС-10-1000А	-	-	-	400/5	«»
54	КЛ-6кВ резерв	ВМП-10-630А	-	-	-	ТЛМ-10 600/5	«»
55	ВЛ-6кВ ф.Я-55	ВМП-10-630А	-	-	-	ТЛК-10 300/5	«»

Проанализировав данные, указанные выше, я пришёл к выводу, что 14 воздушным линиям необходима централизованная защита от ОЗЗ. Воздушные линии – устройства для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенные на открытом воздухе [13]. Данные ВЛ питают ответственных потребителей нефтяного и газодобывающего сектора, поэтому время простоя у таких потребителей

должно быть сведено к минимуму. Следовательно, система централизованной защиты будет контролировать токи нулевой последовательности в присоединениях №: 4, 20, 21, 22, 24, 26, 28, 30, 31, 34, 44, 50, 51, 55, а также напряжение нулевой последовательности в ячейках ТН6-1 и ТН6-2, 14 и 7 соответственно.

ЗРУ-6кВ «Янтарная» это стратегический объект, который находится в ведомстве пятого сетевого района, его инженерно-технические работники (ИТР) и электромонтёры являются опытными и ответственными сотрудниками, осуществляющими своевременное обслуживание электрооборудования согласно графикам.

## **1.2 Анализ методов ликвидации ОЗЗ на РУ**

Самой слабой частью в системе электроснабжения Вынгапурского месторождения являются воздушные распределительные сети 6 кВ, которые в свою очередь является последним этапом на пути электроэнергии к потребителям, которым являются нефтедобывающая промышленность. Протяженность воздушных линий 6 кВ на всём месторождении составляет более 300 тысяч километров, а это почти 45 % от общей протяженности линий электропередачи 0,4-110 кВ Вынгапурского месторождения. А ведь, около 90 % всех нарушений электроснабжения происходит именно этом классе среднего напряжения [18]. Такие факторы как большая протяжённость ЛЭП, наличие отпаек, непроходимость территорий и прочее, существенно затрудняют ликвидацию ОЗЗ в кратчайшие сроки. Прежде чем будет определено конкретное место повреждения, необходимо определить, какое именно из имеющихся присоединений повреждено однофазным замыканием.

Способы определения присоединения с повреждением:

- индивидуальные защиты от ОЗЗ;
- устройства (реле) сигнализации для определения присоединения с повреждением по принципу ручного попеременного замера уровня

ёмкостных токов в трансформаторе тока нулевой последовательности (ТТНП);

- ручное поочередное сравнение уровней ёмкостных токов через терминалы релейной защиты, к которым подключены ТТНП;
- определение наличия замыкания на землю по наличию напряжения нулевой последовательности на разомкнутом треугольнике ТН одной из секций (самый распространённый метод, но также самый неселективный, т.к. персонал знает только секцию с замыканием, а не конкретное присоединение);
- попеременное отключение присоединений до момента исчезновения сигнала ОЗЗ на секции;
- централизованные защиты от ОЗЗ.

После определения присоединения с повреждением есть фактор, который определяет выбор способа ликвидации ОЗЗ и от этого способа будет зависеть ущерб электрооборудования, потери времени и электроэнергии. А именно – возможность отключения присоединения с замыканием и переключения потребителей на резервную линию. В случае отсутствия резерва и возможности отключения присоединения, на отыскание места ОЗЗ отправляется поисковый отряд со специализированной аппаратурой. В основном используется современный переносной цифровой указатель «Вектор» предназначен для определения места ОЗЗ в ВЛ, а также пирометр. Данный прибор и его аналоги не сыскали славу у обслуживающего персонала из-за частой некорректной работы устройства. После нахождения места замыкания линию отключают, повреждение быстро ликвидируют и линию включают обратно. Время простоя обычно сопоставляют с потерями в добыче ресурсов. В другом случае присоединение отключают, потребителей переводят на резерв и поисковый отряд ищет следы места замыкания, пока линия не под напряжением, что в свою очередь безопаснее.

Из всех предложенных способов, самым эффективным считается установка на распределительных устройствах централизованной защиты от

ОЗЗ. Данным тип защит – это инновационное решение по быстрому определению присоединений с ОЗЗ.

### 1.3 Обоснование необходимости централизованной защиты от ОЗЗ

Для того чтобы доказать эффективность использования современной централизованной защиты от ОЗЗ, необходимо проанализировать данные по аварийным отключениям и событиям за последние года, расходы, затраченные на ликвидацию замыканий традиционными способами и сопоставить их с данными, полученными от производств с уже внедрёнными централизованными защитами и стоимостью за комплект аппаратуры. Расчёт экономической эффективности будет приведён в главе 3. Ниже представлен рисунок 3, где изображён график с числом замыканий на землю отключений, причиной которых стало развитие ОЗЗ в двойное замыкание на землю и межфазное КЗ за последние пять лет на ЗРУ-6кВ «Янтарная». Данные были предоставлены начальником диспетчерской службы по Вынгапурскому м/р.

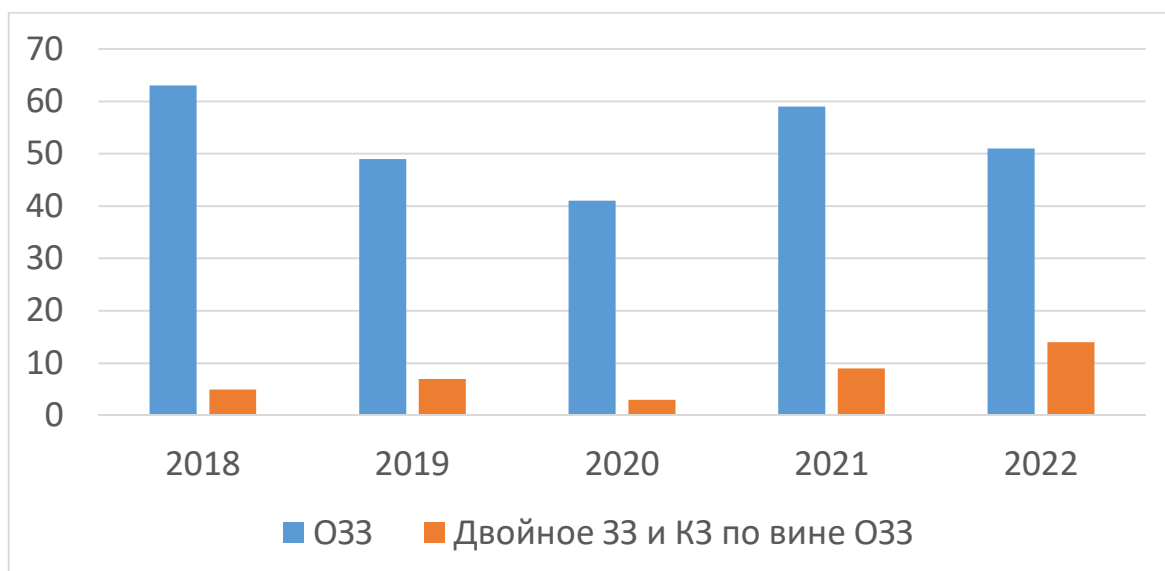


Рисунок 3 – Анализ замыканий и аварийных отключений ЗРУ-6кВ «Янтарная»

Можно заметить, что среднее число замыканий на землю в год составляет 50 и его увеличение или уменьшение зависит от погодных условий. Следовательно, основными причинами ОЗЗ в северных районах являются грозы, которые за короткий период (май-июль) производят половину всех аварийных событий в сетях высшего, среднего и низкого напряжения. Проблема увеличения аварийных отключений, связанных с ОЗЗ, в первую очередь, зависит от медленного отыскания и ликвидации ОЗЗ, что в свою очередь приводит к выходу из строя электрооборудования, в основном изоляторов, в виду ускоренного старения под действием повышенного напряжения. Следовательно, можно смело предполагать, что в будущем аварийных отключений, причиной которых будет ОЗЗ, станет больше, а подобного нельзя допустить, ведь любой простой нефтедобывающей промышленности измеряется «недобычей» нефти, а это эквивалентно потерям в миллионы рублей.

В 2016 году на подстанции 35/6 кВ «К-61» Приобского месторождения компании ООО «Газпромнефть Энергосистемы» была внедрена централизованная защита от ОЗЗ на базе микропроцессорного контроллера МКЗЗП-6-35 производства НПП «ЭСТРА» город Новосибирск. За время эксплуатации она получила положительную оценку от комиссии Санкт-петербургского Научно-технического совета. Ниже на рисунке 4 представлена диспетчерская сводка по ОЗЗ и аварийным отключениям за период с 2014 по 2018 года, предоставленные из диспетчерского центра Приобского месторождения.

Установка централизованной защиты от ОЗЗ способствовала быстрому спаду аварийных отключений по вине ОЗЗ, в 2018 году до нуля. Причиной этому стало оперативное реагирование на появление замыканий диспетчеров, которые, зная на каком присоединение неисправность, могли перевести потребителей на резерв или опрашивать обслуживающий персонал на ликвидацию ОЗЗ на уже известном присоединении, что существенно увеличило эффективность работы всех служб.



Рисунок 4 – Анализ замыканий и аварийных отключений  
ПС 35/6кВ «К-61» Приобского м/р

#### 1.4 Централизованные защиты от ОЗЗ

Защиты, принцип работы которых основан на централизованном опросе каналов лишены недостатков индивидуальных защит, а именно ложных срабатываний, связанных с переходными процессами на линиях без повреждений. В логике работы централизованных защитах от ОЗЗ применяется сравнение амплитудных или действующих значений емкостных токов или токов нулевой последовательности. Фидер с повреждением выбирается на основании сравнения емкостных токов (нулевой последовательности) по всем присоединениям секции и определении присоединения с максимальным ёмкостным током (нулевой последовательности). Защита может рассчитывать эти значения как в начальный миг появления сигнала замыкания, т.е. вести расчёт переходных величин замыкания, так и в установившемся режиме работы подстанции [20]. Также, возможен принцип работы защиты с учётом высших гармоник токов нулевой последовательности, либо наложенного тока с отличной от



промышленной частотой. Для увеличения области применения на РУ с большим числом отходящих присоединений, имеется возможность введение в такие защиты дополнительной корректировки, которая дает произвести отстройку защиты в некоторых сложных режимах работы сети [4].

На сегодняшний день последней инновационной разработкой является централизованная защита с параллельным синхронизированным опросом каналов, которая сможет работать в режиме импульсного сравнения токов нулевой последовательности во всех присоединениях, тем самым устраняя влияния несинфазности и несинхронности сравниваемых сигналов [15].

Устройства такого типа можно использовать для сетей с изолированной (также способно работать и с резистивно-заземленной нейтралью) и компенсированной (комбинированной) нейтралью [17]. Защиты по принципу действия являются централизованными токовыми ненаправленными, которые сравнивают амплитудные значения бросков емкостных токов нулевой последовательности во всех присоединениях защищаемой секции в момент срабатывания пускового органа, включенного на напряжение нулевой последовательности и определяющих повреждённое присоединение по наибольшей амплитуде. Ток срабатывания таких защит не требует отстройки от ёмкостного тока каждого из защищаемых присоединений, что существенно повышает чувствительность защиты и тем самым выгодно отличает её от описанных ранее устройств ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности [5]. На сегодняшний день данная защита является передовой разработкой в выявлении ОЗЗ.

Вывод по первому разделу.

Для решения проблем с замыканиями на землю, которые являются самыми распространёнными авариями в сетях 6-35 кВ, на ЗРУ-6кВ «Янтарная» необходима установка современной системы централизованной защиты от ОЗЗ, опыт использования которой доказан статистическими данными с других производств.

## 2 Разработка системы централизованной защиты от ОЗЗ на РУ

### 2.1 Выбор централизованной защиты от ОЗЗ

Как уже было сказано выше, в настоящее время на рынке присутствует множество устройств, которые могут определять ОЗЗ. В этой главе будет проведён сравнительный анализ таких устройств.

Ниже в таблице 2 представлено сравнение современных устройств определения ОЗЗ с их техническими данными и стоимостью.

Таблица 2 – Сравнительная таблица

№ п.п.	Устройство	ИКЗ «ДСИ КЛ-2»	Сириус-ОЗЗ	Геум	МКЗЗП-6-35
1	Принцип работы	Индивидуальная	Централизованная		
2	Контроль	IO(ТТНП)	IO(ТТНП), 3U0(ТН)		
3	Комплект поставки	3хТТ, ТТНП, модуль, датчики	Терминал	16хУСО-1, 1хУСО-2, ПУ, базовый блок	
4	Опрос каналов	-	Поочередной	Параллельный синхронизированный	
5	Доп. функционал	Индикация КЗ	нет	Вычисление феррорезонанса, ОТКЛ присоединения	
6	Внедрение	-	ПС 35/6кВ «К-304» Вынгапуровское м/р	ПАО «Россети»	ПС 35/6 кВ «К-61» Приобское м/р
7	Стоимость, руб.	32 000 руб×14 = 448 000	249 000	310 000	259 000
8	Вид				

Обоснование выбора защиты от ОЗЗ, которая будет применена в разработке системы защиты ЗРУ-6кВ «Янтарная» от замыканий, будет основано на сравнение принципов работы устройств, способов и параметров измерений, комплектов поставки, по способам опроса каналов, дополнительным функциям контроллера, практика использования и внедрения и по стоимости аппаратуры.

Современный Индикаторы КЗ от ООО «ДС-ИНЖИНИРИНГ» — это индивидуальные защиты нового образца. Комплект поставки устройства состоит из миниконтроллера, специализированных ТТ и ТТНП, и индикаторов КЗ, которые вешаются на кабель трёх фаз линии. Принцип работы защит контроллера, как было сказано выше, аналогичен обычному терминалу защит, т.е. индивидуальной защиты присоединения, а это значит устройство не увидит замыкание на шинах в случае выхода из строя предохранителя ТН. Также опыт использования показывает, что индикаторы КЗ не видят замыканий на линиях, что доказывает их неэффективность в решении вопросов по отысканию ОЗЗ на линии присоединений. Также стоит заметить, что в комплект поставки входят специализированные ТТ, что исключает взаимозаменяемость. Также стоимость за 14 комплектов оборудования на все присоединения, в сравнении с другими представителями, слишком велика.

Блоки микропроцессорной релейной защиты (БМРЗ), как устройство, представляют собой совокупность аппаратного и программного обеспечения [3]. Сириус-ОЗЗ от «Радиус-автоматика» является первой централизованной защитой с поочередным опросом каналов, время обработки у которых достигает 9 сек, что уже в настоящее время не актуально. Отсутствие дополнительных функций также снижает вероятность выбора, данного терминала для целей проекта. Из плюсов можно отметить, что комплект поставки состоит только из одного терминала, что означает его мобильность и простоту. Учитывая сравнительное сходство цен, устройства нового

поколения с синхронизированным опросом каналов, работают быстрее и эффективнее и обладает дополнительными возможностями [12].

Завершают сравнительный анализ два идентичных продукта из города Новосибирск. Микроконтроллер «Геум» производства «Микропроцессорные технологии» и контроллер «МКЗЗП-6-35» производства НПП «ЭСТРА» похожи по техническим характеристикам, паспортной документации и руководству по эксплуатации и отличается только дизайном. Оба устройства используют принцип защиты с синхронизированным опросом каналов, что позволяет мгновенно определять присоединение с замыкание и отключать его или выводить индикацию номера это присоединения на панель управления и на автоматизированное рабочее место (АРМ) диспетчера без отключения, т.е. работать на сигнал. Из достоинств данных устройств можно отметить алгоритм вычисления феррорезонанса, автоматику контроля состояния резистора для заземления нейтрали. Микроконтроллер «Геум» прошёл аттестацию в Россетях, что сказывается на его цене по сравнению с аналогом. Контроллер МКЗЗП-6-35 в плане эффективности не уступает дорогому аналогу, а также у нашей компании есть опыт внедрения подобного устройства. В связи с этим основой для разработки системы централизованной защиты ЗРУ-6кВ «Янтарная» от ОЗЗ был выбран контроллер МКЗЗП-6-35.

## **2.2 Контроллер МКЗЗП-6-35**

В данном подразделе будет описан подробный разбор принципов работы устройства и его состав. В состав комплекта поставки микропроцессорного устройства МКЗЗП-6-35 входят:

- блок управления и индикации, предназначенный для местной настройки и отображения контролируемых параметров, представлен на рисунке 5(а);

- базовый блок, реализующий функции защиты, автоматики и управления, изображён на рисунке 5(б);
- УСО-1 (устройства связи с объектом), в его составе датчик тока и выходное реле (в комплекте поставки 16 штук), оно изображено на рисунке 6(а);
- УСО-2 предназначено для измерения напряжения  $3U_0$  с двух секций, с помощью двух встроенных ТН, рисунок 6(б).

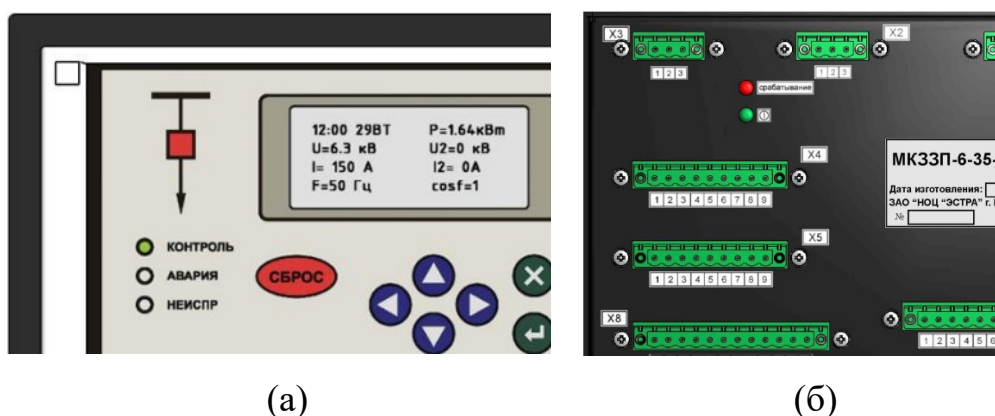


Рисунок 5 – Панель управления ПУ-01(а) и базовый блок(б)

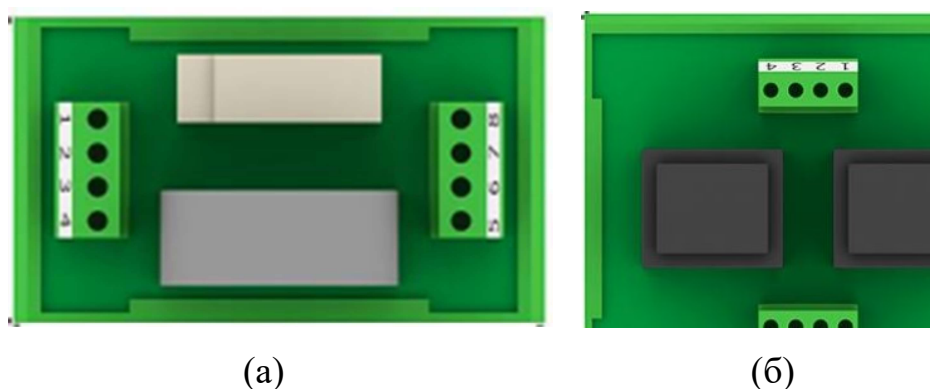


Рисунок 6 – УСО-1 для ТТНП(а) и УСО-2 для ТН(б)

Защита по принципу действия является централизованной токовой ненаправленной, использующая принцип относительного сопоставления уровней тока нулевой последовательности во всех присоединениях секции в

момент срабатывания пускового органа. В приложении Б изображен чертеж, который отображает условную схему работы устройства, на которую будем ориентироваться при подключении всех элементов, участвующих в защите, защиты, а также самого контроллера. Поврежденное присоединение определяется по наибольшему значению измеренного тока трансформатором тока нулевой последовательности, которые установлены на кабельных вводах присоединений. Запуск защиты предполагается по двум условиям. Первое – увеличение емкостного тока на любом из присоединений, изменяемое ТТНП. Второе – повышение напряжения на УСО-2, измеряемое в ТН соответствующей секции шин. МКЗЗП не требует отстройки от бросков переходных токов, обусловленных собственными емкостями присоединений, что позволяет обеспечить селективность и чувствительность при ОЗЗ в сетях с различным уровнем токов НП [19].

Минимальный вторичный ток нулевой последовательности ТТНП поврежденного присоединения, при котором защита селективно работает, составляет 10 мА. Чувствительность защиты не зависит от собственного емкостного тока присоединения.

Основным достоинством устройства является то, что при срабатывании защиты на АРМ диспетчера, помимо основной информации по состоянию объекта, таких как положения высоковольтных выключателей и уровней токов присоединений, выдается информация о номере повреждённого присоединения. По этим данным диспетчер выдаёт указание на переключение потребителей с поврежденного присоединения на резерв, что способствует минимизировать время работы сети под ОЗЗ. Особенностью диспетчерской службы является полная ответственность диспетчера за работу электростанций, электросетей и электроснабжение потребителей [10].

Локальный контроллер защиты может объединяться в информационную сеть, с помощью интерфейса RS-485 или протокол Modbus, путем параллельного подключения устройств к "витой паре" общей протяженностью до 1500 метров.

В итоге при внедрении централизованной защиты МКЗЗП-6-35 мы получаем следующие преимущества:

- селективное определение присоединения с повреждением,
- снижение времени на поиск и устранение замыкания на землю,
- мониторинг состояния сборных шин, предохранителей ТН, ведь в случае перегорания последнего возникает перекос фазных напряжений и устройство сигнализирует о ОЗЗ на шинах.

Все вышперечисленные преимущества показывают эффективность использования современных централизованных защит от ОЗЗ.

## **2.3 Внедрение контроллера МКЗЗП-6-35 на РУ**

### **2.3.1 Монтажные работы**

Согласно [19] устройство МКЗЗП-6-35-И предназначено для работы в следующих условиях:

- диапазон рабочих температур от минус 20 °С до плюс 40 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха не должна превышать 95 % при температуре 30 °С и менее;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм.рт.ст.;
- высота над уровнем моря не выше 2000 м;
- окружающая среда не взрывоопасная, не содержащая пыли в концентрациях, снижающих параметры защиты;
- вибрация мест крепления в диапазонах частот от 10 до 55 Гц;
- степень защиты по ГОСТ14255-96 не ниже – IP20.

Здание ЗРУ-6кВ «Янтарная» соответствует всем представленным выше требованиям. В зимние время, когда внешняя температура опускается ниже 0 °С помещение обеспечивается отоплением за счёт радиаторов по внутреннему периметру ЗРУ. В летнее время температура окружающей среды не превышает 30 °С, что соответствует условиям и не требует установки аппаратов охлаждения.

Общие технические данные питания МКЗЗП-6-35-И:

- напряжение постоянного/переменного оперативного тока, 220 В с диапазоном изменения от 160 до 260 В;
- потребляемая мощность в дежурном режиме не более 6 Вт и в режиме срабатывания 7,5 Вт.

Питание для контроллера будет обеспечено от ЗВУ-1 (зарядно-выпрямительное устройство), которое работает бесперебойно за счёт 17 аккумуляторных батарей по 13 В подключенных последовательно, что даёт выходное напряжение питания 221 В. Производство работ в цепях устройств РЗА, требующих отключения первичного оборудования, должно оформляться как заявка на вывод оборудования в ремонт [9].

Первым этапом проектирования системы централизованной защиты будет выбор места размещения шкафа защиты от ОЗЗ. Оптимальное местом расположения было выбрано место в непосредственной близости со шкафом ЗВУ, как изображено на рисунке 7. Такое расположение обусловлено подходящими габаритами шкафа и близким расположением источника питания.

По уже готовому кабельному каналу будет проложен контрольный кабель для подключения 14 блоков УСО-1 и одного УСО-2, который будет расположен в шкафу МКЗЗП. План размещения шкафа МКЗЗП относительно ячеек и других шкафов представлен в приложении В.

Стоит отметить подключение контактов блока УСО-1, представленного на рисунке 8. Это устройство может выполнять две функции: преобразование тока и контакт цепи отключения выключателя.



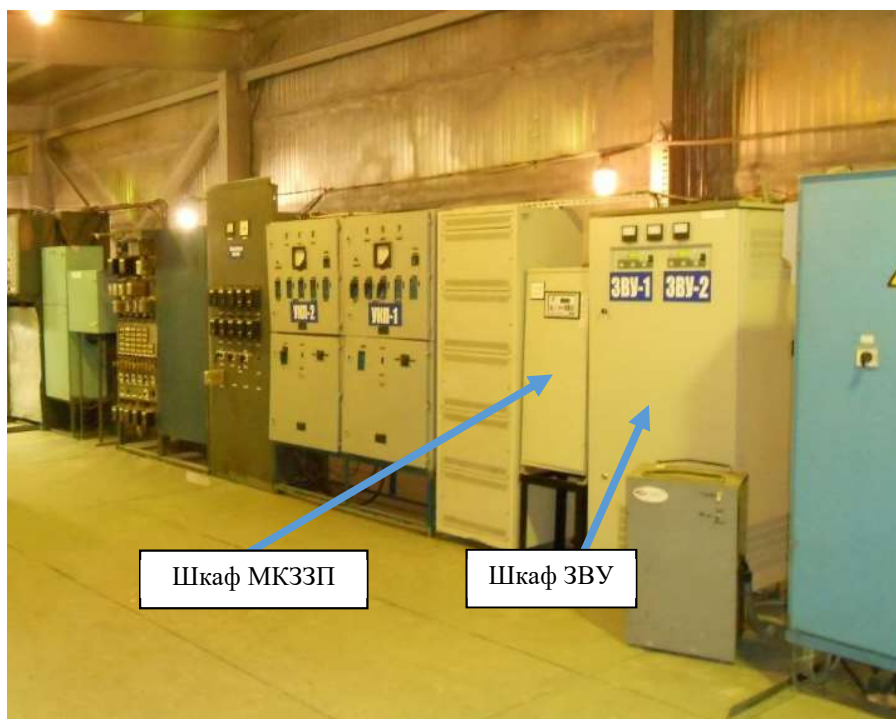


Рисунок 7 – Месторасположение шкафа МКЗЗП

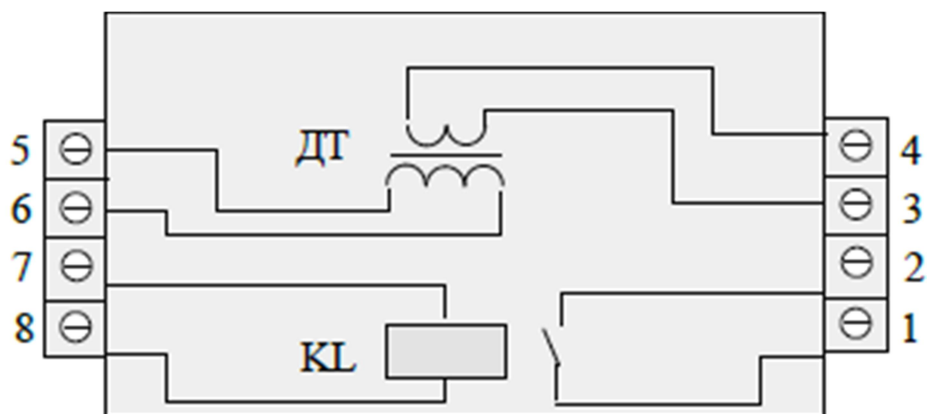


Рисунок 8 – Схема блока УСО-1

В качестве выходного реле, воздействующего на цепи управления выключателем, используется малогабаритное реле фирмы FINDER с замыкающим контактом, клеммы 7, 8, данное реле не используется, т.к. срабатывание контроллера выполнено на сигнал. Клеммы 5, 6 выдают аналоговый сигнал 4-10 мА преобразованного тока от ТТП, который

обрабатывает базовый блок. Клеммы 3, 4 позволяют подключать первичную обмотку датчика к токовым цепям, если одного витка первичной обмотки недостаточно. Если достаточно одного витка, то первичный провод пропускается через окно сердечника, а клеммные зажимы не используются. В данной версии МКЗЗП клеммы 3, 4 не используются. Клеммы 1, 2 – это контакт реле, который используется в цепи отключения выключателя [19].

На рисунке 9 представлена функциональная схема клемм контроллера.

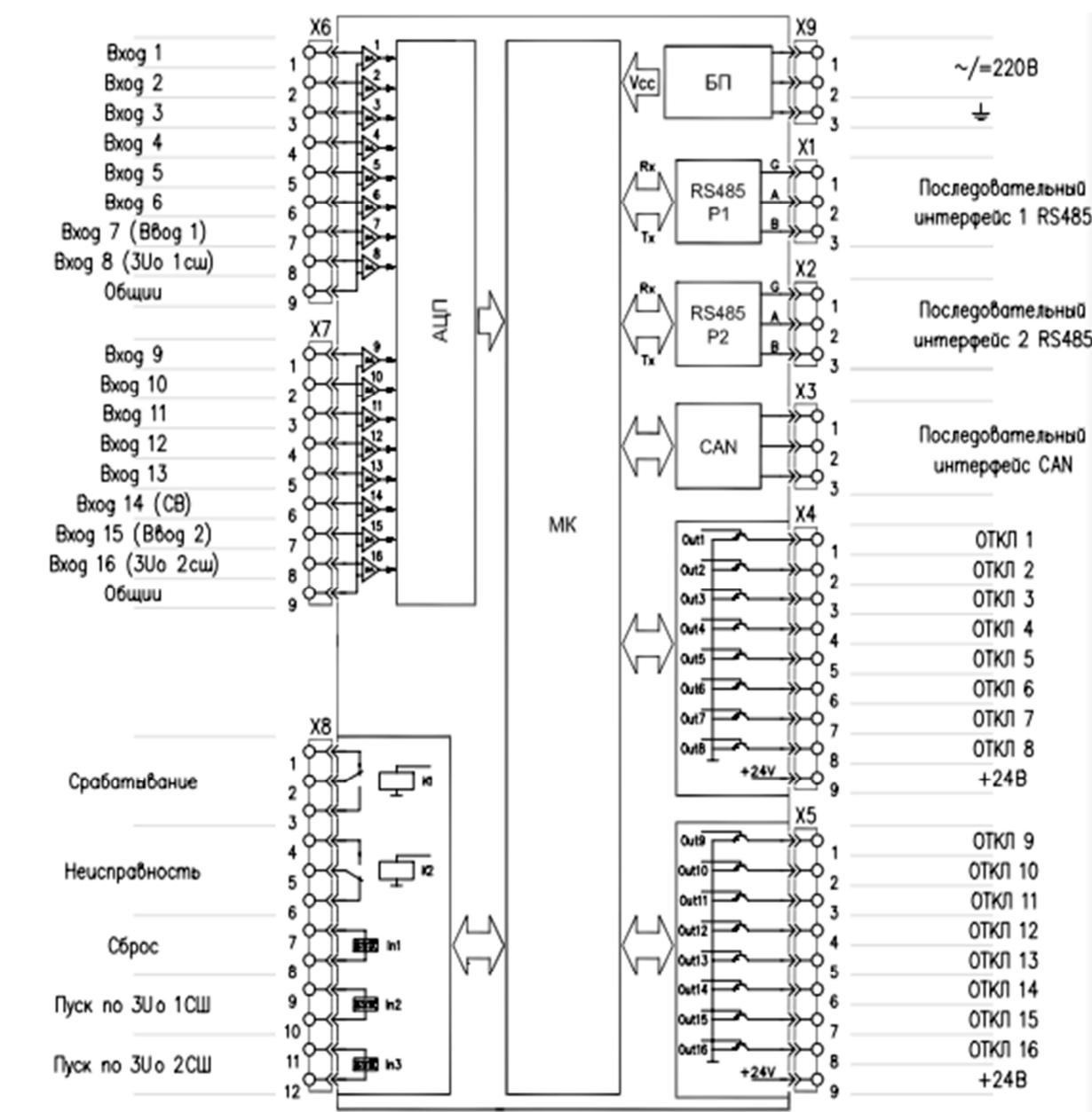


Рисунок 9 – Функциональная схема входных и выходных цепей МКЗЗП

МКЗЗП имеет 14 аналоговых входа по току нулевой последовательно, 2 аналоговых входа по напряжению нулевой последовательности, 2 общих входа для аналоговых сигналов двух групп клемм X6 и X7. Клеммные блоки X4 и X5 отвечают за выходные контакты контроллера, которых также 16. Блок X9 используется для подключения питания контроллера и его заземления. Блоки X1, X2, X3 используются для вывода информации с контроллера на пульт диспетчера по витой паре. Блок X8 имеет 2 перекидных контакта срабатывания и неисправности, 3 дискретных входа для сигналов «Сброс/Запрет на ОТКЛ», «Пуск по ЗУ0 2СШ», «Пуск по ЗУ0 1СШ».

В приложении Г представлена подробная монтажная схема подключения контроллера к защищаемым ячейкам.

Монтаж цепей от блоков УСО-1 до переходных коробок произведён кабелем ШВВП 2×0,75мм. Всего было затрачено 400 метров кабеля.

Монтаж цепей от блоков УСО-2 до переходных коробок произведён кабелем ВВГ 3×1,5мм. Всего было затрачено 50 метров кабеля.

Монтаж цепей от переходных коробок до контроллера в шкафу МКЗЗП произведён кабелем КГВВнг 14×1,5мм. Всего было затрачено 150 метров кабеля.

После монтажных работ и подключения всех цепей и сигналов контроллера было проведено:

- проверка подключения, согласно пункту 7.2.4 [19];
- проверено сопротивление изоляции, согласно пункту 7.2.3 [19];
- выставлены уставки срабатывания, согласно пункту 7.3 [19];
- проведена проверка и испытания, согласно пункту 8 [19].

Порядок проведения выполняется строго согласно руководству по эксплуатации контроллера и ПУЭ, ПТЭ.

На представленном ниже рисунке 10 изображен внутренний вид и монтаж шкафа МКЗЗП.



Рисунок 10 – Итоговый монтаж шкафа МК33П

### 2.3.2 Проверка сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции проверяется между всеми электрически не связанными цепями 220 В и землей электроустановки с помощью мегаомметра на напряжение 1000 В:

- выводов 1-2 модулей УСО относительно земли и между собой;
- выводов 1-2-3 (X8) относительно земли и 2-3 между собой, выводов 4-5-6 относительно земли и 5-6 между собой, выводов 9-10 и 11-12 относительно земли;
- выводов 1-2 (X9) относительно земли;
- выводов 1-2 (X1) БУИ относительно земли.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм. Все остальные (низковольтные) входы проверяются тестером относительно земли. Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм.

Все испытания были произведены службой диагностики с помощью Мегомметра Fluke 1555. Протоколы испытаний сданы в производственно-техническую службу. После данная служба выдало разрешение на запуск контроллера.

### 2.3.3 Расчёт уставок защиты

В эксплуатации должны быть обеспечены условия для нормальной работы устройств релейной защиты, электроавтоматики, телемеханики и вторичных цепей [14]. Расчет уставок защиты от ОЗЗ приведен для сети с изолированной нейтралью. В таких сетях возможно сохранение сети в работе при возникновении ОЗЗ. Следовательно, защита выполняется следующим образом:

- неселективная сигнализация наличия напряжения нулевой последовательности  $3U_0$  на шинах.
- селективная сигнализация ОЗЗ на присоединениях, отходящих от шин.

Ниже в таблице 3 представлен список присоединений с ВЛ и их характеристики, по которым будут рассчитаны уставки.

Таблица 3 – Параметры присоединений

№ присоединения с ВЛ	Длина, км	Максимальный рабочий ток, А	ТТНП
1	2	3	4
4	6	31	ТЗЛМ $n_1=30/1$
20	8	16	то же
21	9	3	«»
22	10	32	«»
24	1	3	«»
26	10	11	«»
28	11	28	«»
30	11	26	«»
31	10	26	«»
34	10	18	«»
44	10	18	«»

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4
50	9	27	«»
51	9	26	«»
55	6	15	«»

Емкостной ток ВЛ № 4 определяется по формуле:

$$I_{CN\#4} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,102 A, \quad (1)$$

где  $U_{НОМ}$  – номинальное напряжение сети, кВ;

$k_c$  – коэффициент, зависящий от конструкции воздушной линии, в данном случае 2,7 принимаемый в расчетах центральной службы РЗА;

$L$  – длина ВЛ, км.

Аналогично проведем расчет емкостных токов для остальных ВЛ фидеров 20, 21, 22, 24, 26, 28, 30, 31, 34, 44, 50, 51, 55 соответственно, результаты расчетов будут сводиться в таблицу 4.

$$I_{CN\#20} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0,136 A,$$

$$I_{CN\#21} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,153 A,$$

$$I_{CN\#22} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,17 A,$$

$$I_{CN\#24} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,017 A,$$

$$I_{CN\#26} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,17 A,$$

$$I_{CN\#28} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 0,187 A,$$

$$I_{CN\#30} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 11 \cdot 10^{-3} = 0,187 A,$$

$$I_{CN\#31} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,17 A,$$

$$I_{CN\#34} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,17 A,$$

$$I_{CN\#44} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0,17 A,$$

$$I_{CN\#50} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,153 A,$$

$$I_{CN\#51} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 9 \cdot 10^{-3} = 0,153 A,$$

$$I_{CN\#55} = k_c \cdot U_{НОМ} \cdot L \cdot 10^{-3} = 2,7 \cdot 6,3 \cdot 6 \cdot 10^{-3} = 0,102 A.$$

По принципу действия защита не требует отстройки от собственных емкостных токов при замыкании на соседнем присоединении, так как всегда определяется максимальное значение сигнала по всем присоединениям, которое будет на поврежденном фидере. Однако минимальный уровень сигнала на входе АЦП, при котором произойдет пуск защиты по току, задается. Это необходимо для отстройки от шумов, наводок, высокочастотных сигналов в нулевом проводе в нормальном режиме работы и т.д. с тем, чтобы защита не подействовала при случайном замыкании контактов пускового реле по напряжению нулевой последовательности. С заданной уставкой сравнивается разница между максимальным и минимальным уровнем сигналов по всем каналам. Если эта разница превышает уставку, то пуск по току разрешается.

Для отстройки от переходных режимов, при которых возможно кратковременное замыкание контактов реле напряжения нулевой последовательности предусмотрена выдержка времени.

В цепи вводного выключателя при питании от понижающего трансформатора ТТНП не устанавливается, поэтому ОЗЗ в обмотке низшего напряжения силового трансформатора будет восприниматься защитой, как и замыкание на секции. При трех и более присоединениях в такой схеме хорошо работает токовый принцип – максимум тока будет в поврежденном присоединении [19].

В зону действия защиты входит питающий кабель ВЛ, т.к. трансформаторы тока нулевой последовательности устанавливаются непосредственно в начале кабельной линии (КЛ) в РУ, позже кабель

подключается к ВЛ, его емкость зависит от протяженности и может быть значительной [7].

Ток срабатывания защиты от ОЗЗ выбирается из двух условий отстройки:

- от внешних замыканий на землю и небалансу шумов,
- броску емкостных токов присоединений.

По условию отстройки от внешних замыканий на землю ток срабатывания защиты определяется по формуле:

$$I_{\text{ОЗЗ}_{\text{с.з.}}} = \frac{1}{k_g} \cdot (k'_{\text{отс}} \cdot I_C + k''_{\text{отс}} \cdot I_{\text{нб}}), \quad (2)$$

где,  $k_g = 0,95$  – коэффициент возврата;

$k'_{\text{отс}} = 1,5$  – коэффициент отстройки от внешнего замыкания на землю при работе защиты с выдержкой времени;

$I_C$  – емкостной ток ОЗЗ присоединения, А;

$k''_{\text{отс}} = 1,5$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{нб}}$  – первичный установившийся ток небаланса, обусловленный погрешностью измерения или расчета тока нулевой последовательности, А.

Для начала необходимо рассчитать токи небаланса каждого из присоединений. Первичный ток небаланса  $I_{\text{нб}}$  рассчитывают по формуле:

$$I_{\text{нб}} = I_{\text{нб.втор}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (3)$$

где,  $I_{\text{нб.втор}} = 30 \text{ мА}$  – вторичный ток небаланса;

$n_t$  – коэффициент трансформации ТТНП.

Ниже произведены расчеты, результаты внесены в сводную таблицу 4.



$$\begin{aligned}
I_{нб.4} &= 0,03 \cdot 31 = 0,93 \text{ А}, \\
I_{нб.20} &= 0,03 \cdot 16 = 0,48 \text{ А}, \\
I_{нб.21} &= 0,03 \cdot 3 = 0,09 \text{ А}, \\
I_{нб.22} &= 0,03 \cdot 32 = 0,96 \text{ А}, \\
I_{нб.24} &= 0,03 \cdot 3 = 0,09 \text{ А}, \\
I_{нб.26} &= 0,03 \cdot 11 = 0,33 \text{ А}, \\
I_{нб.28} &= 0,03 \cdot 28 = 0,84 \text{ А}, \\
I_{нб.30} &= 0,03 \cdot 26 = 0,78 \text{ А}, \\
I_{нб.31} &= 0,03 \cdot 26 = 0,78 \text{ А}, \\
I_{нб.34} &= 0,03 \cdot 18 = 0,54 \text{ А}, \\
I_{нб.44} &= 0,03 \cdot 18 = 0,54 \text{ А}, \\
I_{нб.50} &= 0,03 \cdot 27 = 0,81 \text{ А}, \\
I_{нб.51} &= 0,03 \cdot 26 = 0,78 \text{ А}, \\
I_{нб.55} &= 0,03 \cdot 15 = 0,45 \text{ А}.
\end{aligned}$$

Рассчитав токи небаланса присоединений, можно произвести расчёт токов срабатывания защиты от ОЗЗ, по формуле (2). Расчеты представлены ниже, а результаты сведены в таблицу 4.

$$I_{OЗЗ_{с.з.4}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,102 + 1,5 \cdot 0,93) = 1,63 \text{ А},$$

$$I_{OЗЗ_{с.з.20}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,136 + 1,5 \cdot 0,48) = 0,97 \text{ А},$$

$$I_{OЗЗ_{с.з.21}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,153 + 1,5 \cdot 0,9) = 0,38 \text{ А},$$

$$I_{OЗЗ_{с.з.22}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,17 + 1,5 \cdot 0,96) = 1,78 \text{ А},$$

$$I_{O33_{c.з.24}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,017 + 1,5 \cdot 0,9) = 0,17 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.26}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,17 + 1,5 \cdot 0,33) = 0,79 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.28}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,187 + 1,5 \cdot 0,84) = 1,62 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.30}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,187 + 1,5 \cdot 0,78) = 1,53 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.31}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,17 + 1,5 \cdot 0,78) = 1,5 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.34}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,17 + 1,5 \cdot 0,54) = 1,12 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.44}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,17 + 1,5 \cdot 0,54) = 1,12 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.50}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,153 + 1,5 \cdot 0,81) = 1,52 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.51}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,153 + 1,5 \cdot 0,78) = 1,47 \text{ A},$$

$$I_{O33_{c.з.55}} = \frac{1}{0,95} \cdot (1,5 \cdot 0,102 + 1,5 \cdot 0,45) = 0,87 \text{ A}.$$

Таблица 4 – Результаты расчетов

Присоединение	Емкостной ток, А	Ток небаланса, А	Ток срабатывания защиты, А
1	2	3	4
4	0,102	0,9	1,63
20	0,136	0,36	0,97
21	0,153	0,06	0,38
22	0,170	0,96	1,78
24	0,017	0,06	0,17
26	0,170	0,24	0,79
28	0,187	1,74	1,62
30	0,187	0,6	1,53
31	0,170	0,6	1,50
34	0,170	0,42	1,12

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
44	0,170	0,42	1,12
50	0,153	0,66	1,52
51	0,153	0,6	1,47
55	0,102	0,36	0,87

Наибольший емкостной ток присоединений равен 0,187 А, наибольший ток срабатывания защиты от ОЗЗ по условию отстройки от внешнего замыканий у присоединения №22 и равен 1,78 А, следовательно для дальнейших расчётов будут использованы эти данные.

По условию отстройки от бросков емкостных токов в момент зажигания дуги ток срабатывания защит от ОЗЗ определяется по формуле:

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot K_{б} \cdot I_{пр} = 1,3 \cdot 2,5 \cdot 0,187 = 0,6 \text{ А}, \quad (4)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимаемый в диапазоне 1,2-1,3;

$K_{б}$  - коэффициент, учитывающий бросок собственного емкостного тока в момент зажигания дуги 2-2,5;

$I_{пр}$  – наибольшее установившееся значение собственного емкостного тока одного из присоединений.

В качестве тока срабатывания централизованной защиты от ОЗЗ по двум условиям выбираем наибольшее из полученных значений  $I_{сз}=1,78 \text{ А}$ .

Уставка реле напряжения нулевой последовательности контроллера, подключённых к УСО-2, отстроена от небаланса по напряжению в нормальных режимах работы и принимается, как правило, минимальной для реле напряжения [6].

Защита по напряжению нулевой последовательности устанавливается независимо от режима заземления нейтрали. Уставку по напряжению  $U_{0с.з}$ , В, определяют по формуле:

$$U_{0с.з} \geq K_{отс} \cdot U_{0нб} = 1,5 \cdot 20 = 30 \text{ В}, \quad (5)$$

где  $K_{отс}$  – коэффициент отстройки, принимается равным 1,5;

$U_{0нб}$  – максимальное напряжение небаланса на выводах  $3U_0$  трансформатора напряжения ЗРУ-6кВ «Янтарная» равно 20 В.

С учётом представленных выше расчётов, произведённых по руководству по эксплуатации контроллера, были выставлены следующие уставки защиты МКЗЗП-6-35:

- уставка по току:  $I_{сз} = 1,78 \text{ А}$ ;
- уставка по напряжению:  $U_{сз} = 30 \text{ В}$ ;
- пуск защит по уровню напряжения – ВКЛ.

По итогу всех работ и настроек было произведено согласование токов/напряжений и аналоговых входов, а также пуско-наладочные испытания, согласно пункту 8 [19]. Контроллер работает исправно, согласно настроенных параметров.

Вывод по второму разделу.

Микропроцессорное устройство МКЗЗП-6-35-И, выбранное среди современных аналогов централизованных защит от ОЗЗ, было успешно смонтировано по разработанным схемам на ЗРУ-6кВ «Янтарная» и прошло все испытания и тестирования перед вводом в эксплуатацию. Рассчитаны уставки централизованной защиты по току и напряжению.

### 3 Итоги работ и окупаемость

#### 3.1 Работа с устройством

После установки микропроцессорного контроллера МКЗЗП-6-35-И на ЗРУ-6кВ «Янтарная» для обслуживающего персонала сетевого района была разработана памятка работы с устройством, в которой описаны основные световые индикации контроллера и порядок действий работника при появлении сигналов о замыкании, которые описаны в методичке [19]. Вид шкафа МКЗЗП спереди с контроллером и памяткой приставлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Шкаф МКЗЗП

С момента ввода в эксплуатацию контроллер получал только положительные отзывы, благодаря лёгкому интерфейсу и безошибочному определению присоединений с замыканиями на землю. Диспетчерская служба отметила, что время на поиск замыканий сократилось в разы.

### 3.2 Экономический анализ проекта

До начала эксплуатации централизованной защиты от замыканий при возникновении ОЗЗ на ЗРУ-6кВ «Янтарная» на поиски и ликвидацию отправлялось от 3 работников (один дежурный, имеющий право единоличного осмотра РУ и двух работников для осмотра линии) плюс транспорт. Из-за проходимости местности, на ликвидацию замыкания, уходило от 2 до 3 дней, а ведь это драгоценное время должно было тратиться на запланированные переключения и плановые работы, из чего следовало, что снижалась эффективность труда.

Далее представлен расчёт окупаемости при использовании системы централизованной защиты от ОЗЗ. Некоторая информация коммерческого содержания была предоставлена специалистами по инвестициям и инновациям компании «Газпромнефть Энергосистемы».

Дисконтные инвестиции (ДИ) представляет собой процесс определения объема денежных средств на данный момент времени по предполагаемому значению данной величины в будущем, на основании конкретной (известной процентной ставки) и определяются как ввод капитальных вложений в эксплуатацию, которые определяются по формуле 6:

$$ДИ = C_{\text{контролера}} + C_{\text{материалов}} = 259 + 41 = 300 \text{ тыс. руб.}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{контролера}}$  – это стоимость покупки контроллера МКЗЗП,

$C_{\text{материалов}}$  – это стоимость затрат на расходные материалы.

В данном случае, в реализацию внедрения централизованной защиты было вложено 300 тыс. руб в 2022 году.

Амортизация – это отчисления части стоимости основных фондов для возмещения их износа. Амортизационные отчисления включаются в издержки производства или обращения. Производятся коммерческими организациями на основе установленных норм и балансовой

стоимости основных фондов, на которые начисляется амортизация. Компанией ООО «Газпромнефть Энергосистемы» было выделено 300 тыс. руб. на три года, следовательно по 100 тыс. руб. в год.

Чистая прибыль (ЧП) – это часть балансовой прибыли предприятия, остающаяся в его распоряжении после уплаты налогов, сборов, отчислений и других обязательных платежей в бюджет, которая вычисляется по формуле 7, аналогично произведены расчёты для следующих годов после 2022 до 2031:

$$ЧП = Д - ЭР - А - Н = 322 - 100 - 100 - (322 - 100 - 100) \times 0,2 = 97 \text{ тыс. руб.}, \quad (7)$$

где Д – это доход за счет реализации проекта,

ЭР – эксплуатационные расходы,

А – амортизация,

Н – налог на прибыль, который определяется как 20 процентов от прибыли, равной разности доходов и расходов.

Денежный поток – совокупность распределенных во времени поступлений (притока) и выплат (оттока) денежных средств, генерируемых хозяйственной деятельностью предприятия, независимо от источников их образования, который переделяется по формуле 8, аналогично произведены расчёты для следующих годов после 2022 до 2031:

$$П = ЧП + А - ДИ = 97 + 100 - 300 = -103 \text{ тыс. руб.}, \quad (8)$$

Дисконтирование денежных потоков ДДП – это способ оценки будущих денежных потоков. Другими словами, это попытка оценить привлекательность любых инвестиционных возможностей на основе того, какие денежные потоки они способны сгенерировать в будущем и определяется по формуле 9, аналогично произведены расчёты для следующих годов после 2022 до 2031:

$$ДДП = ДП \cdot РПН = -103 \cdot 1,0388 = -107 \text{ тыс. руб.}, \quad (9)$$

где РПН – коэффициент расчёт потока наличности, который определяется по формуле 10:

$$РПН = 1 / (1 + (1 + ГСД)^{-0,75})^{\left(\frac{НП+1}{2}\right)} = 1 / (1 + (1 + 14\%)^{-0,75})^{\left(1+\frac{1}{2}\right)} =, \quad (10) \\ = 1,0388$$

где ГСД – годовая ставка дисконта, по нормам компании,

НП – это номер периода, порядковый номер года с года внедрения.

Накопленный дисконтированный денежный поток – это накопления компании, которые вычисляются по формуле 11:

$$НДДП = НДПП_{\text{за прошлый год}(2022)} + ДПП_{\text{в этот год}(2023)} =, \quad (11) \\ = -107 + 157 = 50 \text{ тыс. руб.}$$

где  $НДПП_{\text{за прошлый год}}$  для 2022 года равна ДДП в том же году.

Для 2024 года  $НДДП = 50 + 138 = 188$  тыс. руб. Аналогично произведены расчёты для следующих годов после 2022 до 2031.

Ниже, в таблице 5 представлены результаты расчётов окупаемости проекта, которые описывают экономическую эффективность на ЗРУ-6кВ «Янтарная». По данным результатам построены графики диаграммы для ДП, ДДП и НДДП на рисунке 12, со сроком окупаемости 20 месяцев.

Таблица 5 – Результаты расчётов окупаемости

Время периода	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дисконтированные инвестиции, тыс. руб	-300	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Амортизация, тыс. руб	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
Чистая прибыль, тыс.руб	97	97	97	177	177	177	177	177	177	177
Денежный поток, тыс.руб	-103	197	197	177	177	177	177	177	177	177
Дисконтированный денежный поток, тыс.руб	-107	157	138	105	92	81	71	62	55	48
Накопленный дисконтированный денежный поток, тыс.руб	-107	50	188	293	385	466	537	599	654	702

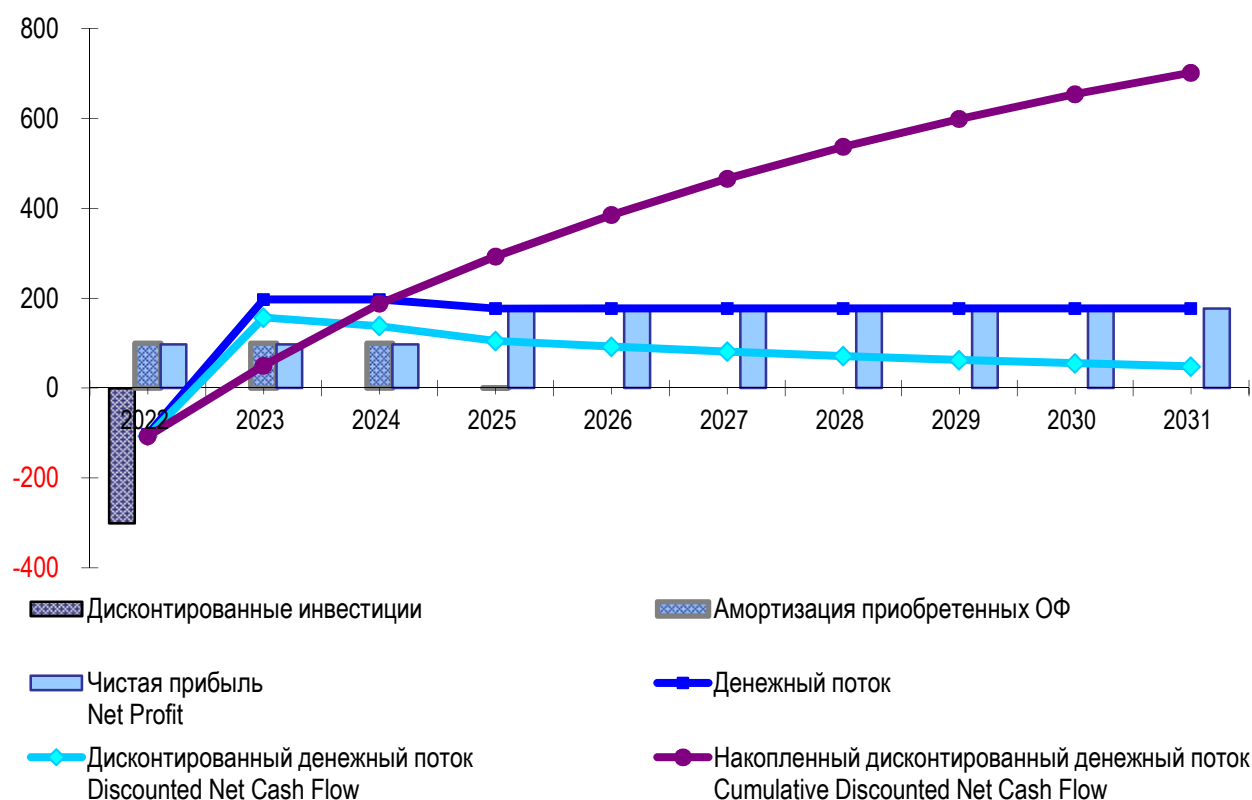


Рисунок 12 – Диаграмма экономического эффекта

Далее представлена таблица 6 с параметрами эффективности после внедрения.

Таблица 6 – Эффективность после внедрения

Параметры эффективности внедрения централизованной защиты от ОЗЗ		
1	Длительность проекта (лет)	10,0
2	Годовая ставка дисконта, %	14
3	Чистая дисконтированная стоимость,	702
4	Внутренняя норма рентабельности, %	189,7
5	Дисконтир. индекс доходности капиталовлож.	3,45
6	Дисконтированные инвестиции	286
7	Срок окупаемости (лет)	1,7
8	Срок окупаемости (мес.)	20

Согласно данным, которые были указаны в разделе 1, в прошлом году, из-за перехода ОЗЗ в двойное замыкание на землю и межфазное КЗ, а следовательно аварийного отключения линий и питания буровых установок, компания понесла убытки в размере 2,5 млн. рублей. Это значительно больше стоимости одного комплекта контроллера. Ввиду невозможности определения количества аварийных ситуаций в году, данные потери и затраты в расчёте выше не были учтены. Этот пример также доказывает выгодность в приобретении системы централизованной защиты от ОЗЗ на ЗРУ-6кВ «Янтарная».

Вывод по третьему разделу.

Контроллер МКЗЗП-6-35 доказал свою практическую и экономическую эффективность, как одна из лучших и доступных централизованных защит от ОЗЗ.

## Заключение

В процессе выполнения данной ВКР был разработан проект на базе контроллера централизованной защиты от замыканий МКЗЗП-6-35, взамен морально устаревших индивидуальных защит на реле РТЗ-50 в ячейках и шкафах ЗРУ-6кВ «Янтарная». Собрана и проанализирована нормативно-техническая документация, собраны статистические данные по ОЗЗ за последние 5 лет, проанализированы современные устройства защит от ОЗЗ, обоснован выбор централизованной защиты и конкретного устройства защиты. Изучено РЭ контроллера. Разработаны схемы подключения и монтажа защиты МКЗЗП в соответствие с правилами и нормами проектирования. Все монтажные работы произведены согласно нормам ПУЭ и ПТЭ, нормативно-технической документации РУ и РЭ контроллера. Произведены все необходимые испытания как до начала монтажных работ, так и после полной настройки контроллера. Выставлены уставки защит и проведены опытно-промышленные испытания централизованной защиты от ОЗЗ.

Промышленный сектор нефтяной и газовой сферы является стратегически значимым в нашей стране. А различные перебои и аварии в процессах добычи, переработки, транспортировки являются порой недопустимыми для заказчика. По итогу успешной реализации проекта по разработке централизованной защиты от замыканий на РУ, контроллер МКЗЗП-6-35 доказал свою функциональную и экономическую эффективность. Срок окупаемости составляет всего 20 месяцев. Для оперативного и диспетчерского персонала контроллер стал простым и быстрым способом по определению присоединений с замыканиями на РУ, что позволило прогнозировать снижение показателей выхода из строя электрооборудования и повышение показателей эффективности работы персонала сетевого района, производственно-диспетчерской службы и службы РЗА и ТМ производство энергообеспечения «Холмогорнефть».

## Список используемых источников

1. Андреев М. В. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. пособие / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2018. 166 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=344694>
2. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: учебник / 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ФОРУМ (и др.), 2020. 414 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=345168>
3. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции. Учебное пособие. В 3 частях. Часть 1 / Тамбовский государственный технический университет. Учеб. электрон. изд. комплекс. распространения. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2015. 88 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=163547>
4. Богданов А. В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматизации в электроэнергетических системах: учеб. пособие / Оренбургский государственный университет, Кумертауский филиал. Оренбург: ОГУ, 2016. 82 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/69913.html>
5. Булычев А. В. Релейная защита в распределительных электрических сетях. Пособие для практических расчетов / М.: НЦ ЭНАС, 2011. 208 с.
6. Вахнина В. В. Системы электроснабжения: электрон. учеб.-метод. пособие / Тольяттинский государственный университет, Институт энергетики и электротехники, каф. «Электроснабжение и электротехника». Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
7. Дрозд В. В. Релейная защита и автоматика в электрических сетях / общ. ред. Москва: Альвис, 2012. 631, с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/22702.html>

8. Ершов Ю. А. Электроэнергетика: Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учеб. пособие / Сибирский Федеральный университет. Красноярск: СФУ, 2012. 67 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/64621.html>
9. Инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций СО 34.35.302-2006. М.: Альвис, 2013. 212 с. URL: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.004-2008.pdf>
10. Конюхова Е. А. Электроснабжение: учебник / Москва: Издат. дом МЭИ, 2019. 510 с. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012505.html>
11. Кулеева Л. И. Проектирование подстанции: учеб. пособие / Оренбургский государственный университет. Оренбург: ОГУ, 2016. 110 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/69935.html>
12. Научно электронный Журнал “Новости электротехники” Журнал №3(33) 2005 URL: <http://news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php>
13. Немировский А. Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: учеб. пособие / 4-е изд., доп. Москва (и др.): Инфра-Инженерия, 2020. 171 с. URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=361762>
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Москва: ИНФРА-М, 2018. 261 с. URL: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=304269>
15. Правила устройства электроустановок. Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции. Глава 4.1. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ переменного тока и до 1,5 кВ постоянного тока. Глава 4.2. Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ: утверждено приказом Минэнерго России от 20 июня 2003 г. № 242: введены в действие 01.11.03 / Министерство энергетики Российской

Федерации. Изд. 7-е. Москва: ЭНАС, 2013. 100, с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/76191.html>

16. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35–750 кВ: утверждено приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 288 / Министерство энергетики Российской Федерации. Москва: ЭНАС, 2017. 78 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/76194.html>

17. Русина А. Г. Режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учеб. пособие / Новосибирский государственный технический университет. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. 398 с. (Учебники НГТУ). URL: <http://www.iprbookshop.ru/45157.html>

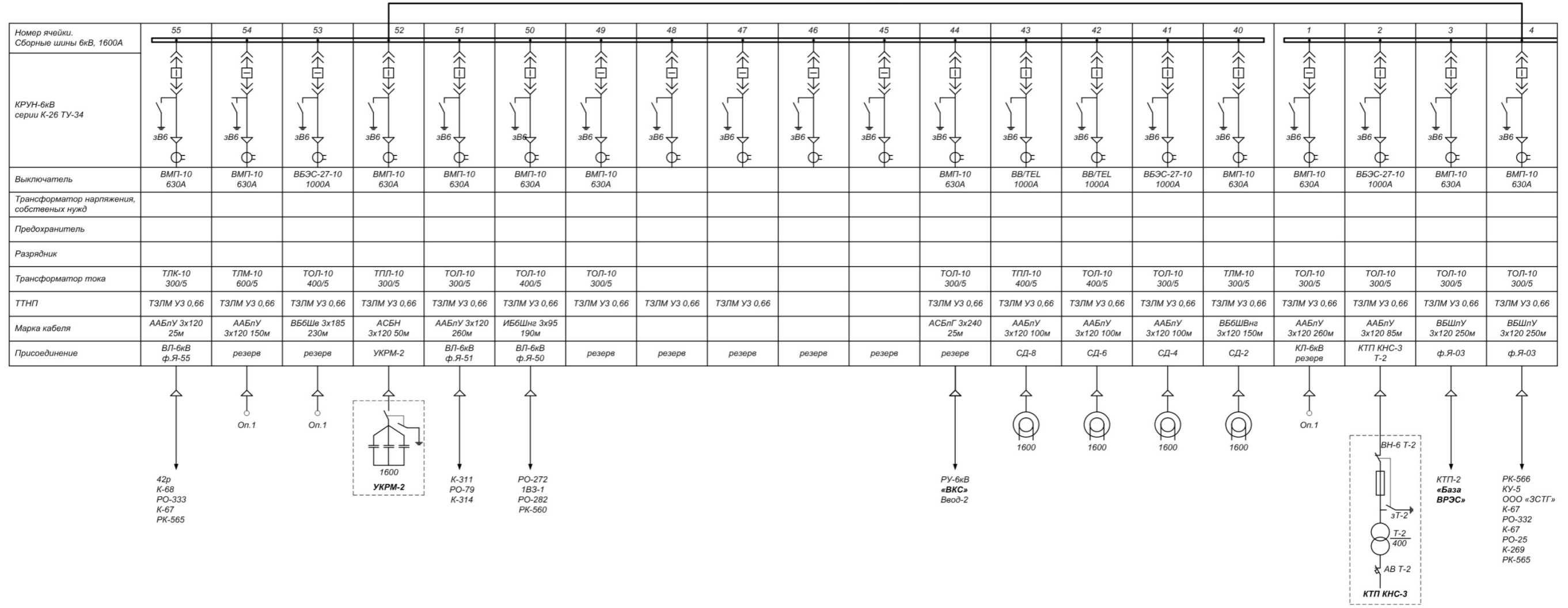
18. Старшинов В. А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учеб. пособие / Москва: Издат. дом МЭИ, 2015. 295 с. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383008744.html>

19. Устройство микроконтроллерное для защиты присоединений секций сборных шин от замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью МКЗЗП–6-35-И Руководство по эксплуатации (Версия 11 от 23.09.2013.) 3.630.009РЭ, 2013. 82 с. URL: [https://rza-estra.ru/storage/329/MKZZP635I\\_v11.pdf](https://rza-estra.ru/storage/329/MKZZP635I_v11.pdf)

20. Цыпкин Я. З. Теория релейных систем автоматического управления / М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 2005. 456 с.

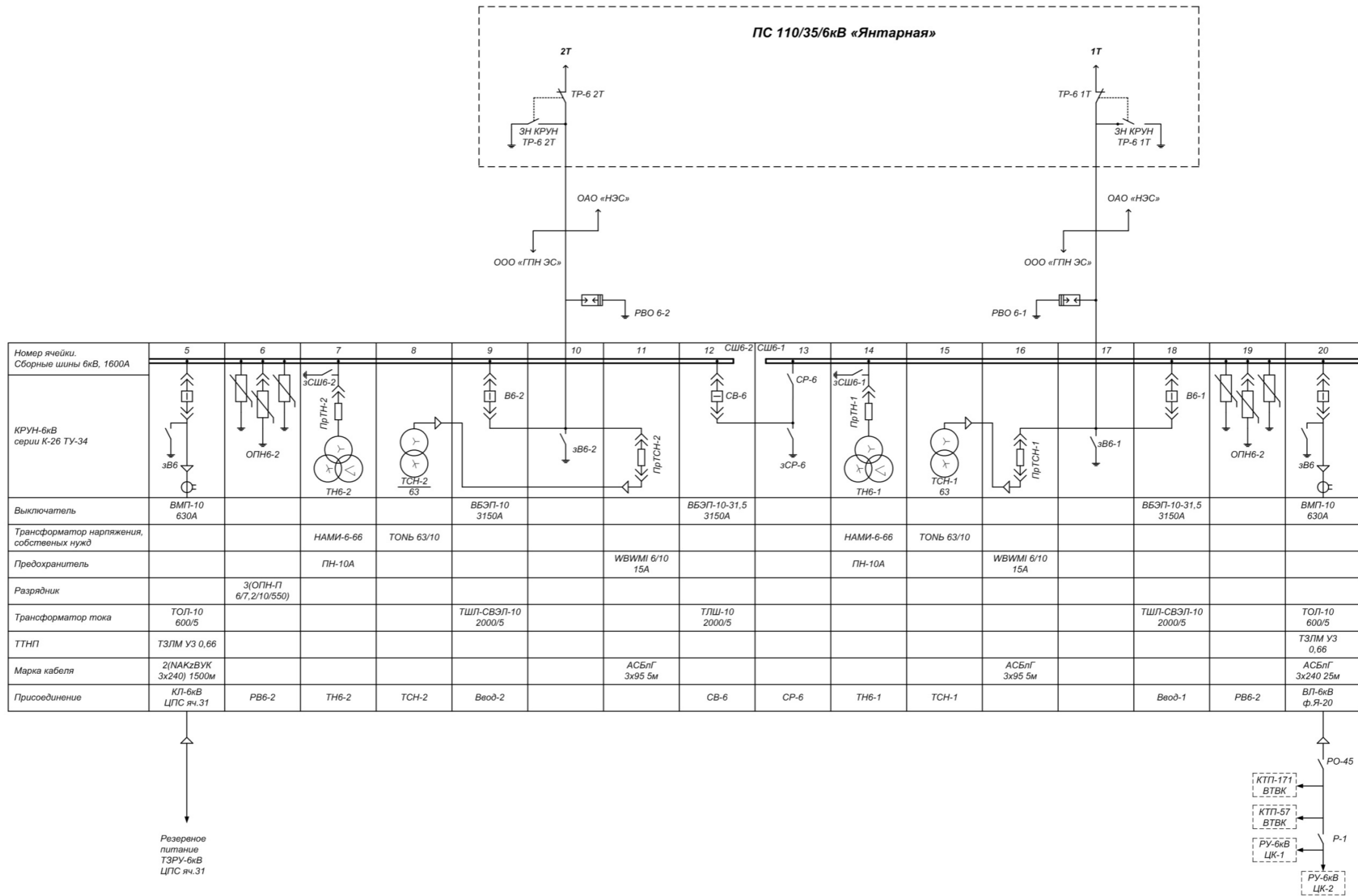
# Приложение А

## ШМ 6кВ



22.13.03.02.XXX.0XX.000X							
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Голованов Д.И.						
Проект.	Платов В.И.						
Тех.отв.							
Исполн.							
Утв.							
Однолинейная схема ЗРУ-6кВ «Янтарная»				Лит.	Масштаб		
Кафедра ЭСиЭТ				Лист 1	Листов 3		
				ТГУ, ЭЭТ6д-17016			

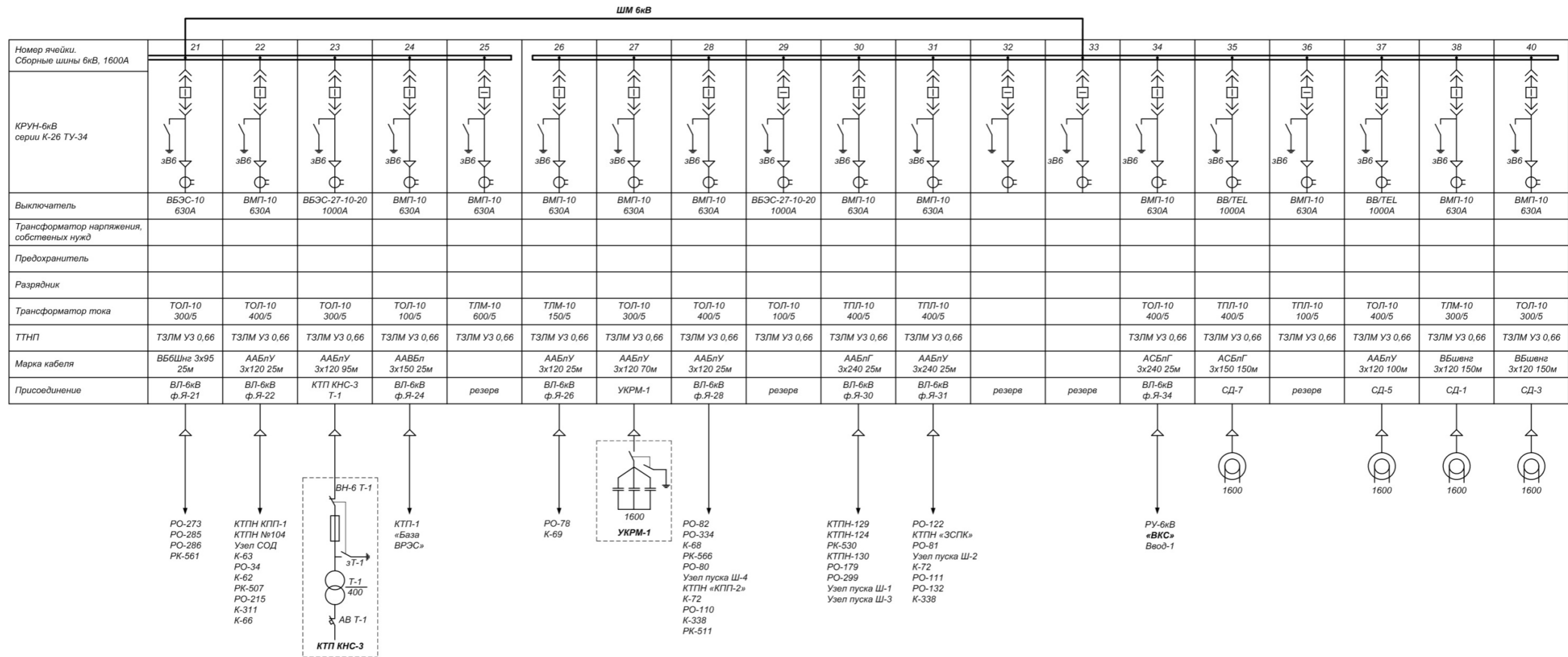
Продолжение Приложения А



				22.13.03.02.XXX.0XX.000X				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.			Масштаб
Разработ.	Голованов Д.И.				Лист 2			Листов 3
Проект.	Платов В.И.				Лист 2			Листов 3
Утверд.					Лист 2			Листов 3
Уточ.					Лист 2			Листов 3
					Однолинейная схема ЗРУ-6кВ «Янтарная»			
					Кафедра ЭСиЭТ		ТГУ, ЭЭТ6д-17016	

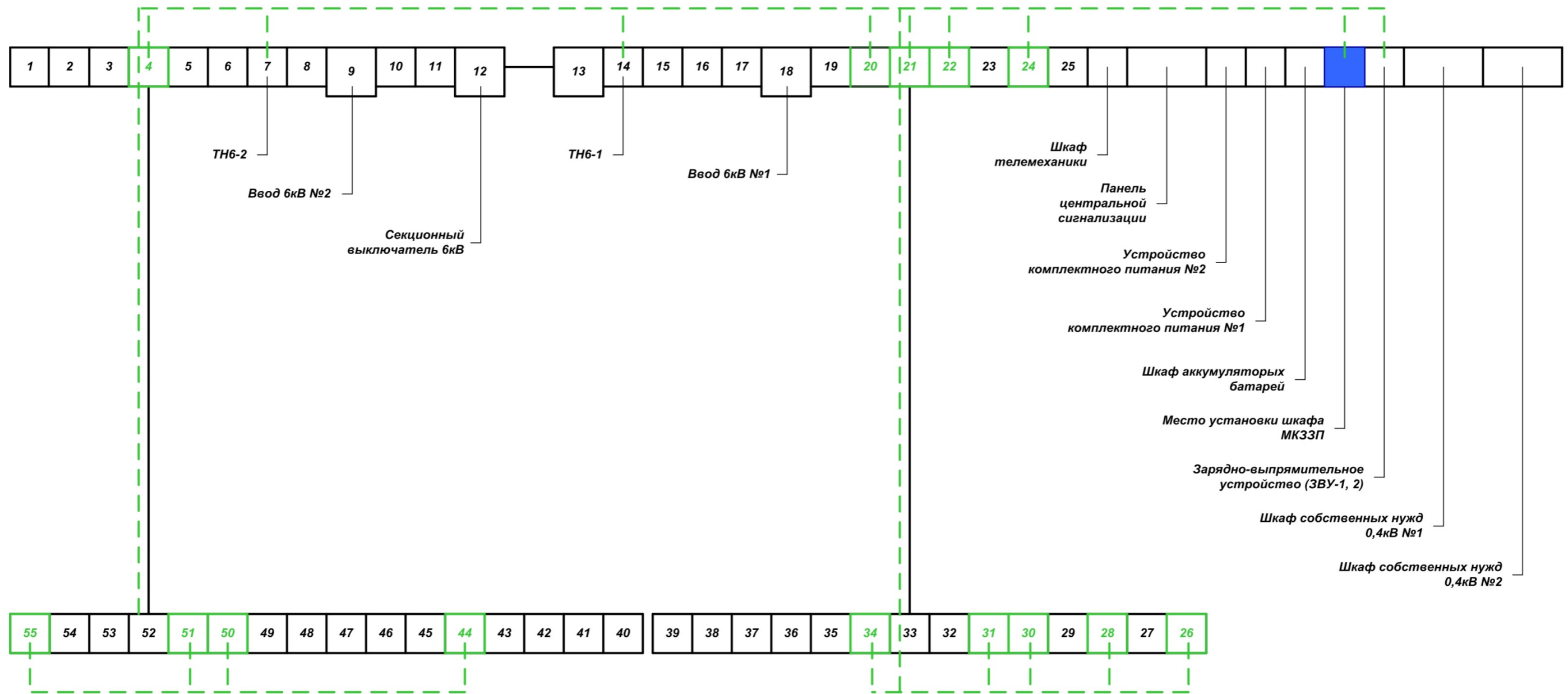


Продолжение Приложения А



				22.13.03.02.XXX.0XX.000X		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Однолинейная схема ЗРУ-6кВ «Янтарная»	
Разраб.	Голованов Д.Н.	Проект.	Павлов В.И.			
Утверд.					Лист 3	
Исполн.					Листов 3	
Упр.					Кафедра ЭСЭТ	
					ТГУ, ЭЭТбд-17016	

# Приложение Б



Номера ячеек



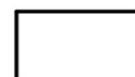
Место для шкафа МК33П



Ячейки для установки датчиков УСО-1



Шинный мост



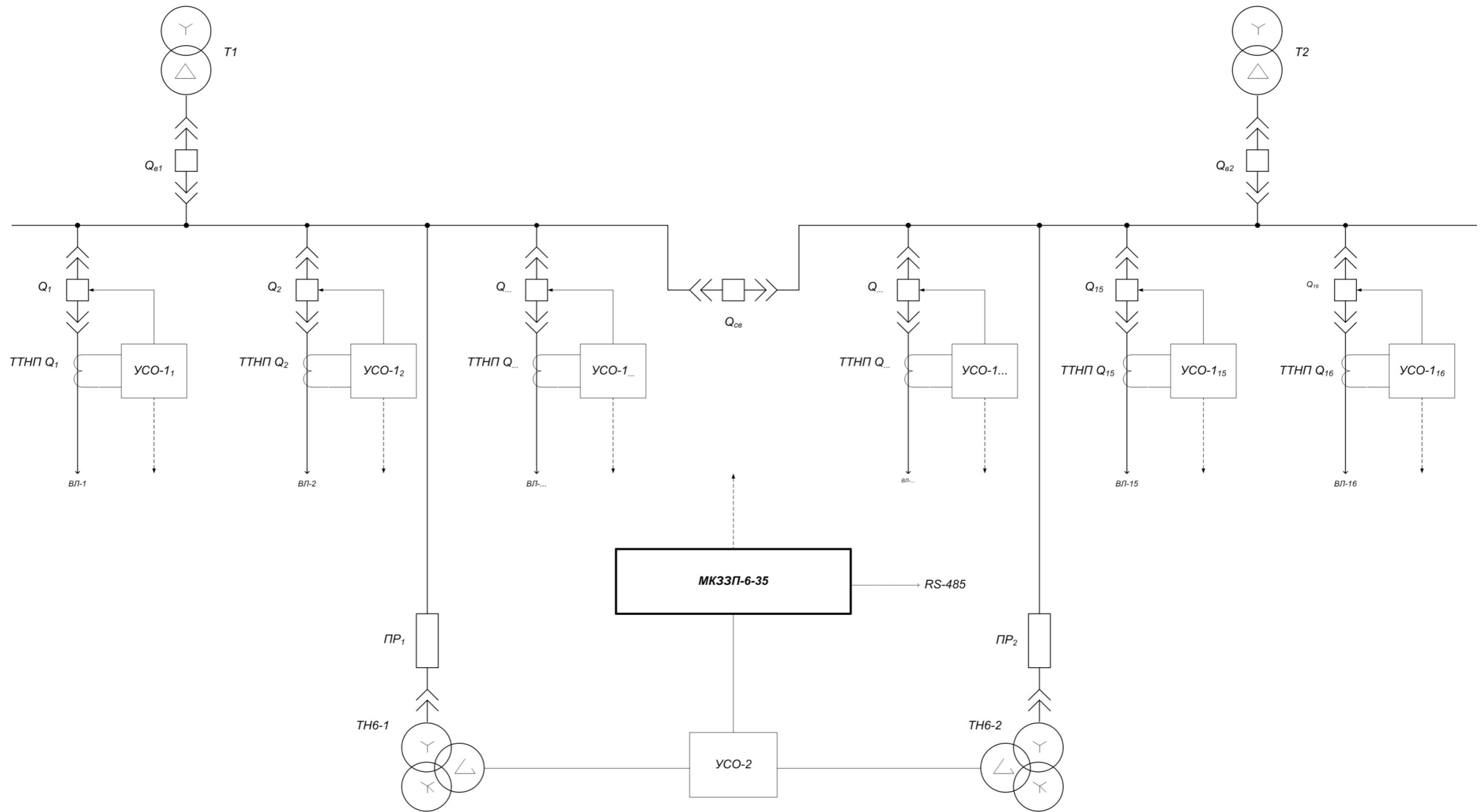
Шкафы с обозначением



Кабельный лоток для прокладки цепей МК33П

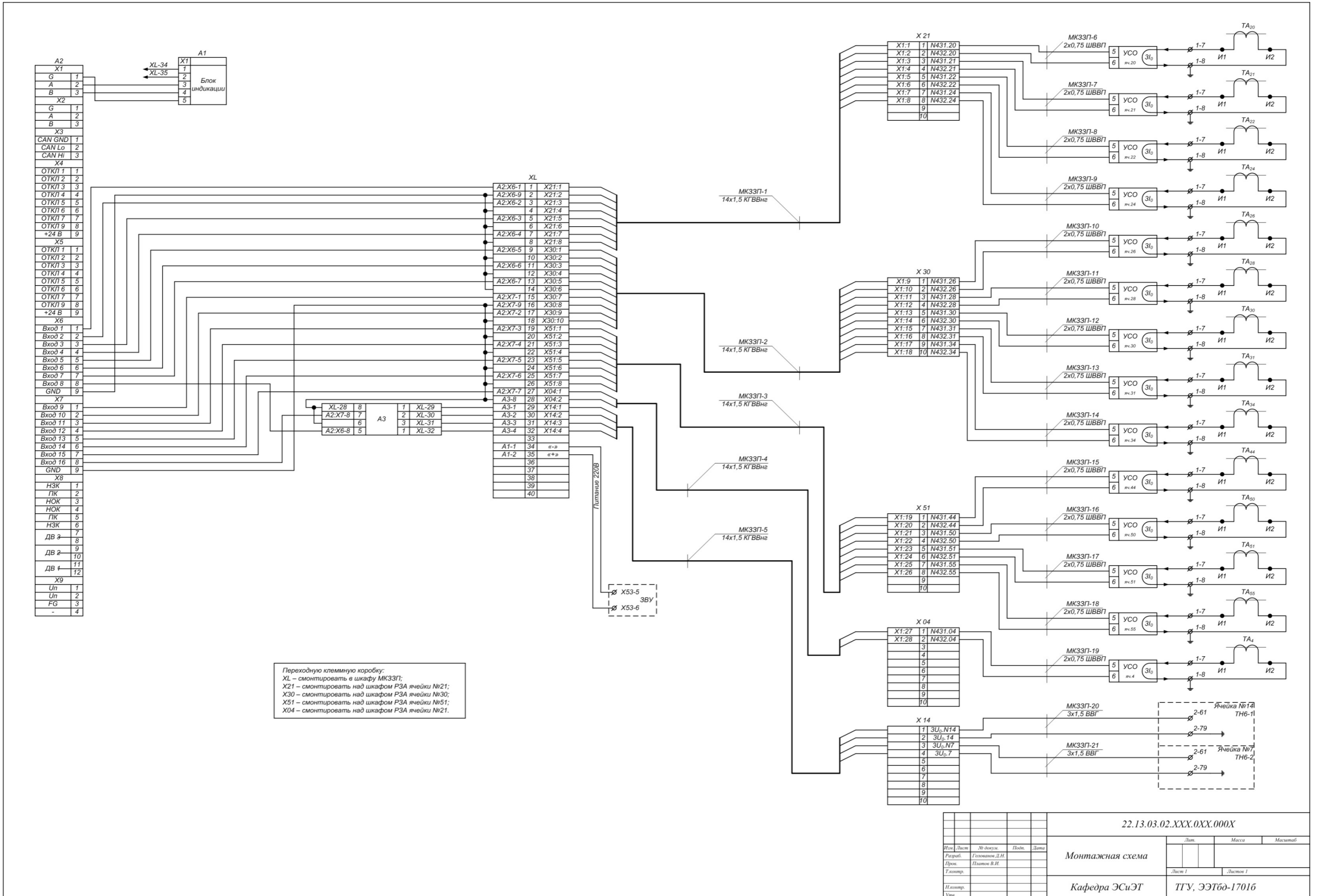
					22.13.03.02.XXX.0XX.000X		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	План размещения шкафа МК33П в ЗРУ		
Разраб.	Голованов Д.Н.				Лит.	Масштаб	Масштаб
Пров.	Платов В.И.				Лист 1	Листов 1	
Т.контр.					Кафедра ЭСцЭТ		
И.контр.					ТГУ, ЭЭТбд-17016		
Утв.							

# Приложение В



					22.13.03.02.XXX.0XX.000X		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Условная схема работы устройства	Лит.	Масштаб
Разраб.	Голованов Д.Н.						
Пров.	Платов В.И.						
Глоб.пр.						Лист 1	Листов 1
Исполн.					Кафедра ЭСиЭТ	ТГУ, ЭЭТбд-1701б	
Утв.							

# Приложение Г



				22.13.03.02.XXX.0XX.000X		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масштаб
Монтажная схема						
Кафедра ЭСиЭТ					ТГУ, ЭЭТбд-1701б	