

Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавров включает в себя проект понизительной подстанции «Чернуха» для электроснабжения инвестиционного комплекса Республика Бурятия.

Основными задачами проекта являются: расчет токов короткого замыкания на стороне высшего и низшего напряжения подстанции; выбор высоковольтного оборудования распределительных устройств высокого и низшего напряжения подстанции; расчет трансформаторов собственных нужд; выбор микропроцессорной релейной защиты и автоматики.

Представленная работа включает в себя:

- пояснительную записку объемом 56 листов;
- 17 таблиц;
- 9 рисунков;
- шесть чертежей формата А1.

Annotation

Graduation qualification work of bachelors includes the project of the step-down substation "Chernukha" for power supply of the investment complex of the Republic of Buryatia.

The main tasks of the project are: calculation of short-circuit currents on the side of the higher and lower voltage of the substation; Selection of high-voltage equipment of switchgears of high and low voltage substations; Calculation of auxiliary transformers; Selection of microprocessor relay protection and automation.

The presented work includes:

- an explanatory note with a volume of 56 pages;
- 17 tables;
- 9 figures;
- 6 drawings of A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ объекта проектирования	7
1.1 Краткая информация о структуре комплекса	7
1.2 Климатическая характеристика площадки строительства	8
1.3 Описание внешнего электроснабжения ПС «Чернуха».....	10
2 Выбор трансформаторов понизительной подстанции «Чернуха»	12
2.1 Расчет электрических нагрузок ПС 110/10 «Чернуха»	12
3 Выбор электрической схемы ГПП ПС 110/10 кВ «Чернуха».....	14
4 Расчёт токов короткого замыкания	15
4.1 Величина ТКЗ на шинах 110 кВ	16
4.2 Величина ТКЗ на шинах 10 кВ	18
5 Выбор высоковольтного оборудования ГПП «Чернуха»	20
5.1 Выбор оборудования ОРУ-110 кВ ГПП «Чернуха»	21
5.2 Выбор оборудования для РУ-10 кВ	28
6 Выбор трансформаторов СН ПС «Чернуха».....	36
7 Релейная защита и автоматика.....	39
7.1 Дифференциальная защита трансформатора	39
7.2 Дуговая защита стороны 10 кВ.....	44
7.3 Дифференциальная защита шин 10 кВ	45
8 Заземление периметра подстанции	48
9 Система АСКУЭ ПС «Чернуха».....	52
Заключение	54
Список использованных источников	55

Введение

Сегодня, как и пятьдесят лет назад основными потребителями электрической энергии (ЭЭ) в РФ, да и во всем мире, являются промышленные предприятия (ПП). На долю предприятий разных отраслей приходится более 60% потребляемой электрической энергии в стране. К промышленным предприятием можно отнести предприятия: нефтехимические; металлургические; машиностроение, а также пищевые.

В настоящее время на территории России развернуты крупномасштабные мероприятия в рамках крупных инвестиционных проектов, реализация которых должна поспособствовать выходу РФ на лидирующие позиции в мире в различных сегментах. За последние года реализовано множество инвестиционных проектов, такие как: Экономическая зона в г. Тольятти; строительство инновационного центра «Сколково»; строительство в Амурской области космодрома «Восточный» и др.

В связи с продовольственным эмбарго принятым в России по причине ввода санкций со стороны США и стран Евросоюза, основной вектор развития РФ – становление сельскохозяйственного комплекса, т.к. данная отрасль является основой стабильности и эффективного развития страны. Многие инвестиционные проекты поддерживаются на государственном уровне, а также фондом развития моногородов.

В мае 2016 г. глава Республики Бурятия и директор Фонда поддержки моногородов подписали меморандум в рамках реализации инвестиционных проектов в сельскохозяйственном комплексе Республики, направленных на создание новых рабочих мест в регионе, а также расширение продукции собственного производства. Сумма государственной поддержки составила более 10 млрд.рублей.

По окончанию инвестиционной программы в республике появятся следующие предприятия:

- Птицефабрика ООО «Бурятптицепром»;

- Комбинат по производству древесного угля ООО «Байкальская древесноугольная компания»;

- тепличный комплекс ООО «Виндам В»;

- тепличный комплекс ООО «Маракан».

Так как сельскохозяйственная отрасль является стратегически важной для развития экономики страны, то при строительстве и модернизации объектов данной отрасли используются современные достижения науки и инновационные технологии.

Перечисленные предприятия войдут в единый комплекс, который будет располагаться по адресу Республика Бурятия, Кабанский район, п. Селенгинск. Т.к. группа предприятий входящих в данный комплекс известен был заранее, на этапе проектирования было принято решение о строительстве главной понизительной подстанции в Кабанском районе, с целью надежного электроснабжения потребителей

Целью данной работы является надежное и бесперебойное электроснабжение промышленных потребителей в рамках реализации инвестиционного проекта на территории Республики Бурятии. Настоящим проектом предусматривается сооружение подстанции 110/10 кВ «Чернуха».

Для достижения поставленной цели, к решению в работе выдвигаются следующие задачи:

1. Расчет электрических нагрузок;
2. Определение типа, мощности и количества трансформаторов;
3. Выбор силового оборудования на главной понизительной подстанции;
4. Расчет токов короткого замыкания;
5. Расчет уставок РЗА силовых трансформаторов.

1 Анализ объекта проектирования

В рамках реализации инвестиционного проекта на территории Республики Бурятия, Кабанский район, п. Селенгинск, появится крупный промышленный комплекс в который войдут птицефабрика, два тепличных комплекса и древесноугольная компания. На рисунке 1 представлена месторасположения нового комплекса.

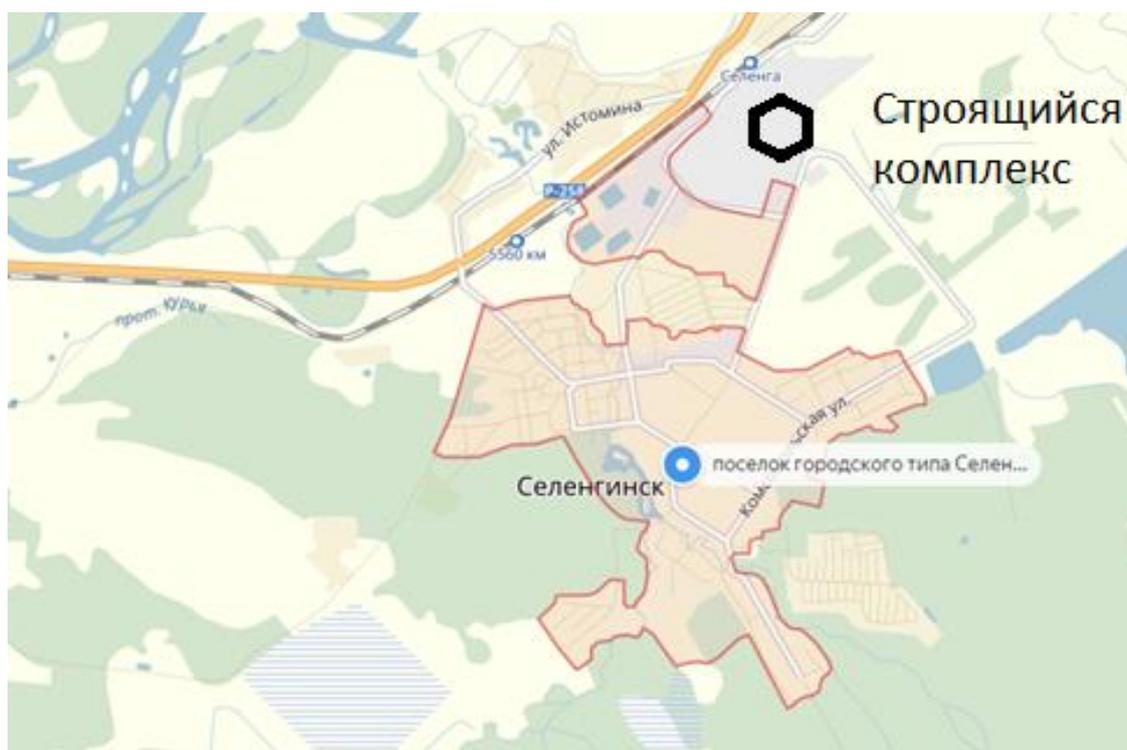


Рисунок 1 – Месторасположение нового комплекса

1.1 Краткая информация о структуре комплекса

Как отмечалось ранее в состав строящегося комплекса войдут следующие компании:

- Птицефабрика ООО «Бурятптицепром»;
- Комбинат по производству древесного угля ООО «Байкальская древесноугольная компания»;
- Тепличный комплекс ООО «Виндам В»;
- Тепличный комплекс ООО «Маракан».

Самой крупной компанией на территории комплекса будет птицефабрика ООО «Бурятптицепром». В ее состав войдут птицеводческий комплекс с родительским стадом мощностью 25000 тонн мяса в год, инкубатор, цех убоя, комбикормовый завод и другие АХП.

Комбинат по производству древесного угля ООО «Байкальская древесноугольная компания» будет основан на переработке древесины, оставшейся от Селенгинского целлюлозно-картонного комбината, от лесных пожаров и т.д.

Тепличные комплексы ООО «Виндам В» и ООО «Маракан» будут заниматься выращиванием овощей и зелени. В их состава войдут теплицы; производственно-бытовые помещения, зоны сортировки и упаковки; здания склада удобрений и т.д.

1.2 Климатическая характеристика площадки строительства

Территория района работ находится в континентальной восточно-сибирской области умеренного климатического пояса. Климат здесь резко континентальный с умеренным влиянием акватории озера Байкал. Большое влияние на его формирование в зимнее время оказывает Сибирский антициклон, обуславливающий в этот сезон года преобладание малооблачной погоды со слабыми ветрами, небольшим количеством осадков и распространением процессов выхолаживания.

Климатическая характеристика района (таблица 1) представлена по данным наблюдений ближайшей метеостанции с. Кабанск.

Ветровой режим обусловлен соседством огромной водной массы о. Байкал. Так преобладающими являются ветры западных (до 34 %) направлений. Средняя годовая скорость ветра равна 3,5 м/с. Максимальная скорость ветра (4 % Р) по наиболее опасному направлению составляет 30 м/с.

На рисунке 2 представлены направления ветров и штилей (роза ветров), а также в таблице 2.

Таблица 1 - Основные климатические характеристики

Характеристика	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
Средняя температура в разрезе по месяцам, град.	-23	-16	-8	-0,4	8	15	24	14	9	1	-7	-16	-1
Минимальный максимум температуры воздуха, град.	-42												
Максимальный максимум температуры воздуха, град.	+37												
Даты первого и последнего заморозков	Средняя: 17.09; 26.05.												
Продолжительность безморозного периода, дни	Средняя – 113												
Ср.месячная и годовая сумма осадков, мм	9	6	5	13	26	50	82	68	53	18	17	15	359
Годовая скорость ветра, м/с	3,5												

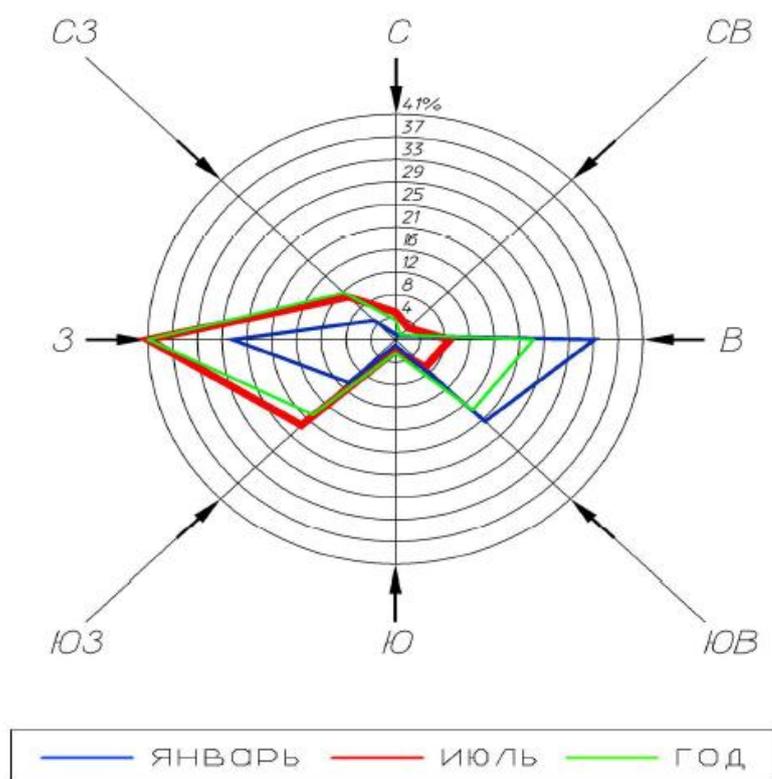


Рисунок 2 – Роза ветров

Таблица 2 – Повторяемость направлений ветра и штилей

	Повторяемость направлений ветра и штилей								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Январь	1	1	33	21	1	11	27	5	19
Июль	5	3	9	7	2	22	41	11	19
Год	3	1	19	15	2	16	34	10	20

Глубина сезонного промерзания грунтов колеблется от 3,2 м до 3,6 м.

Сложность геологического строения изучаемой территории определяется положением на стыке крупных тектонических структур: хребта Хамар-Дабан и Усть-Селенгинской депрессии. Кристаллический фундамент депрессии и горное обрамление сложены протерозойскими и нижнепалеозойскими метаморфическими и интрузивными комплексами горных пород.

Подземные воды установились в левобережной части р.Чернуха на глубинах в зависимости от рельефа 3,8-5,1м с абсолютными отметками 468,1-468,7м БС. В сезонные паводки подъем уровня подземных вод достигает +0,5-1,0м, в катастрофические паводки – 1,5-2,0м.

Участок строительства понизительной подстанции расположен восточнее п. Селенгинск. Существующая и прилегающие территории свободны от застройки. Площадка расположена между железнодорожными путями и линиями электропередач. Рельеф спокойный, с уклоном в южном направлении. Сеть дорог и пешеходных дорожек отсутствует. Участок безлесный, с небольшим количеством деревьев. На участке отсутствует инженерная инфраструктура водоснабжения и водоотведения.

1.3 Описание внешнего электроснабжения ПС «Чернуха»

Объектом выпускной квалификационной работы бакалавров является инвестиционный комплекс в Республике Бурятия. Основная задача разработать внешнее электроснабжение данного комплекса.

Согласно ТУ на технологическое присоединение от 16.10.2015 г. к электрическим сетям ПАО «МРСК Сибири», питание понизительной

подстанции будет осуществляться по воздушным линиям электропередач 110кВ:

- отпайка от ВЛ 110 кВ «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая» I цепь (СС-121);

- отпайка от ВЛ 110 кВ «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая» II цепь (СС-122).

Схема врезки подстанции представлена на рисунке 3.

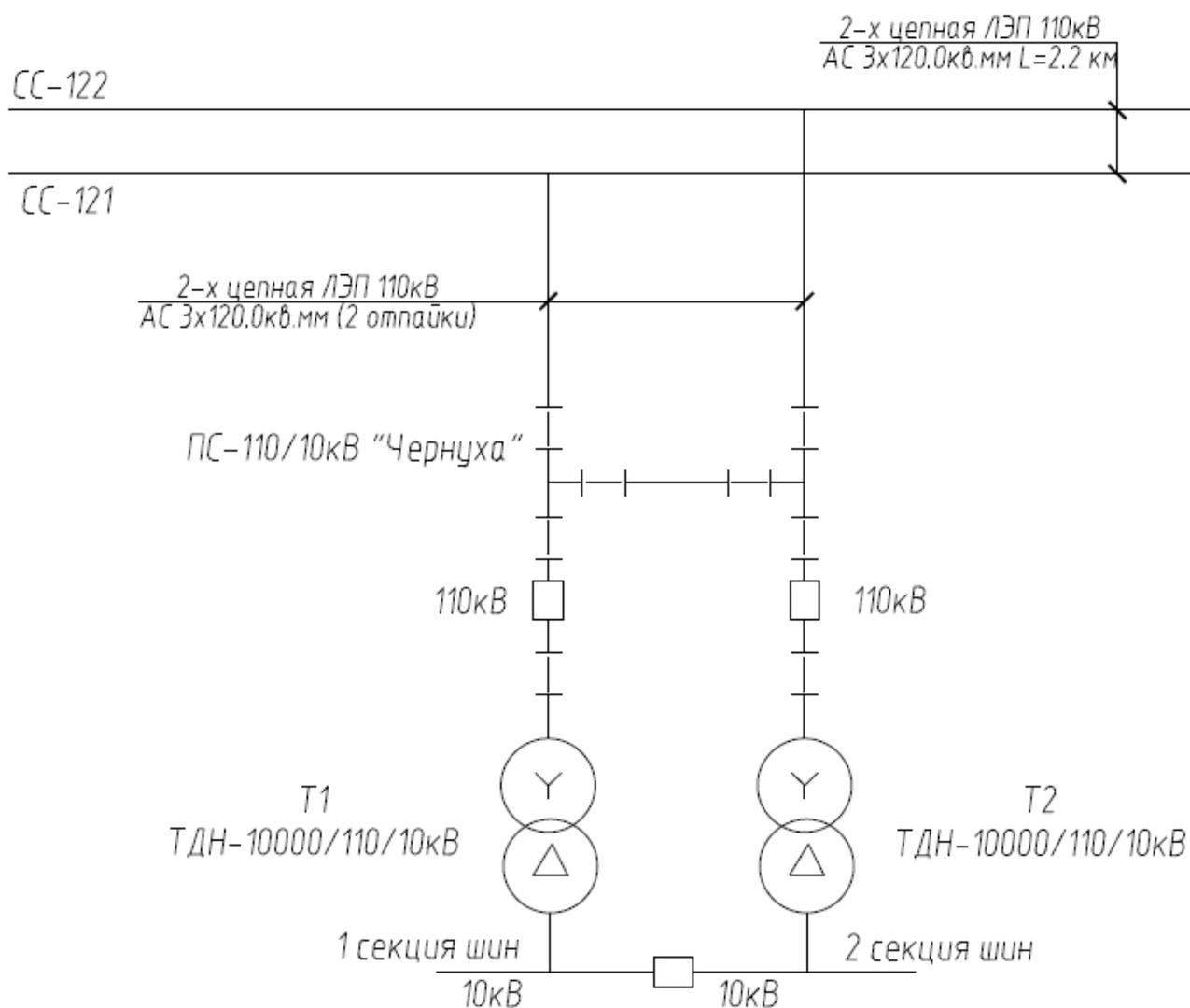


Рисунок 3 – Схема врезки подстанции

2 Выбор трансформаторов понизительной подстанции «Чернуха»

2.1 Расчет электрических нагрузок ПС 110/10 «Чернуха»

Так как потребители строящегося комплекса относятся к первой и второй категории надежности, на площадке необходимо установить 3 (три) блочных комплектных трансформаторных подстанции с АВР по низкой стороне соответствующей мощности.

Ориентировочный расчет электрических нагрузок представлен в таблице 3, и сделан на основании заявок на технологическое присоединение к электрической сети. При итоговом строительстве инвестиционного комплекса нагрузка может измениться не значительно.

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок

№	Наименование	P _p , кВт	cos φ	Q _p , кВар	S, кВА
1	Птицефабрика в составе:				
	- птицефабрика (БПП)	4500	0,8	3375	5625
	- родительское стадо	500	0,8	375	625
	- комбикормовый завод (ККЗ)	500	0,8	375	625
2	Тепличный комплекс «Виндам-В»	1400	0,8	1050	1750
3	Тепличный комплекс «Маракан»	1400	0,8	1050	1750
4	Древесно-угольная компания (БДУК)	1000	0,8	750	1250
	Итого	9300	0,8	6975	11625

Полная мощность проектируемой подстанции с учетом коэффициента несовпадения максимума нагрузок составит:

$$S_{ПС} = S_p \cdot k_{н.м.н.} = 9881 \text{ кВА},$$

где S_p - расчетная полная мощность строящихся объектов (таблица 3); $k_{н.м.н.}$ - коэффициента несовпадения максимума нагрузок, равный 0,85.

2.2 Выбор мощности силовых трансформаторов ПС «Чернуха»

Номинальная мощность трансформаторов на ГПП инвестиционного комплекса, определяется, как:

$$S_{HT} \geq S_{ПС}, \quad (1)$$

где S_{HT} - мощность выбранного силового трансформатора, МВА; $S_{ПС}$ - суммарная мощность потребителей 1 и 2 –ой секций сборных шин подстанции.

На основании полученных данных, а также принимая во внимание, что данный комплекс будет в последующем развиваться к установке принимаются силовые трансформаторы типа ТДН-10000/110/10. Схема и группа соединения обмоток $Y_n/D-11$ производства компании АО «Группа «СВЭЛ» г. Екатеринбург.

3 Выбор электрической схемы ГПП ПС 110/10 кВ «Чернуха»

Выбор главной схемы ГПП инвестиционного комплекса является основополагающим при проектировании электрической части подстанции, т.к. он определяет полный перечень элементов высоковольтного оборудования и вторичных связей.

Главная схема электрических соединений для РУ-110 кВ ГПП «Чернуха» инвестиционного комплекса – принята общепринятая схема для тупиковой подстанции: 110-4Н, которая включает в себя два блока с выключателями и ремонтной перемычкой со стороны линии (рисунок 4). Выбор схемы на стороне 110 кВ, обусловлен требованиями СТО ПАО «ФСК ЕЭС».

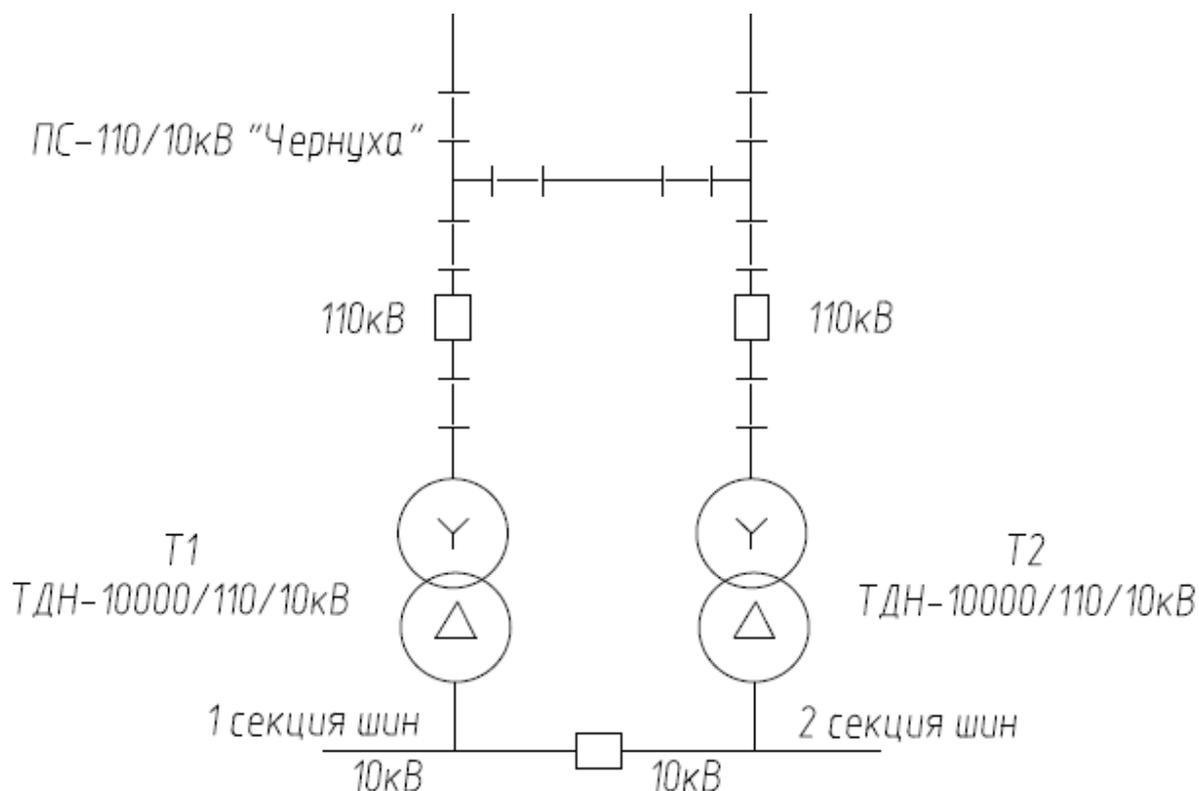


Рисунок 4 – Электрическая схема подстанции «Чернуха»

В РУ-10 кВ принята схема «одинарная, секционированная выключателем, система шин».

4 Расчёт токов короткого замыкания

В работе производится расчет токов коротких замыканий, необходимый для выбора высоковольтного оборудования ПС 110/10 кВ «Чернуха».

Для рассмотрения правильности выбора электрических аппаратов и жестких проводников совместно с опорными конструкциями используют расчётные данные КЗ, а именно значения трёхфазного КЗ в усиленном режиме электроэнергетической системы, это в свою очередь позволяет проверить выбранное оборудование на динамическую стойкость.

Исходные данные для расчета токов КЗ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические показатели трансформатора ТДН-10000/110/10

Технические показатели	
$U_{BH}, В$	115000
$U_{HH}, В$	11000
$S_{ном}, кВА$	10000
$P_x, Вт$	10000
$P_{кз}, Вт$	58000
$U_{кз}, \%$	10500
$I_{xx}, \%$	0,4

При расчете токов КЗ необходимо принять следующие существенные допущения:

1. Расчётное напряжение каждого уровня ступени электрической схемы принимается на 5% выше номинального.
2. Не принимаю во внимание сдвиг по фазе ЭДС источников питания, входящих в расчётную схему. ИП в работе принят единым с бесконечно выдаваемой мощностью $S_{СИС} = \infty$.
3. Пренебрегаю емкостными токами в воздушных и кабельных линиях.
4. Пренебрегаю токами намагничивания трансформатора.
5. Напряжение энергосистемы неизменно.

Для определения значений ТКЗ необходимо на первом этапе составить

расчетную схему и схему замещения подстанции, в которой все электрические и магнитные связи представлены соответствующими сопротивлениями (рисунок 5).

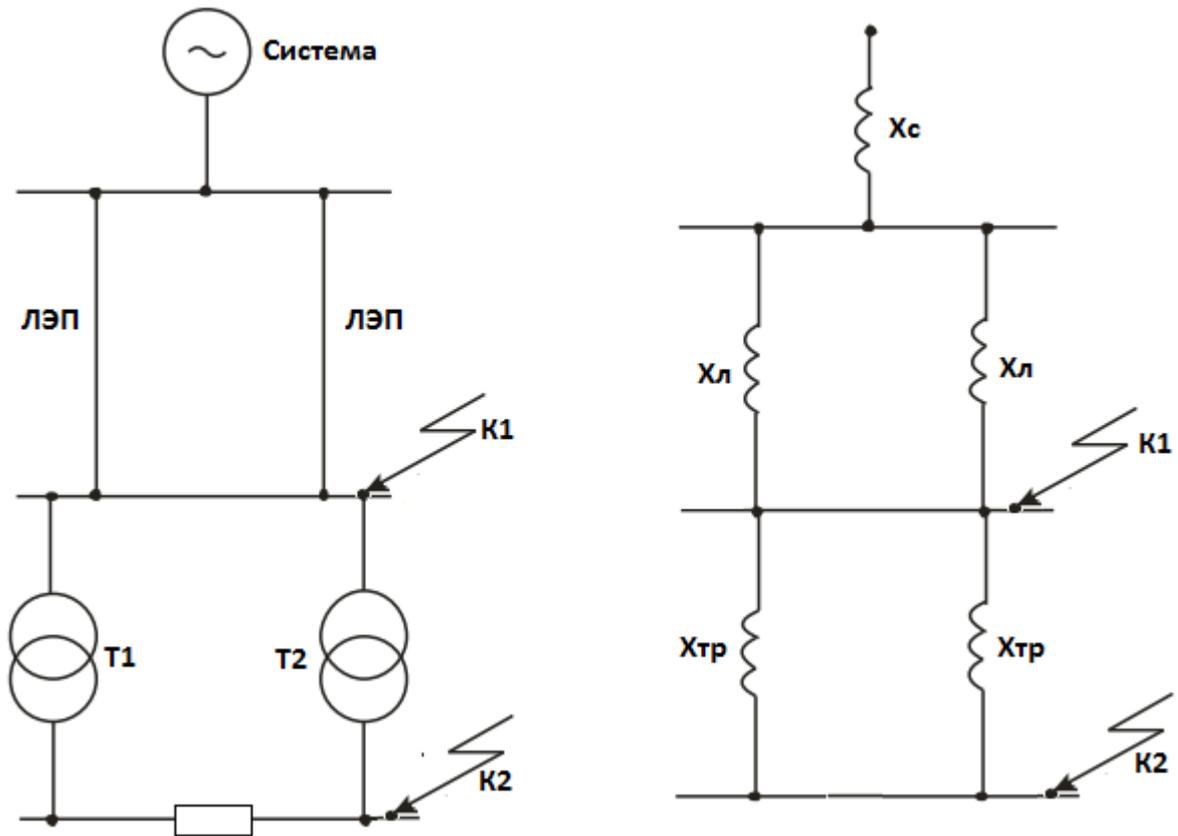


Рисунок 5 - Расчет ТКЗ: а) схема-расчетная; б) схема-замещения

Расчет токов КЗ производится по следующему нормативному документу: РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования».

4.1 Величина ТКЗ на шинах 110 кВ

В качестве источника питания принимается ВЛ 110 кВ «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая», к которой присоединяется ПС «Чернуха» с длиной 2,2км.

Задаёмся следующими параметрами:

$$S_{СИС} = \infty;$$

$$X_{СИС} = 0;$$

$$U_{НОМ.С} = 115 \text{ кВ};$$

$$X_{уд} = 0,4 \text{ Ом/км.}$$

Сопротивление воздушной ЛЭП «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая»:

$$X_{6,Л} = X_{0,уд} \cdot L \frac{S_6}{U_6^2};, \quad (2)$$

где $X_{уд}$ - удельное сопротивление ЛЭП «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая»; L – длина ЛЭП «Селенгинский ЦКК – Селенга-тяговая».

$$X_{6,Л} = 0,4 \cdot 2,2 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,07.$$

Сопротивление системы:

$$S_{кз}^3 = \sqrt{3} \cdot U_c \cdot I_{кз,макс}^3; \quad (3)$$

$$S_{кз}^3 = \sqrt{3} \cdot 115 \cdot 11495 = 2287 \text{ МВА}$$

$$x_{c,6} = \frac{S_6}{S_{кз}}; \quad (4)$$

$$x_{c,6} = \frac{1000}{2287} = 0,43.$$

Ток трехфазного КЗ в точке К1, можно определить по следующей формуле:

$$U_6 = 115 \text{ кВ};$$

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}; \quad (5)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА};$$

$$\Sigma X_{\kappa 1,6} = X_{c6} + X_{1,л6}; \quad (6)$$

$$\Sigma X_{\kappa 1,6} = 0,43 + 0,07 = 0,5;$$

$$I_{no} = \frac{E}{X_{\kappa 1,6}} \cdot I_6; \quad (7)$$

$$I_{no} = \frac{1}{0,5} \cdot 5,02 = 10,04 \text{ кА}.$$

Соответственно, ударная величина тока КЗ в установленной т.К1 равен:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot K_{y0}; \quad (8)$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 10,04 \cdot 1,9 = 26,89 \text{ кА},$$

где $k_{y0} = 1,9$ – ударный показатель ТКЗ на РУ-110 кВ ПС «Чернуха».

4.2 Величина ТКЗ на шинах 10 кВ

Сопротивление трансформатора ТДН-10000/110/10:

$$X_{6T} = \frac{U_{к.в}, \%}{100} \frac{S_6}{S_{номT}}; \quad (9)$$

$$X_{6T} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{10} = 10,5.$$

В итоге, ток КЗ в точке К2 равен:

$$I_{62} = 5,02 \cdot \frac{115}{10,5} = 54,98 \text{ кА};$$

$$\sum K_{2\sigma} = \sum K_{1\sigma} + X_T; \quad (10)$$

$$\sum K_{2\sigma} = 0,5 + 10,5 = 11.$$

$$I_{no} = \frac{1}{11} \cdot 54,98 = 4,99 \text{ кА}.$$

Соответственно, ударная величина тока КЗ в установленной т.К2 равен:

$$i_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot I_{no} \cdot K_{y\sigma}; \quad (11)$$

$$i_{y\sigma} = \sqrt{2} \cdot 4,99 \cdot 1,85 = 13,01 \text{ кА},$$

где $k_{y\sigma} = 1,85$ –ударный показатель ТКЗ на РУ-10 кВ ПС «Чернуха».

Сводим результаты расчетов в таблицу 5.

Таблица 5 – Значения токов КЗ на сборных шинах ПС «Чернуха»

Наименование ТКЗ	Расчетное место на схеме	Значение ТКЗ $I_{п.о.}$	Ударный ток ТКЗ $I_{уд}$
К1	На шинах 110 кВ	10040 А	26890 А
К2	На шинах 10 кВ	4990 А	13010 А

Использование расчетных данных (таблицы 5) позволит выбрать высоковольтное оборудование ПС с запасом по коммутационной способности, т.к. прогнозируемые данные ниже чем полученные расчетным путем.

5 Выбор высоковольтного оборудования ГПП «Чернуха»

Выбор высоковольтного оборудования является важным этапом проектирования электрической части подстанции. Высоковольтное оборудование выбирается с учетом развития энергосистемы региона, что позволяет избежать дополнительных затрат при вводе новых мощностей. Выбираемое оборудование должно отвечать современным тенденциям выдвигаемые к надежности, удобству и безопасности эксплуатации.

Устанавливаемые высоковольтные выключатели на территории подстанции 110 кВ «Чернуха» должны соответствовать ГОСТ Р 52565-2006.

Определим значения токов в нормальном и аварийном режимах:

- На стороне 110 кВ:

$$I_{НОРМ} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}}; \quad (12)$$

$$I_{Р.МАХ} = 1,4 \cdot \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}}, \quad (13)$$

где $S_{т.ном}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА; $U_{сред}$ - среднее напряжение РУ, кВ; 1,4 – коэффициент утяжеленного режима работы сети.

РУ-110 кВ:

$$I_{НОРМ} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 66,7 \text{ А};$$

$$I_{Р.МАХ} = 1,4 \cdot \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 93,07 \text{ А}.$$

РУ-10 кВ (вводные и секционированные выключатели):

$$I_{НОРМ} = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 550,2 \text{ А};$$

$$I_{P.MAX} = 1,4 \cdot \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} = 1,4 \cdot \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 770,2 \text{ А}.$$

РУ-10 кВ (отходящие фидеры) – расчет производится для наиболее загруженной линии:

$$I_{НОРМ} = 300,9 \text{ А};$$

$$I_{P.MAX} = \frac{I_{НОРМ}}{0,95} = \frac{300,9}{0,95} = 325,7 \text{ А}.$$

Результаты расчета сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Величины рабочих токов

Наименование	Расчетные рабочие токи, А	
	в рабочем режиме энергосистемы	в аварийном режиме энергосистемы
РУ-110 кВ ГПП «Чернуха»	66,7	93,07
РУ-10 кВ (вводные ячейки)	550,2	770,2
РУ-10 кВ (отходящие фидеры)	300,9	325,7

5.1 Выбор оборудования ОРУ-110 кВ ГПП «Чернуха»

5.1.1 Выбор выключателей 110 кВ

Условия выбора выключателя представлены в ГОСТ Р 52565-2006. Выбор выключателя осуществляется по следующим критерием:

- По рабочему напряжению электрической сети:

$$U_{ном} \geq U_{сет.ном}; \quad (14)$$

- По установленному рабочему току сети:

$$I_{ном} \geq I_{max}; \quad (15)$$

- Способность отключения симметричного тока:

$$I_{откл.ном} \geq I_{н\tau}; \quad (16)$$

- Возможность отсечения аperiodической величины КЗ:

$$i_{a.ном} \geq i_{a\tau}; \quad (17)$$

$$i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{норм} \cdot I_{откл.ном} / 100 \geq i_{a\tau}; \quad (18)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н,\tau} \cdot e^{-\tau/T_a}; \quad (19)$$

- способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ:

$$I_{пр.скв} \geq I_{н0} \quad (20)$$

- на термическую стойкость:

$$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k; \quad (21)$$

$$B_k = I_{н.0}^2 \cdot (t_{откл.} + T_a). \quad (22)$$

В качестве выключателя в ОРУ 110 кВ примем силовой выключатель колонковый элегазовый, номинальное напряжение 110кВ комплектно с моторным приводом ВЛК 222 типа ЛТВ145D1/В.

Результаты расчета представлены в таблице 7.

На основании полученных результатов (таблица 7), все расчётные данные выключателя меньше или равны техническим (каталожным) параметрам,

следовательно, выключатель LTB145D1/B компании «ABB» годится для установки на территории ОРУ.

Таблица 7 – Расчет выключателя 110 кВ

Технические показатели	Расчёт	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}$, кВ	$U_{ном} = 110$	=	$U_{ном} = 110$
I_n , А	93,7	<	$I_n = 2000$
$I_{но}$, кА	$I_{\Sigma}^{(3)} = 10,04$	<	$I_{но} = 40$
i_a , кА	$i_a = 0,65$	<	$i_{a.ном} = (\sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{нор}}{100}) \cdot I_{но} =$ $= (\sqrt{2} \cdot 45/100) \cdot 40 = 25,5$
B_k , кА ² ·с	$B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t = 5,78$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$
$I_{нс}$, кА	$I_{\Sigma}^{(3)} = 10,04$	<	$I_{нс} = 40$
$i_{y\partial}$, кА	$i_{\Sigma y\partial}^{(3)} = 26,89$	<	$i_{y\partial} = 102$

Внешний вид выбранного выключателя представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Выключатель LTB145D1/B

5.1.2 Выбор разъединителей 110 кВ

На основании схемы подстанции «110-4Н» к установке на территории ОРУ-110 кВ требуется следующий комплект разъединителей:

- Комплект разъединителя трехполюсного с двумя комплектами заземляющих ножей, номинальное напряжение 110 кВ, с моторным приводом – 4шт.;
- Комплект разъединителя трехполюсного с одним комплектом заземляющих ножей с моторным приводом – 4шт.

К установке принимаются разъединители типа SGF 123n II*-100УХЛ1+2Е производства «АВВ». Результаты расчета представлены в таблице 8.

Выбор разъединителей, произведу последующим критериям:

- по конструкции, роду установки;
- по рабочему напряжению электрической сети;
- по установленному рабочему току сети;
- способность выдерживать электродинамические процессы при КЗ;
- по термической устойчивости.

Таблица 8 – Расчет разъединителей 110 кВ

Технические показатели	Предполагаемые данные	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}$, кВ	$U_{ном} = 110$	=	$U_{ном} = 110$
I_n , А	93,07	<	$I_n = 1000$
$B_{к.ном}$, кА ² ·с	$B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t = 5,78$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$
I_{nc} , кА	$I_{\Sigma}^{(3)} = 10,04$	<	$I_{nc} = 40$
$i_{y\partial}$, кА	$i_{\Sigma y\partial}^{(3)} = 26,89$	<	$i_{y\partial} = 100$

На основании полученных результатов (таблица 8), можно сделать вывод, что разъединители типа SGF 123n II*-100УХЛ1+2Е выбраны правильно.

В составе ОРУ-110 для установки высоковольтного оборудования предусмотрены:

- Модульная конструкция ячейки КМ1-110-УХЛ1 для установки высоковольтного оборудования вводного мостика линии СС-121;

- Модульная конструкция ячейки КМ2-110-УХЛ1 для установки высоковольтного оборудования вводного мостика линии СС-122;
- Модульная конструкция ячейки КМ3-110-УХЛ1 для установки высоковольтного оборудования неавтоматической перемычки;
- Комплект из двух порталов с ростверками тип ПСЛ-110Я2С для приема ВЛ-110 и установки оборудования для ВЧ заграждения.

Выбранное оборудование высоковольтное устанавливается на модульные конструкции. Для обслуживания выключателей предусмотрены площадки обслуживания.

5.1.3 Выбор трансформаторов тока 110 кВ

В соответствии с электрической схемой подстанции к установке принимается один трансформатор тока устанавливаемый перед коммутационным аппаратом.

Выбор измерительного трансформатора тока производится:

- по номинальному напряжению электрической сети;
- по нагрузочной способности ТТ;
- по термической и электродинамической устойчивостям и др.

В качестве трансформатора тока в РУ-110 кВ к установке принимаем трансформатор тока типа ТГ-110/0.5/10Р/10Р – 400/5 УХЛ1 производства концерна «АВВ». Перечень измерительных приборов, подключаемых к трансформатору тока и их мощности, представлен в таблице 9. Результаты расчет выбора ТТ представлены в таблице 10.

Таблица 9 – Определение вторичной нагрузки TG-110/0.5/10P/10P

№	Измерительный аппарат	Паспортные значения		
		А	В	С
1	Амперметр для измерения тока	0,5	–	–
2	Ваттметр для измерения мощности активной	0,5	–	0,5
3	Варметр для измерения мощности реактивной	0,5	–	0,5
4	Электрический счетчик (энергии активной)	2,5	2,5	–
5	Электрический счетчик (энергии реактивной)	–	2,5	2,5
	Мощность, В·А	4	5	3,5

Таблица 10 – Проверка выбранного измерительного ТТ

Технические показатели	Предполагаемые данные	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}$, кВ	$U_{ном} = 110$	=	$U_{ном} = 110$
I_n , А	93,07	<	$I_n = 400$
$B_{к.ном}$, кА ² ·с	$B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t = 5,78$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$
$i_{y\delta}$, кА	$i_{\Sigma y\delta}^{(3)} = 26,89$	<	$i_{y\delta} = 100$
$Z_{2ном}$, Ом	$Z_{2ном} = 1,2$	-	-
$R_{приб}$, Ом	$R_{приб} = 0,2$	-	Сопротивление подключенных приборов, Ом
R_{np} , Ом	$R_{np} \leq 0,9$		
s , мм ²	$s = \frac{\rho \cdot l_{np}}{R_{np}} = 1,94$	$1,85 \Rightarrow$ выбираем провода КВВГ 2,5	

Т.к. все расчётные данные меньше или равны каталожным данным, то измерительный трансформатор тока типа TG-110/0.5/10P/10P компании «АВВ» подходит для установки.

5.1.4 Выбор ограничителей перенапряжения

Для защиты преобразующего оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений, к установке принимаем ограничители перенапряжений.

В настоящее время вентильные разрядники не производятся, а на действующих подстанциях выработали свой срок службы. В следствие этого при реконструкции и строительстве подстанций используются только ОПН.

Достоинства современных ОПН:

- высокая прочность при перенапряжениях;
- высокая степень надежности;
- возможность работы при низких температурах.

Для сравнительного анализа выберу два массовых ОПН, ОПН-П-110/56/20-УХЛ1 и ОПН-Ф-110/56/20-УХЛ1, которые производятся на предприятие ООО «Завод энергозащитных устройств». Сравнительный анализ выбранных мною ОПН представлен в таблице 11.

К установке выбираю ограничитель перенапряжения – ОПН-П-110/156/700-УХЛ1, т.к. его цена ниже, чем у аналога.

Таблица 11 – Анализ технических показателей ОПН

Технические показатели	ОПН-П-110/156	ОПН-Ф-110/156
Напряжение электрической сети, кВ	110	110
Ток пропускной способности ОПН 2000 мкс, А	700	700
Разрядный ток ОПН, кА	20	20
Наибольшее напряжение, кВ	56	56
Амплитуда максимального тока 4/10 мкс, кА	100	100
Эксплуатационный срок, лет	30	30

5.2 Выбор оборудования для РУ-10 кВ

Для экономия времени при строительстве подстанций, для РУ-10 кВ в последнее время все чаще используют блочно-модульные здания (БМЗ). К установке принимается БМЗ производства ООО «БЭМП».

Здание представляет собой единую конструкцию из быстровозводимого, на объекте, металлического каркаса, ограждающими конструкциями которого (стены и крыша) являются сэндвич-панели. Габаритные размеры здания определены, исходя из смонтированного внутри оборудования, требований Правил устройства электроустановок. Толщина стен и крыши рассчитана исходя из климатических условий установки.

Двухскатная крыша обеспечивает наиболее надёжный вариант защиты здания от снеговых нагрузок и позволяет просто и надёжно обеспечить гидроизоляцию. В соответствии с Правилами устройства электроустановок определено количество выходов из здания.

Размеры внутреннего пространства позволяют свободно и удобно производить текущее обслуживание и ремонт оборудования. Размеры прохода обеспечивают демонтаж оборудования.

За основу внутренней и внешней отделки взяты решения, которые позволяют герметизировать здания от протечек воды. Комплекс решений включает в себя различные нащельники, вставки и прочие декоративные элементы учтенные в конструктивных решениях Инженерного Центра «МКТ».

Пол в здании представляет собой рифленый лист толщиной 4 мм, окрашенный в серый цвет. Толщина листа совместно с рамной поддерживающей конструкцией обеспечивает надёжный монтаж оборудования и является звеном заземляющего контура здания. В полу предусмотрены заходы кабелей, которые надёжно герметизированы.

В ОПУ/ЗРУ в отдельном отсеке установлены ячейки КРУ-10 типа «Клен» производства ООО «БЭМП». В РУ-10 кВ принята схема «одинарная, секционированная выключателем, система шин».

РУ «Клен» - комплектные распределительные устройства соответствуют установленным требованиям в ГОСТ 14693-90.

Корпус КРУ «Клен» выполнен из гнутых оцинкованных стальных листов толщиной 2-3 мм (3-мм кассета выкатного элемента), закрепленных усиленными вытяжными заклепками, выдерживающими большие динамические нагрузки.

На нижней стенке снаружи отсека силового выключателя расположен заземляющий разъединитель.

Выкатной элемент представляет собой тележку, установленную на направляющие, исключают перекосы при стыковке контактов. На тележке, в зависимости от схемы КРУ «Клен», устанавливается следующее оборудование:

- силовой вакуумный выключатель - Evolis 12P1 (Schneider Electric);
- разъединитель - ЗР-10/20 (БЭМП);
- трансформаторы напряжения - 3хЗНОЛП-10 (СЗТТ);
- предохранители - ПКН001-10-У1.

Некоторые отличия имеет отсек кабельных присоединений. Отсек кабельных присоединений закрыт дверью на петлях падающего типа. На двери, с внутренней стороны, расположены лампа внутреннего освещения, с возможностью ее замены без открытия двери отсека, и смотровые окна, с защитой органов зрения, для визуального контроля положения заземлителя.

Ячейки обеспечивают функции защиты и управления вводов 10 кВ, секционного выключателя и отходящих линий. Ячейки с трансформаторами напряжения обеспечивают измерение напряжения для сигнализации и релейной защиты. Трансформаторы собственных нужд приняты в ячейках и подключены к шинам КРУ-10 кВ.

В стенах блок-модулей установлены входные двери. Входные двери выполнены из листовой стали с утеплением и содержат следующие элементы:

- уплотнения по всему контуру прилегания;
- внутренние самозапирающиеся замки;
- приспособления для пломбировки;

- петли для навесных замков.

При необходимости входные двери могут быть оборудованы доводчиками.

Над входными дверями установлены съемные козырьки для защиты от атмосферных осадков и льда.

5.2.1 Ячейки КРУ-10 кВ

В БМЗ устанавливаем новые ячейки КРУ «Клен» производства компании ООО «БЭМП».

К поставке предлагаются ячейки КРУ «Клен» двухстороннего обслуживания, с номинальным током сборных шин 2000А, ток термической стойкости 31,5 кА. Ячейки оснащаются вакуумными выключателями Evolis 12P1 (Schneider Electric).

РУ «Клен» предназначены для работы внутри закрытых помещений при следующих условиях окружающей среды:

- тип атмосферы – II промышленная по ГОСТ 15150-69;
- среда в помещении невзрывоопасная.

РУ «Клен» соответствуют требованиям ГОСТ 14693-90, ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.4-75, ТУ 0ЭТ.536.001.

КРУ «Клен» объединяет в себе множество инновационных решений, реализованных на основе испытаний. Также особое внимание было уделено обеспечению высокого уровня безопасности оборудования, надежности, простоте и экономической эффективности конструкторских решений. Внешний вид ячейки КРУ «Клен» представлен на рисунке 11.



Рисунок 7 – КРУ «Клен» 10 кВ

5.2.2 Выбор и проверка выключателей

В качестве выключателя в КРУ 10 кВ выбираю выключатель вакуумный типа Evolis 12P1 (Schneider Electric). Выключатель данной серии имеет ряд преимуществ:

- удобство эксплуатации;
- наличие пружинного привода;
- повышение электродинамические характеристики.

Сравнение параметров приведём в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора выключателя 10 кВ

Технические показатели	Расчет	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}, \text{кВ}$	$U_{ном} = 10$	=	$U_{ном} = 10$
$I_n, \text{А}$	770,2	<	$I_n = 2000$
$I_{но}, \text{кА}$	$I_{\Sigma}^{(3)} = 4,99$	<	$I_{но} = 31,5$
$i_{а.ном}, \text{кА}$	$i_a = 5,6$	<	$i_{а.ном} = (\sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{нор}}{100}) \cdot I_{но} =$ $= (\sqrt{2} \cdot 40/100) \cdot 20 = 11,2$
$B_{к.ном}, \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t =$ $= 4,99^2 \cdot 0,065 = 1,62$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 3 = 4800$
$I_{\Sigma}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\Sigma}^{(3)} = 4,99$	<	$I_{нс} = 31,5$
$i_{уд}, \text{кА}$	$i_{\Sigma\gamma\delta}^{(3)} = 13,01$	<	$i_{уд} = 51$

Так как все расчётные данные выключателя (таблица 12) меньше или равны паспортным данным выключателя, то выключатель Evolis 12P1 (Schneider Electric) подходит для установки в ячейки РУ-10 кВ.

5.2.3 Выбор разъединителей

В ячейках ввода на секции и в ячейках секционных выключателей к установке принимаются разъединители типа ЗР-10/20 (БЭМП).

Сравнение параметров приведём в таблице 13.

Таблица 13 - Расчет разъединителей 10 кВ

Технические показатели	Предполагаемые данные	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}$, кВ	$U_{ном} = 10$	=	$U_{ном} = 10$
I_n , А	770,2	<	$I_n = 2000$
$B_{к.ном}$, кА ² ·с	$B_k = 1,62$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$
I_{nc} , кА	$I_{\Sigma}^{(3)} = 4,99$	<	$I_{nc} = 40$
$i_{y\delta}$, кА	$i_{\Sigma y\delta}^{(3)} = 13,01$	<	$i_{y\delta} = 100$

5.2.4 Выбор и проверка измерительного ТТ

Принимаем к установке трансформаторы тока ТОЛ-НТЗ-10-3х630/5. В таблице 14 определим вторичную нагрузку измерительных трансформаторов тока, а в таблице 15 сравним параметры.

Так как все расчётные данные представленные в таблице 14 меньше или равны паспортным данным, то трансформатор тока ТОЛ-НТЗ-10-3х630/5 компании ООО «Невский трансформаторный завод «Волхов» подходит для установки в ячейки КРУ-10 кВ. Трансформаторы тока соединены в схему полная звезда.

Измерительные трансформаторы тока данного производителя, имеет ряд преимуществ:

- использование европейского компаунда;
- низкая стоимость;
- широкая номенклатура присоединительных размеров.

Таблица 14 – Определение величины вторичной нагрузки ТОЛ-НТЗ-10-3х630/5

№	Измерительный аппарат	Паспортные значения		
		А	В	С
1	Амперметр для измерения тока	0,5	–	–
2	Ваттметр для измерения мощности активной	0,5	–	0,5
3	Варметр для измерения мощности реактивной	0,5	–	0,5
4	Электрический счетчик (энергии активной)	2,5	2,5	–
	Мощность, В·А	4	2,5	1

Таблица 15 – Проверка выбранного измерительного ТТ

Технические показатели	Предполагаемые данные	Равенство	Данные из паспорта
$U_{ном}$, кВ	$U_{ном} = 10$	=	$U_{ном} = 10$
I_n , А	770,2	<	$I_n = 3 \cdot 630$
$B_{к.ном}$, кА \cdot с	$B_k = 1,62$	<	$B_{к.ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$
$i_{уд}$, кА	$i_{\Sigma уд}^{(3)} = 13,01$	<	$i_{уд} = 100$
$Z_{2ном}$, Ом	$Z_{2ном} = 1,2$	-	-
$R_{приб}$, Ом	$R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{4}{5^2} = 0,16$		-
R_{np} , Ом	$R_{np} \leq Z_{2ном} - R_{приб} - R_k$ $R_k = 0,1$ $R_{np} \leq 1,2 - 0,16 - 0,1 = 0,94$		-
s , мм ²	$s = \frac{\rho \cdot I_{np}}{R_{np}} = \frac{0,03 \cdot 50}{0,94} = 1,6$		1,6 \Rightarrow выбираем провода АКВВГ 2

5.2.5 Выбор и проверка измерительного ТН 10 кВ

В качестве трансформаторов напряжения в КРУ 10 кВ для двух секций примем трансформаторы напряжения типа ЗНОЛ.П-НТЗ-10 кВ.

В таблице 16 сравним параметры ТН.

Так как все расчётные данные меньше или равны паспортным данным, то выбранный трансформатор напряжения ЗНОЛ.П-НТЗ-10 кВ подходит для установки.

Таблица 16 - Проверка выбранного измерительного ТН

Технические показатели	Предполагаемые данные	Равенство	Данные из паспорта
Номинальное напряжение, кВ	$U_{ном} = 10$	=	$U_{ном} = 10$
Вторичная нагрузка, ВА	$S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} =$ $= \sqrt{15,5^2 + 5,0^2} = 16,3$	<	$S_{2\Sigma} = 200$

6 Выбор трансформаторов СН ПС «Чернуха»

Для питания нагрузок СН ГПП, в том числе устройств оперативного тока, расчет нагрузок собственных нужд представлен в таблице 17, предусмотрена установка трансформаторов собственных нужд мощностью 63 кВА каждый на напряжение 10/0,4 кВ.

Таблица 17 – Мощность потребителей СН ГПП «Чернуха»

Тип монтажной единицы	Тип оборудования	Количество оборудования, шт.	Постоянная нагрузка, кВт	Крат.нагрузка, кВт
Шкаф СОПТ	Зарядное устройство	2	$5 \times 2 = 10$	
Разъединитель 110кВ	Двигательный привод (для каждого ножа)	4		$1 \times 0,25 = 0,25$
	Обогрев привода (для каждого ножа)	10	$0,225 \times 10 = 2,25$	
Выключатель 110кВ	Пружинный привод	2		$1,1 \times 2 = 2,2$
	Обогрев шкафа	8	$0,5 \times 8 = 4$	
Шкафы Зажимов ОРУ-110кВ (ШЗВ+ЯЗН+ШУ)	Обогрев шкафа	5	$0,2 \times 5 = 1$	
Шкафы Зажимов ОРУ-110кВ (ШЗВ+ЯЗН+ШУ)	Освещение шкафа	5		$0,06 \times 1$
Наружное освещение ОРУ			5,4	
Вентиляция БМЗ Обогрев БМЗ, Рабочее освещение			30	
Шкаф ТМ			0,55	
Шкаф связи			0,55	
Сварочная сеть				4,5
Итого, кВт			53,75	7

Конструктивное выполнение шкафов собственных нужд:

- выполняются в виде сборных шкафов из оцинкованной стали одностороннего обслуживания;

- ЩСН-0,4 кВ изготавливаются шкафного типа стационарными автоматическими выключателями производства;

По способам подвода шин или кабелей реализуются все варианты. В щите реализуется система автоматического ввода резерва (АВР). При нарушении питания ТСН одной из секций (снижении или превышении установленного уровня напряжения, обрыве одной или нескольких фаз, обрыве нейтрального проводника) автоматика ЩСН осуществляет автоматический ввод резервного питания (АВР) по схеме явного или неявного резервирования.

В качестве дополнительной защиты от однофазных замыканий на землю в сети 0,4кВ предусматривается организация токовой защиты на трансформаторе тока нейтрального проводника ЩСН.

ЩСН имеет локальную микропроцессорную систему мониторинга и контроля, позволяющую производить интеграцию ЩСН по стандартному протоколу в АСУ ТП. Система позволяет считывать значения токов и напряжений на вводах и секциях ЩСН, положения автоматических выключателей, сигналы аварии и неисправности, а также управлять выключателями по командам АСУ.

Мощность при 3-ф повреждении на шинах 0,38 кВ равна:

$$S_{K3} = 0,001 \cdot S_H / (U_k / 100); \quad (23)$$

$$S_{K3} = 0,001 \cdot 63 / (4 / 100) = 1,6,$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора 63 кВА; U_k – напряжение короткого замыкания 4 %.

Тогда 3-х фазный ток КЗ будет равен:

$$I_{K3} = \frac{S_{K3}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \text{ (кА)} \quad (24)$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{1,6}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2,27 (\text{кА}),$$

где $S_{\text{кз}}$ - мощность короткого замыкания; $U_{\text{н}}$ - номинальное расчетное напряжение, 0,4.

Токи тепловых расцепителей автоматов ЩСН выбираются на 25-30% больше расчетного, в соответствии с стандартным рядом номинальных токов автоматов. Отключающая способность автоматов допускает протекание токов до 6кА.

7 Релейная защита и автоматика

7.1 Дифференциальная защита трансформатора

Защита силовых трансформаторов обеспечивается двумя комплектами микропроцессорных терминалов, в качестве основной защиты применяется дифференциальная защита (ДЗТ) в зону действия которой кроме силового трансформатора входит часть ошиновки с выключателем 110 кВ, реакторы 10 кВ и шинные мосты ввода секций шин 10 кВ.

В качестве резервной, применена максимально токовая защита (МТЗ) с пуском по напряжению, защита включена на трансформаторы тока со стороны питания, кроме резервирования основной защиты трансформатора, данная защита резервирует отказ защит от междуфазных КЗ секций 10 кВ.

Токовые цепи основной и резервной защиты включены на разные вторичные обмотки трансформаторов тока. Использование данной защиты позволяет обезопасить силовой трансформатор от всех видов коротких замыканий в баке, и выполняется, как двухканальная дифференциальная защита, содержащая чувствительное реле.

Данное реле имеет токозависимую характеристику с уставкой по начальному току срабатывания. Такая защита предназначена для обеспечения надежной работы средств РЗА при больших токах повреждения в зоне действия защиты.

Для отстройки ДЗТ от бросков токов намагничивания контролируется уровень второй гармоники в дифференциальном токе.

Резервная защита МТЗ на всех сторонах трансформатора выполняется в трехфазном исполнении и содержит:

- реле максимального тока, при этом МТЗ имеет две ступени;
- реле выдержки времени для действия на выключатель каждой из сторон трансформатора;

- пусковые органы по напряжению, реагирующие на уменьшение междуфазных напряжений и на увеличение напряжения обратной последовательности.

Кроме вышеперечисленного терминал основной защиты включает:

- защиту от перегрузки (ЗП),
- реле тока для блокировки РПН при перегрузке,
- токовые реле для пуска автоматики охлаждения,
- реле минимального напряжения сторон НН1 и НН2, реагирующие на понижение междуфазного напряжения для блокировки РПН,

-УРОВ выключателя ВН

-прием сигналов от сигнальной и отключающей ступеней газовой защиты и действие на отключение через группу отключающих реле трансформатора (ГЗТ), газовой защиты РПН трансформатора (ГЗ РПН), датчиков повышения температуры масла, понижения и повышения уровня масла, неисправности цепей охлаждения;

Основные защиты независимыми контактами выходных промежуточных реле действуют на:

- отключение выключателя стороны 110 кВ;
- на пуск УРОВ выключателей стороны 110 кВ;
- отключение выключателя стороны 10 кВ с запретом АПВ;
- в схему охлаждения (пуск обдува);
- на блокировку РПН при перегрузке.

Резервные защиты независимыми контактами выходных промежуточных реле действуют на:

- отключение выключателя стороны 110 кВ;
- на пуск УРОВ выключателей стороны 110 кВ;
- отключение выключателей стороны 10 кВ.

Дополнительно в токовых цепях защит предусматриваются испытательные блоки для обеспечения проверок и испытаний, а так же переключатели для оперативного ввода/вывода различных функций защиты.

Аппаратурой шкафа предусмотрено работа с двумя комплектами цепей газовой защиты трансформатора, каждый комплект запитаны от отдельных источников питания и имеет контроль изоляции, блокирующей работу защит и подающий сигнал о неисправности, что повышает надежность схемы управления, в цепях защиты предусмотрены переключатели режима работы защиты на сигнал или отключение.

Терминал резервной защиты позволяют выполнить автоматику управления выключателем (АУВ) которая содержит следующие устройства (узлы) и защиты:

- формирование команд на включение и отключение выключателей с обеспечением необходимой длительности импульсов включения и отключения для надежной работы выключателя;

- фиксацию отключения выключателя от защит и формирование сигналов пуска АПВ и аварийного отключения;

- защиту электромагнитов управления выключателей от длительного протекания тока сверх установленной длительности, выходной контакт защиты отключает независимый расцепитель автоматических выключателей электромагнитов управления;

- контроль исправности электромагнитов управления выключателей. Контроль цепей отключения по обоим электромагнитам отключения производится при включенном положении выключателя, цепей включения – при отключенном;

- блокировку управления, действующую при неисправности выключателя, при которой запрещается его включение и отключение;

- формирование сигнала об отключенном положении выключателя в схему резервных защит для автоматического ускорения защит.

- прием сигналов от газовой защиты трансформатора (ГЗТ);

- прием сигналов газовой защиты РПН трансформатора (ГЗ РПН).

Дискретными входами терминала обеспечивается контроль цепей питания привода выключателя, давления изолирующей среды в дугогасящих камерах выключателя и корпусах трансформаторов тока и напряжения 110 кВ.

Произведем расчет уставок защиты силового трансформатора ГПП 110/10 кВ «Чернуха».

7.1.1 На стороне: РУ-110 кВ

Для расчета величины тока срабатывания данной защиты, необходимо изначально узнать значения токов небаланса. Ток небаланса составляет сумму трёх составляющих, значения которых и определим:

Первая составляющая, тока небаланса характеризуется регулированием напряжения:

$$I_{нб\text{ }рег} = \frac{\Delta U_{рег}}{(1 - \Delta U_{рег})} \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (25)$$

$$I_{нб\text{ }рег} = \frac{0,16}{(1 - 0,16)} \cdot 10,04 = 1,91(\kappa A),$$

где $\Delta U_{рег}$ - диапазон регулирования напряжения первичной обмотки трансформатора, %.

Вторая составляющая, характеризуется погрешностью измерительных ТТ:

$$I_{нб\text{ }тт} = K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (26)$$

$$I_{нб\text{ }тт} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 10,04 = 2(\kappa A),$$

где $K_{пер}$ - показатель, учитывающий переходный режим; $K_{одн}$ - показатель однотипности измерительных ТТ; ε - полная погрешность измерительного ТТ.

Третья составляющая, характеризуется погрешностями преобразования аналого-цифрового преобразователя:

$$I_{нб\ f} = K_{ног} \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (27)$$

$$I_{нб\ f} = 0,02 \cdot 10,04 = 0,2(\kappa A),$$

где $K_{ног}$ - средний коэффициент погрешности.

Просуммируем составляющие и найдём ток небаланса:

$$I_{нб\Sigma} = I_{нб\ рез} + I_{нб\ тт} + I_{нб\ f}; \quad (28)$$

$$I_{нб\Sigma} = 1,91 + 2 + 0,2 = 4,11(\kappa A).$$

Ток срабатывания ДЗТ на стороне 110 кВ:

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot I_{нб\Sigma} = 1,1 \cdot 4,11 = 4,521(\kappa A),$$

где $K_{отс}$ - показатель отстройки, учитывающий ошибки расчётов, запас, погрешности реле.

7.1.2 На стороне: РУ-10 кВ

Аналогично расчётам на стороне ВН, определим величины составляющих токов небаланса.

Первая составляющая, характеризуется регулированием напряжения:

$$I_{нб\ рез} = \frac{\Delta U_{рез}}{(1 - \Delta U_{рез})} \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (29)$$

$$I_{нб\ рез} = \frac{0,16}{(1 - 0,16)} \cdot 4,99 = 0,95(\kappa A).$$

Вторая составляющая, характеризуется погрешностью ТТ:

$$I_{нб\ mт} = K_{пер} \cdot K_{одн} \cdot \varepsilon \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (30)$$

$$I_{нб\ mт} = 2 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4,99 = 0,99(\kappa A).$$

Третья составляющая, характеризуется погрешностями преобразования аналого-цифрового преобразователя:

$$I_{нб\ f} = K_{ноз} \cdot I_{\Sigma}^{(3)}; \quad (31)$$

$$I_{нб\ f} = 0,02 \cdot 4,99 = 0,1(\kappa A)$$

Просуммируем составляющие и найдём ток небаланса:

$$I_{нб\Sigma} = I_{нб\ рег} + I_{нб\ mт} + I_{нб\ f}; \quad (32)$$

$$I_{нб\Sigma} = 0,95 + 0,99 + 0,1 = 2,04(\kappa A)$$

Ток срабатывания ДЗТ на стороне НН:

$$I_{сз} \geq K_{отс} \cdot I_{нб\Sigma} = 1,1 \cdot 2,04 = 2,244(\kappa A).$$

Таким образом, получили уставки продольной ДЗТ силового трансформатора ТДН-10000/110/10.

7.2 Дуговая защита стороны 10 кВ

Локализация дуговых замыканий в отсеках шкафов РУ-10кВ предусматривается дуговой защитой с оптоволоконными датчиками (ВОД).

Питание дуговой защиты предусматривается отдельными кабельными линиями к автоматам СОПТ.

Дуговая защита (ДЗ) шинного моста и отсека выключателя ввода 10кВ секций действует на отключение выключателя трансформатора 110кВ с запретом АПВ. Срабатывание датчиков дуговой защиты отсеков сборных шин 10кВ, отсеков выключателей 10кВ а также всех отсеков камер трансформаторов напряжения и секционных разъединителей 10кВ действует на отключение выключателей вводов и секционных выключателей 10кВ. Работа пусковых органов ДЗ предусмотрена с контролем тока защищаемой секции.

ВОД, установленные в отсеках высоковольтных шкафов и имеющие практически круговую диаграмму направленности, фиксируют световую вспышку от электрической дуги и передают ее по оптическому волокну в блок детектирования света устройства.

При этом, устройство формирует дискретный сигнал на отключение высокого напряжения от распределительного устройства, тем самым, защищая оборудование от разрушения. В зоне действия электрической дуги находятся только пассивные компоненты (объектив ВОД и волоконно-оптический кабель), обладающие абсолютной невосприимчивостью к электромагнитным помехам.

Устройство использует радиальный принцип построения, когда каждый ВОД имеет свою зону наблюдения и ему присваивается свой номер. Применение такого принципа построения защиты позволяет быстро определить место повреждения и сделать более гибкой логику работы устройства совместно с РЗА.

7.3 Дифференциальная защита шин 10 кВ

Ток короткого замыкания на первой секции шин равен $I_{kmax} = 4,99 \text{ кА}$, $I_{нагр} = 770,2 \text{ А}$.

Определим ток небаланса:

$$I_{нб} = K_{АП} \cdot K_{одн} \cdot f_i \cdot I_{K/MAX} ; \quad (33)$$

$$I_{нб} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 4990 = 499 \text{ А}.$$

Первичный ток срабатывания защиты:

- из условия отстройки от тока нагрузки:

$$I_{C.3.1} = \frac{K_H}{K_B} \cdot I_{нагр}; \quad (34)$$

$$I_{C.3.1} = \frac{1,2}{0,96} \cdot 770,2 = 962,7 \text{ A.}$$

- из условия отстройки от тока небаланса:

$$I_{C3.2} = K_H \cdot I_{НБ}; \quad (35)$$

$$I_{C3.2} = 1,2 \cdot 499 = 598.$$

Принимаем ток срабатывания защиты $I_{с.з} = 967,2 \text{ A.}$

Тогда ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = \frac{I_{C3} \cdot K_{CX}}{n_T}; \quad (36)$$

$$I_{CP} = \frac{967,2 \cdot 1}{120} = 8,06.$$

Коэффициент чувствительности:

$$I_{ч.О} = 0,87 \cdot \frac{I_{k1min}}{I_{C.3.Y}}; \quad (37)$$

$$I_{ч.О} = 0,87 \cdot \frac{2300}{967,2} = 2,06.$$

Время срабатывания защиты принимаем равным 0 с.

8 Заземление периметра подстанции

Заземляющее устройство выполняется в соответствии с гл . 1.7 ПУЭ и СТО 56947007-29.130.15.114-2012. Защита силовых трансформаторов и остального оборудования подстанции от волн перенапряжений, проходящих с ВЛ, осуществляется согласно «Руководству по защите электрических сетей...» и 4.2.133 ПУЭ соответствующими ограничителями перенапряжений (ОПН). Количество и места установки ОПН выбраны согласно таблице 4.2.10 ПУЭ, исходя из количества линий, присоединяемых к ПС и длины защищаемого тросом подхода ВЛ с повышенным защитным уровнем. Расстояния от ОПН до защищаемого оборудования меньше наибольших допустимых расстояний, приведенных в таблице 4.2.10 ПУЭ с учетом примечаний в таблице.

Нейтрали обмоток 110 кВ силовых трансформаторов в процессе эксплуатации могут быть изолированы от заземляющего устройства подстанции, поэтому защищаются ограничителями напряжения.

В соответствии с гл. 1.7.88-99 ПУЭ заземляющее устройство подстанции рассчитано по норме на допустимое сопротивление и запроектировано в виде сетки из стальных горячеоцинкованных полос сечением 40х4 мм с вертикальными электродами из горячеоцинкованной угловой стали 50х50х5мм длиной 3м.

Площадка проектируемого строительства ПС -110/10 кВ по инженерно-геологическим условиям характеризуется следующими особенностями:

- спокойный рельеф поверхности;
- наличие в разрезе суглинков легких пылеватых твердых;
- подземные воды установились в левобережной части р.Чернуха на глубинах в зависимости от рельефа 4.6-5,1м с абсолютными отметками 468,5-468,7м БС. В сезонные паводки подъем уровня подземных вод достигает +0,5-1,0м, в катастрофические паводки - 1,5-2,0м.

Согласно геологическим изысканиям значения удельного электрического сопротивления варьируются от 9 до 62 Ом*м. К расчетам принимается значение удельного сопротивления грунта равным 80 Ом*м.

Заземляющее устройство ПС состоит из:

Контура заземления ПС

1. Заземлителей, изготовленных из горячеоцинкованной угловой равнополочной стали Ст 3, 50×50×5 мм в количестве 90 шт;
2. Магистралей заземления, выполненной из горячеоцинкованной стальной полосы 4×40 мм общей длиной 1000м.

Защита оборудования от прямых ударов молнии осуществляется при помощи отдельностоящего молниеотвода и молниеотводов, установленных на приемных порталах ВЛ 110 кВ. При этом соблюдаются соответствующие требования раздела «Защита от грозовых перенапряжений» ПУЭ. Согласно расчетам, высота отдельно стоящего молниеотвода получилась высотой равной 30,9м, к установке принимается молниеотвод типа МС-31.7 высотой 31,74м по типовой серии 3.407.9-172 вып.1 лист 4. Сопротивление ЗУ принято 0,5 Ом.

Расположение заземлителей на территории подстанции представлена на рисунке 8.

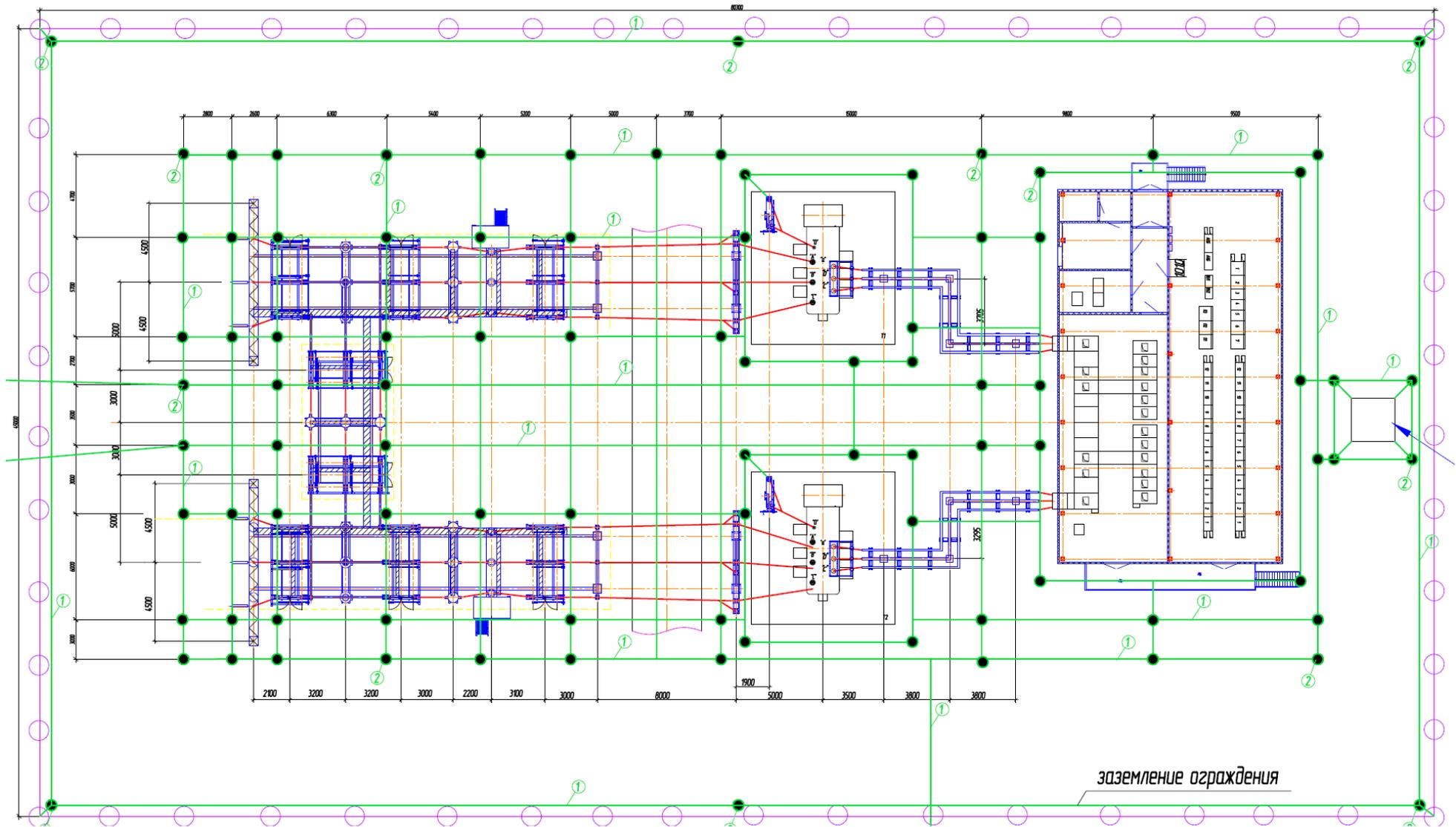


Рисунок 8 - План заземления ПС «Чернуха»

9 Система АСКУЭ ПС «Чернуха»

Проектом предусмотрен шкаф УСПД МС-240 предназначенный для размещения УСПД серии RTU-327L, источника питания, терминального модема сотовой связи, устройство синхронизации системного времени, многотарифных счетчиков Альфа А1805 и другого оборудования. Шкаф МС-240 принят напольной установки, устанавливается в здании ОПУ.

Для реализации АИСКУЭ на подстанции применяется УСПД (устройство сбора и передачи данных) серии RTU-327L. Устройство сбора и передачи данным предназначено для построения на его основе цифровых, пространственно распределительных и многофункциональных автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии и мощности (АСКУЭ). УСПД обеспечивает сбор, обработку, накопление, хранение и отображение данных с электросчетчиков. УСПД выполняет преобразование данных по электрической энергии и мощности, полученных со счётчиков, в именованные физические величины. УСПД выполняет объединение измерений, полученных со счетчиков, в групповые измерения, определяемые пользователем при параметризации УСПД. Устройство производит учет потребленной и выданной активной и реактивной энергии за расчетный период для счетчиков и групп суммарно и по тарифным зонам. УСПД сохраняет считанные со счетчиков и рассчитанные значения по точкам учета и группам в энергонезависимой памяти.

Устройство синхронизации системного времени УССВ-2.01 предназначено для приема эталонных сигналов даты и времени, а также шкалы времени от глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС/GPS и передачи этих данных через последовательные интерфейсы RS-485, RS-232 и USB в автоматизированные информационно-измерительные системы (АИИС), ЭВМ, для установки или корректировки текущих значений времени и даты в формате пакета GPRMC, в нашем случае для передачи в УСПД серии RTU-327L.

В проекте предусматриваются многотарифные счетчики Альфа 1805 RALP4-GB-DW-4 трансформаторного включения класса точности 0,5, измеряющие активную и реактивную энергию в двух направлениях. Счетчики устанавливаются в шкафу МС-240 и в ячейках отходящих линий здания ОПУ. От УСПД серии RTU-327L счетчики последовательно соединяются между собой цифровым интерфейсом RS485. Для защиты линий RS485 предусмотрены модули защиты линий от перенапряжения.

С помощью программного обеспечения ПО Альфа-Центр отстраивается работа системы АИИС КУЭ. На рисунке 9 представлена принципиальная схема подключения измерительных приборов.

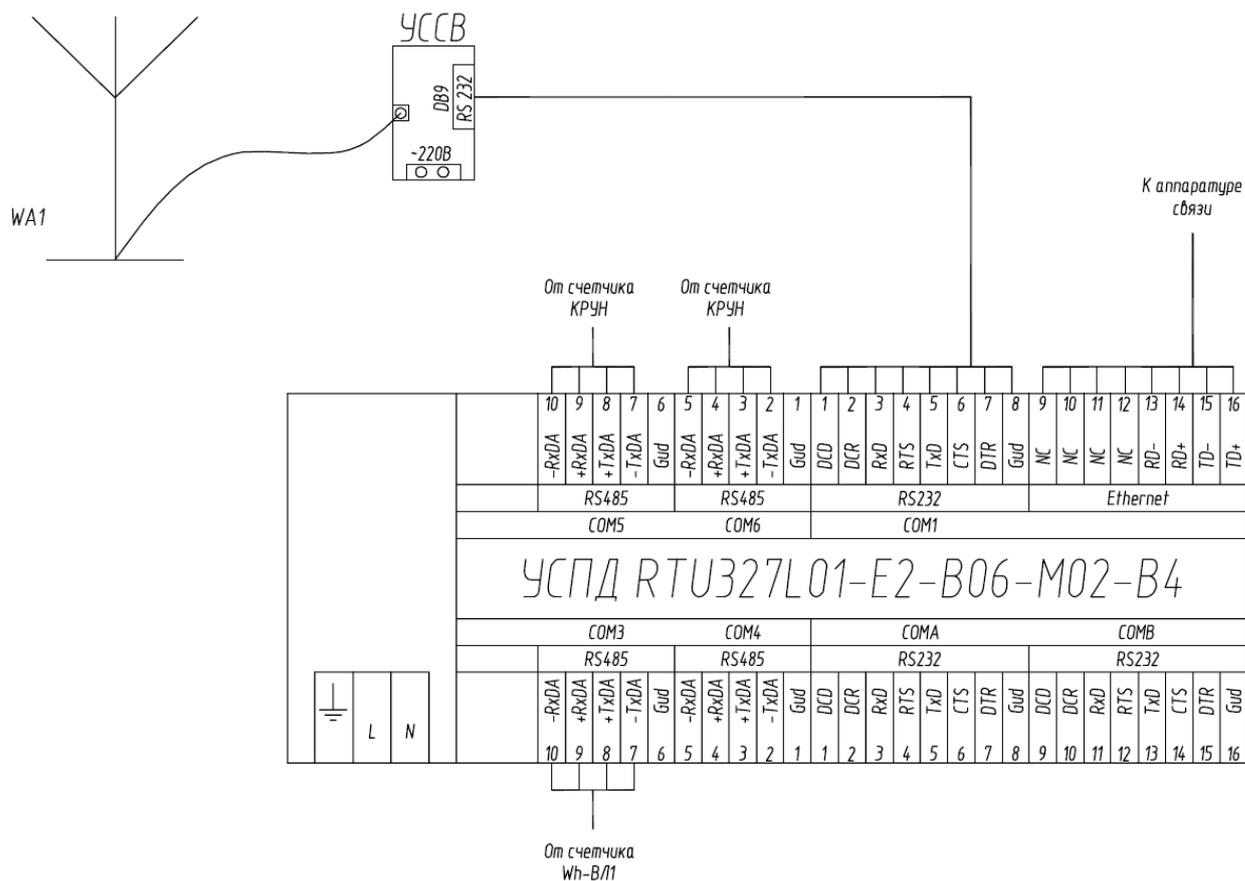


Рисунок 9 – Принципиальная схема подключения

Заключение

В выпускной квалификационной работе выполнено проектирование понизительной подстанции 110/10 кВ «Чернуха» Республика Бурятия.

Согласно полученным данным при определении электрических нагрузок были выбраны трансформаторы мощностью 10 МВА типа ТДН-10000/110/10.

Согласно нормативным документам и проделанным расчетам к установке было принято следующее оборудование:

- на стороне 110 кВ: вакуумный выключатель марки LTB145D1/B; трансформаторы тока TG; ограничители перенапряжения типа ОПНН-110/85-У1; разъединители марки SGF 123n П*-100УХЛ1+2Е;

- на стороне 10 кВ: были выбраны ячейки КРУ типа КРУ «Клен» для установки в ЗРУ – 6 кВ со следующим оборудованием: вакуумный выключатель Evolis 12P1 (Schneider Electric); трансформатор тока ТОЛ – НТЗ - 10; трансформатор напряжения ЗНОЛ.П-НТЗ – 10 кВ.

Основные технические решения используемые при проектировании ГПП «Чернуха», соответствуют всем современным нормам и требованиям.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 104 с.
2. Ополева, Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Учебное пособие/ Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. - 416 с.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования /ред. Б.Н. Неклепаев. М.: НЦ ЭНАС, 2013. – 144 с.
4. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ [Электронный ресурс]/ — Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2012.— 108 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22738.html>.— ЭБС «IPRbooks»
5. Титков, В.В. Перенапряжения и молниезащита. Учебное пособие / В.В. Титков, Ф.Х Халилов. - Лань, 2016. – 224 с.
6. Сибикин, Ю.Д. Электрические подстанции. Учебное пособие / Ю.Д Сибикин. – РадиоСофт, 2014. – 416 с.
7. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Старшинов В.А., Пираторов М.В., Козина М.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 296 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/42262.html>.— ЭБС «IPRbooks»
8. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев. – Энергия, 2013. – 304 с.
9. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. / Б.И. Кудрин. - М. : Academia, 2012. - 352 с.
10. Кузнецов С.М. Проектирование тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный

технический университет, 2013.— 92 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45148.html>.— ЭБС «IPRbooks»

11. Кузнецов С.М. Электронная защита от токов короткого замыкания и автоматика в распределительных устройствах 6-10 кВ тяговых и трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Кузнецов С.М.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010.— 104 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45456.html>.— ЭБС «IPRbooks»

12. Коломиец Н.В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Коломиец Н.В., Пономарчук Н.Р., Елгина Г.А.— Электрон. текстовые данные.— Томск: Томский политехнический университет, 2015.— 72 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55206.html>.— ЭБС «IPRbooks»

13. Короткие замыкания и выбор электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов/ И.П. Крючков [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2012.— 568 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/33170.html>.— ЭБС «IPRbooks»

14. Электрические станции и сети [Электронный ресурс]: сборник нормативных документов/ — Электрон. текстовые данные.— М.: ЭНАС, 2013.— 720 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17820.html>.— ЭБС «IPRbooks».

15. Электроснабжение. Расчет токов короткого замыкания [Электронный ресурс]: методические указания к практическим и курсовой работам/ — Электрон. текстовые данные.— Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014.— 47 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55184.html>.— ЭБС «IPRbooks»

16. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем [Электронный ресурс]: учебник/ Филиппова Т.А.— Электрон. текстовые данные.— Новосибирск: Новосибирский

государственный технический университет, 2014.— 294 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45211.html>.— ЭБС «IPRbooks»

17. Коннов А.А. Электрооборудование жилых зданий [Электронный ресурс]/ Коннов А.А.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Профобразование, 2017.— 254 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/63811.html>.— ЭБС «IPRbooks»

18. Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ [Электронный ресурс]: учебно-справочное пособие для вузов/ Крючков И.П., Пираторов М.В., Старшинов В.А.— Электрон. текстовые данные.— М.: Издательский дом МЭИ, 2015.— 142 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/57019.html>.— ЭБС «IPRbooks»

19. Analysis of Power Transformer Insulation Design Using FEM [Электронный ресурс] / Tathagat Chakraborty, Akik Biswas, Sudha R. – Режим доступа : <http://www.ijscce.org/attachments/File/v2i3/C067305231..>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

20. Single phase AC-DC power factor corrected converter with high frequency isolation using buck converter [Электронный ресурс] / R. Ramesh, U. Subathra, M. Ananthi – Режим доступа: http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version%206/M43067982.pdf., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

21. Wireless Power Transfer [Электронный ресурс] / Abhijeet Orke, Arvind Rathod, Monali Waghmare, Vishakha Sahane, Pravin Sagoriya, – Режим доступа : http://www.ijera.com/papers/Vol4_issue3/Version%206/M43067982.pdf., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

22. Improving Power System Transient Stability with Static Synchronous Series Compensator [Электронный ресурс] / Prechanon Kumkratug – Режим доступа : <http://thescipub.com/PDF/ajassp.2011.77.81.pdf>., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).

23. High-Power Transformer-Less Wind Energy Conversion System with Permanent Magnet Wind Generator [Электронный ресурс] / M. Ranjith Kumar, D. Kumaraswamy – Режим доступа : <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archives-2014/September-2014/35.pdf>., свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 17.05.2017).
24. Wadhva, C. L. Electrical power systems (7th ed.)/ C. L. Wadhva – 7th ed - New Age International Publishers, 2016. – 970 p.
25. Rajput, Er. R.K. A Textbook of Power System Engineering / Er. R.K. Rajput – 2 ed - Laxmi Publications, 2015. – 1174 p.
26. Gowda, H.N.S. Power Transformers Technology and Practice / H.N.S. Gowda, P. Ramachandran - HNS Gowda, 2014. – 826 p.
27. Padilla, E. Substation Automation Systems: Design and Implementation / E. Padilla - Wiley-Blackwell, 2015. – 304 p.
28. Koch, H. J. Gas Insulated Substations / H. J. Koch - Wiley-Blackwell, 2014. – 490 p.