

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 Реконструкция ОРУ-220 кВ ПС «Кемпирсай»

Обучающийся

В. В. Лайс

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к. т. н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе проведена реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима открытого распределительного устройства 220 кВ (далее – ОРУ 220 кВ) на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», осуществлённая путём ввода дополнительных транзитных линий 220 кВ, приводящая к расширению ОРУ 220 кВ данного объекта. Для достижения поставленной цели, в работе решены следующие задачи:

- описан объект реконструкции, проведён анализ схемы первичных соединений ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»;
- разработаны рекомендации по проведению реконструкции ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»;
- для обоснования рекомендаций по проведению реконструкции ОРУ 220 кВ на подстанции, проведён анализ нагрузки подстанции, проверены силовые автотрансформаторы подстанции на перегрузочную способность;
- рассчитаны токи короткого замыкания на подстанции;
- выбраны новые электрические аппараты и проводники в ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» после её реконструкции;
- выбраны основные устройства релейной защиты и автоматики для применения на ОРУ 220 кВ объекта, рассчитаны, выбраны и проверены уставки релейной защиты и автоматики основного оборудования, автотрансформаторов и системных линий в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и на подстанции в целом;
- проведён расчёт заземления и молниезащиты ОРУ 220 кВ подстанции.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции главной электрической схемы нормального режима открытого распределительного устройства напряжением 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению подстанции	7
1.1 Исходная характеристика ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	7
1.2 Обоснование технических решений по реконструкции ОРУ 220 кВ на основе требований к схемам трансформаторных подстанций	16
2 Техническая реализация реконструкции ОРУ 220 кВ подстанции	22
2.1 Расчёт электрических нагрузок подстанции	22
2.2 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов	27
2.3 Расчёт токов короткого замыкания	30
2.4 Выбор и расчёт проводников ОРУ 220 кВ	40
2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов ОРУ 220 кВ	45
3 Расчёт релейной защиты и автоматика, молниезащиты и заземления ОРУ 220 кВ реконструируемой подстанции	52
3.1 Выбор типов защит основного оборудования	52
3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции.....	53
3.3 Расчёт уставок релейной защиты линий ОРУ 220 кВ подстанции	57
3.4 Расчёт заземления ОРУ 220 кВ.....	60
3.5 Расчёт молниезащиты ОРУ 220 кВ	65
Заключение	68
Список используемых источников.....	71

Введение

Известно, что развитие энергетической системы стран является одним из основных критериев экономического и технического развития потенциала. С развитием промышленности увеличиваются потребляемые мощности, растут нагрузки потребителей, что сказывается на генерации, передаче и потреблении электрической энергии.

Такая связь является важнейшей составляющей современного научно-технического прогресса.

Известно, что система электроснабжения Российской Федерации сегодня носит централизованный характер. Такая система хороша тем, что обеспечивает значительный резерв мощности и бесперебойное питание потребителей от многих источников энергосистемы. Определённо, что в традиционной энергетике электроэнергия вырабатывается турбогенераторами на атомных и тепловых электростанциях, а также гидрогенераторами на гидроэлектростанциях. Для передачи электроэнергии на большие расстояния, с учётом весьма значительных мощностей и потерь электроэнергии, на выходе из электростанций находятся повышающие трансформаторы, после которых посредством линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, согласно традиционной схеме, получает питание сеть понижающих питающих подстанций (1150-220 кВ), которые, в свою очередь, далее питают потребительские подстанции на номинальном напряжении 110-0,4 кВ.

Одна из таких понизительных подстанций ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» детально рассматривается в данной работе, в связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ на данном объекте.

Очевидно, что основными составляющими современных понижающих трансформаторных подстанций является совокупность силовых трансформаторов и распределительных устройств. Именно благодаря их слаженной работе обеспечиваются условия надёжности, электробезопасности, быстродействия и селективности (избирательности). Фактически, такими

показателями обладают современные разработки электрических аппаратов, активно внедряющихся в последнее время для применения в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов и классов напряжения. Таким образом, установлено, что применение современных электрических аппаратов в распределительных устройствах трансформаторных подстанций энергосистемы всех типов создаёт необходимые условия для обеспечения нормальной и надёжной работоспособности не только самой подстанции, но и всей электрической сети и, как результат, - всей энергосистемы в целом.

Поэтому реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования современных трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы всех типов является актуальным заданием современной электроэнергетики.

Основной целью данной работы является реконструкция схемы главных электрических соединений нормального режима открытого распределительного устройства 220 кВ (далее – ОРУ 220 кВ) на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», осуществлённая путём ввода дополнительных транзитных линий 220 кВ, приводящая к расширению ОРУ 220 кВ данного объекта.

В связи с этим, определено, что объектом исследования в работе является схема главных электрических соединений нормального режима ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», а также непосредственно данная подстанция в целом.

Таким образом, с учётом основной цели работы, а также объекта исследования, исходя из задания на работу, установлено, что предметом исследования в работе являются проводники и электрические аппараты, а также устройства вторичных цепей (релейная защита и автоматика) распределительного устройства 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай». При этом также дополнительным предметом исследования в работе являются понизительные трансформаторы всей подстанции, которые проверяются по

условиям допустимой аварийной перегрузки в связи с реконструкцией ОРУ 220 кВ на объекте.

Актуальность работы обусловлена необходимостью реконструкции схем главных электрических соединений нормального режима понизительных подстанций и электростанций, с целью обеспечения бесперебойного, надёжного и качественного электроснабжения потребителей, а также надёжных условий транзита мощности и расширения распределительных устройств подстанций всех типов с модернизацией оборудования [1,5].

Для достижения поставленной цели, в работе необходимо решить следующие основные задачи:

- описать объект реконструкции, проведён анализ схемы первичных соединений ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»;
- разработать рекомендации по проведению реконструкции ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»;
- провести анализ нагрузки подстанции, проверить силовые автотрансформаторы подстанции на перегрузочную способность;
- рассчитать токи короткого замыкания на подстанции;
- выбраны новые электрические аппараты и проводники в ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» после её реконструкции;
- выбрать основные устройства релейной защиты и автоматики для применения на ОРУ 220 кВ объекта, рассчитать, выбрать и проверить уставки релейной защиты и автоматики основного оборудования, автотрансформаторов и системных линий в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и на подстанции в целом;
- провести расчёт заземления и молниезащиты подстанции.

Результатом работы является разработка, проверка и реализация технических решений, позволяющих внедрить качественные мероприятия по реконструкции главной электрической схемы нормального режима ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

1 Анализ исходных данных по электроснабжению подстанции

1.1 Исходная характеристика ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Приводится исходная характеристика схемы электрических соединений и оборудования подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Рассматриваемая в работе ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» является одной из потребительских подстанций АО «КЕГОС», подразделения «Актюбинские МЭС», обеспечивая электроснабжение промышленных, бытовых и коммунальных потребителей электроэнергии. ПС «Кемпирсай» имеет исключительную важность в районе, так как на подстанции имеются ячейки, отвечающие за распределение энергии между такими потребителями как «Донское», «Восход» и прочие, входящие в состав горно-обогатительного комбината.

Данная подстанция ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС» была введена в работу в 1960 году и с тех пор неоднократно расширялась и модернизировалась.

По месту расположения в энергосистеме, ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» является узловой подстанцией регионального значения, получающей питание от двух независимых источников электроэнергии, так как от неё питаются потребители 1 и 2 категорий надёжности, следовательно, на данном объекте в силу приведённых обстоятельств требуется обеспечить надёжность схемных решений [7].

Конструктивный тип подстанции: открытый. Вид обслуживания: постоянный дежурный персонал. Район климатических условий: по ветру - 45м/с, по гололеду - 30мм. Связь на подстанции – высокочастотная проводная, а также спутниковая и телефонная.

Питание ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС» осуществляется от двух независимых источников питания напряжением 220 кВ:

- ввод 1 – от РУ-220 кВ ПС-220/110/35/10 кВ «Орск» (применяется ВЛ-220 кВ с проводом марки АС-300) – основное питание;
- ввод 2 – от РУ-220 кВ ПС-220/110/10 кВ «Акжар» (применяется ВЛ-220 кВ с проводом марки АС-300) – резервное питание.

Таким образом, в схеме внешнего электроснабжения рассматриваемой в работе ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС», обеспечен необходимый и достаточный уровень резервирования внешней системы электроснабжения, достаточный для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности согласно требованиям [10].

Расположение рассматриваемой в работе ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС» на плане местности, представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Расположение ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС» на плане местности

Также необходимо провести детальный анализ структурной схемы объекта. На рассматриваемом в работе объекте ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС», находятся следующие основные конструктивные составляющие, показанные на структурной схеме подстанции (рисунок 3).

Таким образом, в структурной схеме ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «КЕГОС», можно выделить такие основные составляющие:

- распределительные устройства – четыре единицы (по числу номинальных напряжений и обмоток трансформаторов): 220 кВ, 110 кВ, 35 кВ и 6 кВ;
- силовые трансформаторы (две единицы марки ТРДНС-10000/35 – 35/6 кВ) и автотрансформаторы (две единицы марки АДЦТН-63000/220)-220/110/35 кВ, с ВДТ-1 и ВДТ-2;
- потребители (на напряжениях 110 кВ, 35 кВ и 6 кВ).

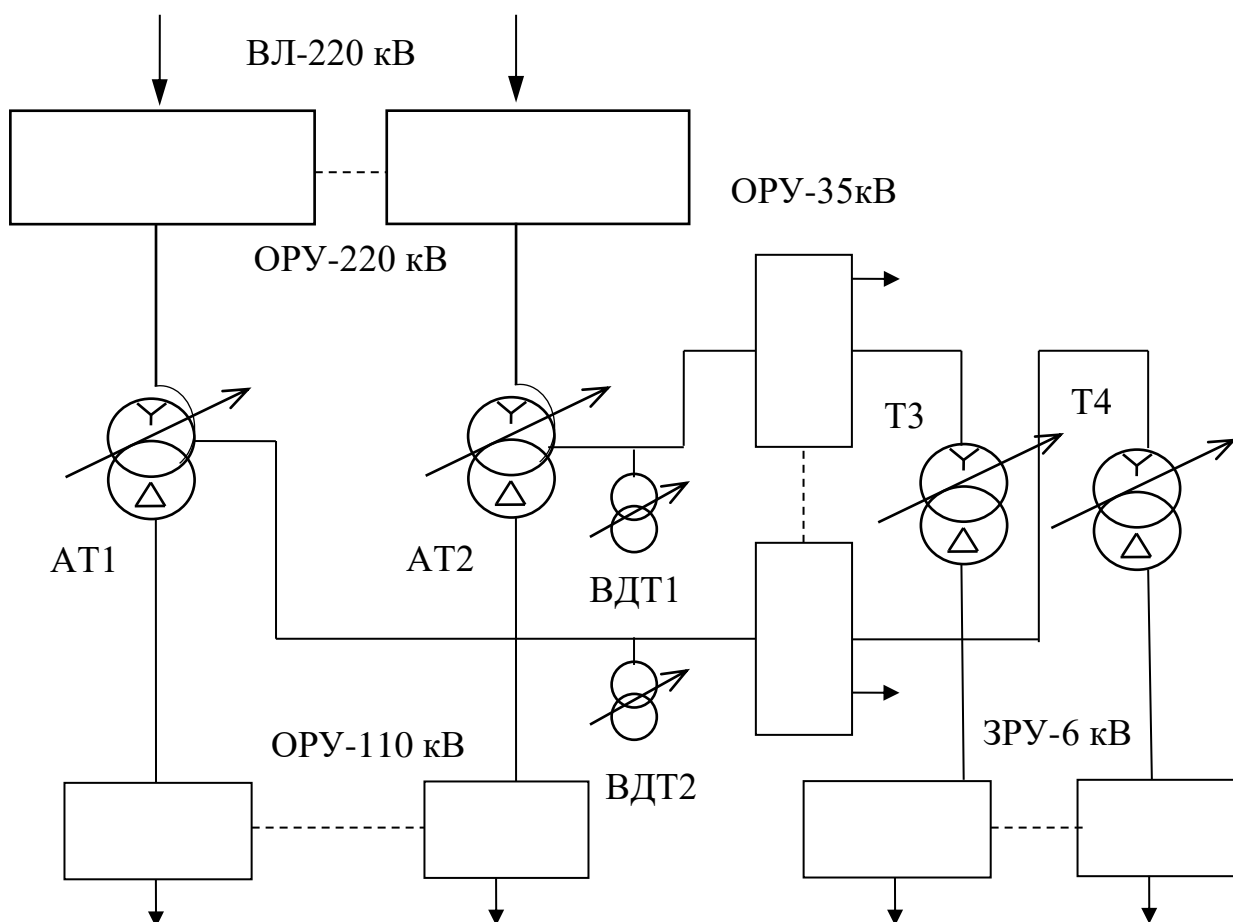


Рисунок 3 – Структурная схема ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Первым основным конструктивным элементом ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» является распределительное устройство высшего напряжения (ОРУ 220 кВ). Оно необходимо для приёма и распределения электроэнергии на силовые трансформаторы подстанции с защитой и коммутацией электрической сети 220 кВ данной подстанции.

Установлено, что в исходной схеме соединений нормального режима ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» применяется схема «Две рабочих систем сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин».

Такая схема гораздо более надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в ОРУ 220 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей.

Известно, что данная схема ОРУ 220 кВ обеспечивает бесперебойное питание потребителей при выводе в ремонт оборудования одновременно с двух секций сборных шин 220 кВ, либо при аварийном режиме на двух секциях сборных шин 220 кВ одновременно. Таким образом, будет сохранена надёжность и работоспособность схемы и потребители смогут получить нужное количество электроэнергии. Также обходная секция сборных шин ОРУ 220 кВ используется при транзите мощности, позволяя контролировать и распределять электроэнергию по требуемым направлениям.

В исходной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», установлено следующее основное силовое оборудование, показанное на графическом листе 1.

Так как ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» является объектом реконструкции в работе, следовательно, всё оборудование необходимо рассмотреть детально.

Техническая характеристика высоковольтных выключателей, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень и техническая характеристика высоковольтных выключателей, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Диспетчерское наименование	Тип	Дата ввода в эксплуатацию	Ток раб., кА	Отключающая способность			Высота выключателя, мм
				Эл.дин. стойк., кА	Ном. ток откл., кА	Ток терм. уст., кА	
МВ-220 Орск	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400
МВ-220 Актюбинск	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400
1 СШ-ШОВ-220	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400
2 СШ-ШОВ-220	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400
МВ-220 1АТ-63 кВ	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400
МВ-220 2АТ-63 кВ	У-220-2000-25У1	1985	2	64	25	25	7400

Техническая характеристика разъединителей, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень и техническая характеристика разъединителей, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Место установки	Тип	Дата ввода в эксплуатацию
ОРУ-220кВ яч. №8 ВЛ-220кВ «Орск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №8 ВЛ-220кВ «Орск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №8 ВЛ-220кВ «Орск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №7 ВЛ-220кВ «Актюбинск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №7 ВЛ-220кВ «Актюбинск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №7 ВЛ-220кВ «Актюбинск»	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №6 ШОВ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №6 ШОВ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №6 ШОВ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №5 2АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №5 2АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №5 2АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №4 РП-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №4 РП-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №3 1АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №3 1АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №3 1АТ-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №6 1ТН-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.
ОРУ-220кВ яч. №4 2ТН-220кВ	РНДЗ-16-220/1000	1.10.97г.

Перечень и техническая характеристика трансформаторов напряжения, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень и техническая характеристика трансформаторов напряжения, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Место установки	Тип	Коэффициент трансформации	Мощность, ВА	Дата ввода в эксплуатацию
ОРУ-220 Яч. № 8 (Орск)	НКФ-220-58-У1 (3 шт.)	$\frac{220000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$	max – 2000 min – 1200	2003
ОРУ-220 яч. №7 (Актюбинск)	НКФ-220-58-У1 (3 шт.)	$\frac{220000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$ $\frac{150000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$	max – 2000 min – 1200	2003
ОРУ-220 Яч. №6 (ОСШ)	НКФ-220-58-У1 (1 шт.)	$\frac{220000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$	max – 2000 min – 1200	2003
ОРУ-220 Яч. №6 ТН-220 1СШ-220	НКФ-220-58-У1 (3 шт.)	$\frac{220000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$	max – 2000 min – 1200	2003
ОРУ-220 яч. №4 ТН-220 2СШ-220	НКФ-220-58-У1 (3 шт.)	$\frac{220000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / 100$	max – 2000 min – 1200	2003

Так как выключатели 220 кВ, установленные в ОРУ 220 кВ, выполнены со встроенными трансформаторами тока, необходимости их установки в схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ подстанции, нет.

Таким образом, в результате проведения анализа оборудования ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», было установлено, что со всего основного силового оборудования требует замены только масляные баковые выключатели, которые устарели, выработали свой технический ресурс.

Поэтому они ненадёжны и требуют замены на современные модификации выключателей, которые необходимо выбрать и обосновать в работе далее.

Проводится далее краткий анализ остальных основных элементов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Из силовых трансформаторов и автотрансформаторов, на подстанции находятся такие типы (таблица 4):

- 2 АТ – автотрансформатора мощностью 63МВА;
- 2 ВДТ – вольтодобавочных трансформатора мощностью 63МВА;
- 2 силовых трансформатора (35/6кВ) мощностью 10МВА;
- 2 ТСН – трансформатора собственных нужд 400 кВА.

Таблица 4 – Перечень и техническая характеристика трансформаторов и автотрансформаторов, установленных в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Место установки, диспетчерское наименование	Тип	Коэффициент трансформации и группа соединения.	Дата ввода в эксплуатацию
1 АТ-63	АТДЦТН-63000/220/110 - 78У1.230/121/38,5 кВ	Ун.авто / Д - 0 -11	1984
2 АТ-63	АТДТГН-63000/220/110 - 78У1.230/121/38,5 кВ	Ун.авто / Д-12 -11	2005
1 ВДТ	ЛТДН – 63000/35	-	1984
2 ВДТ	ЛТДН – 63000/35	-	1984
3 Т	ТДНС-10000/35-74У1	УН / Д - 11	1978
4 Т	ТДНС-10000/35-74У1	УН / Д - 11	1978
1 ТСН	ТМ-400/6-66У1	-	1981
2 ТСН	ТМ-400/6-66У1	-	1981

В ОРУ 110 кВ применяется схема «Две рабочих систем сборных шин, секционированных выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема надёжная, обеспечивая все необходимые условия и требования нормативных документов. Обходная система сборных шин в ОРУ 110 кВ применяется для ремонта одной из рабочих секций сборных шин, без отключения потребителей.

В ОРУ 110 кВ установлено следующее оборудование: высоковольтные выключатели ЗАР 1 FG (изготовитель – Siemens), разъединители S1-145 F1 (изготовитель – Areva), трансформаторы напряжения ССВ-123 (изготовитель – ALSTOM), трансформаторы тока СТН-123(AREVA). Всё оборудование,

установленное в ОРУ 110 кВ – новое и современное, оно не нуждается в замене.

В ОРУ 35 кВ применяется схема «Одна рабочая система сборных шин, секционируемых выключателем, с применением обходной системы сборных шин». Такая схема надёжная и может быть использована для питания потребителей ОРУ 35 кВ. В ОРУ 35 кВ установлено следующее оборудование: высоковольтные выключатели ВГБЭ-35-12,5/630 УХЛ (изготовитель – ВПО «Энергомаш»), разъединители РЛНД-1-35/600, трансформаторы напряжения НОМ 35-66 У1, трансформаторы тока СТН-38(AREVA). Всё оборудование, установленное в ОРУ 35 кВ – новое и современное, оно не нуждается в замене.

Исходная схема электрических соединений ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» до проведения её реконструкции схемы первичных соединений и модернизации оборудования, приведена в работе на графическом листе 1.

Следующим основным элементом ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» является распределительное устройство низшего напряжения РУ-6 кВ (РУ НН). В исходной схеме РУ-6 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» применяется схема «Две рабочие секционированные выключателем системы шин» [7] с установленным секционным выключателем высокого напряжения между секциями сборных шин (в нормальном режиме работы отключён). При этом, с целью создания требуемого резерва в системе, в РУ-6 кВ применяется раздельная работа двух рабочих секций сборных шин: часть потребителей подключена и питается от одной секции сборных шин (блок «линия – трансформатор Т1»), часть – от второй (блок «линия – трансформатор Т2»). Секционный выключатель в нормальном режиме работы отключён, обеспечивая раздельный режим работы всей системы РУ-6 кВ.

В РУ-6 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», установлено следующее основное силовое оборудование в виде выключателей марки ВР-6-20/630(1600) У1 – всего в схеме предусмотрено два вводных выключателя (в нормальном режиме оперативной схемы включены), один секционный

выключатель (в нормальном режиме оперативной схемы отключён), а также линейные выключатели по числу отходящих линий. Так как РУ-6 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» конструктивно выполнено в виде закрытого распределительного устройства с применением комплектных ячеек (далее КРУ), то разъединители в его схеме не устанавливаются, так как они заменены на втычные контакты ячеек. Кроме основного силового оборудования, в РУ-6 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», также установлено следующее современное оборудование для питания вторичных цепей и защиты от атмосферных перенапряжений, также не нуждающееся в модернизации:

- измерительные трансформаторы тока марки ТОЛ-10-630(1600)/5 У1;
- измерительные трансформатор напряжения марки ЗНОЛ.06-10 У3;
- ограничители перенапряжения марки ОПН-10/11,5/10/400 УХЛ1 (только для защиты ТН);
- предохранители для защиты ТН марки ПКТ-101-10-У3.

Все элементы подстанции показаны на графическом листе 1.

1.2 Обоснование технических решений по реконструкции ОРУ 220 кВ на основе требований к схемам трансформаторных подстанций

Обоснование технических решений по реконструкции ОРУ 220 кВ проводится на основе требований к схемам трансформаторных подстанций.

Для разработки качественного проекта реконструкции схемы электрических соединений ОРУ 220 кВ с учётом модернизации оборудования распределительных устройств ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», необходимо провести аналитический обзор основных требований, предъявляемых к трансформаторным подстанциям систем электроснабжения нормативными положениями документов и законов.

Трансформаторные подстанции состоят из трёх основных компонент, в каждой из которых должны соблюдаться условия надёжности и экономичности при передаче электроэнергии потребителям.

Понизительные подстанции являются важнейшим звеном при передаче и распределении электроэнергии при использовании «классической схемы» распределения электроэнергии в энергосистеме.

Они являются связующим звеном при передаче электроэнергии между источником её производства и потребителями.

«Основные нормы и требования, которые предъявляются к схемам и оборудованию трансформаторных подстанций энергосистем, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований» [3]:

- условия надёжности и бесперебойности питания потребителей соответствующих категорий;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах ПС);
- автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;

- применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, электроснабжением подстанций.

Известно, что питание потребителей подстанций, а также и их самих, от энергосистемы, осуществляется в зависимости от категории надёжности объекта (потребителя) по классификации [11], представленной в работе на рисунке 4.

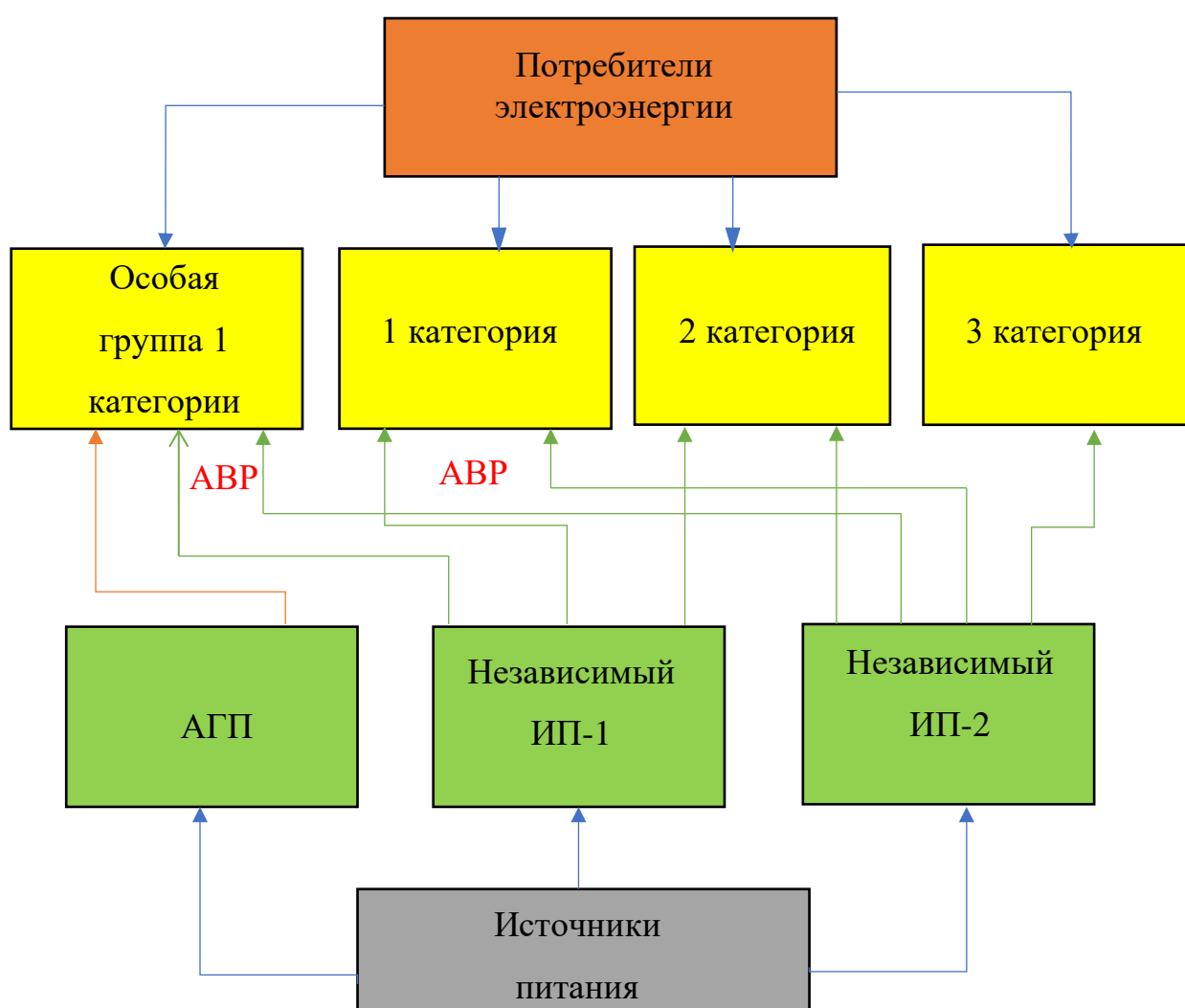


Рисунок 4 – Классификация потребителей трансформаторных подстанций по категории надёжности и требования к их источникам питания и резерву

При этом принципы резервирования потребителей в зависимости от категории надёжности, иллюстрируется в виде требуемых схем, представленных в нормативно-справочной литературе [3, 6].

Принципы резервирования потребителей в зависимости от категории надёжности основаны на обеспечении каждого потребителя минимально необходимым числом источников питания.

Для 1 и 2 категории их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника.

При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника. Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания.

При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время не автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [7].

Принцип резервирования в схеме питания потребителей соответствующей категории надёжности должен быть внедрён в принципиальной однолинейной схеме на объекте исследования согласно [10].

Также для выбора электрооборудования распределительных устройств трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы рекомендовано использовать фактические показания максимальной нагрузки с целью уменьшения погрешности расчётов.

Кроме того, к установке в распределительных устройствах трансформаторных подстанций и электростанций энергосистемы в последние годы рекомендованы новейшие разработки коммутационной и защитной аппаратуры, имеющие повышенные показатели надёжности, экономичности, запаса ресурса и безопасности.

Также при разработке схемных решений следует учесть критерии по электробезопасности. В таких случаях используются только изолированные проводники (кабельные линии, провода СИП и другие аналогичные разработки проводникового материала). Также в закрытых РУ в последнее время применяется изолированная ошиновка.

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по реконструкции объекта в работе далее.

Таким образом, в результате проведения анализа, установлено, что исходная схема нормального режима ОРУ 220 кВ и все остальные схемы РУ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» полностью соответствуют требованиям и нормам для питания потребителей 1 и 2 категории надёжности [7].

Однако, в связи с вводом в эксплуатацию двух транзитных линий в ОРУ 220 кВ требуется расширение ОРУ 220 кВ, предусматривающее установку также новых ячеек с блоками «разъединитель – выключатель».

При этом по требованиям [7], каждая из транзитных линий 220 кВ, вводимая в эксплуатацию, должна быть подключена от разных секций сборных шин ОРУ 220 кВ.

Таким образом, в схеме нормального режима объекта, будет обеспечен принцип резервирования, крайне необходимый для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности.

Также в ОРУ 220 кВ необходимо провести замену устаревших масляных баковых выключателей на инновационные новейшие установки и модификации оборудования.

Это позволит значительно повысить показатели надёжности и бесперебойности электроснабжения потребителей.

Выводы по разделу 1.

В работе было приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», с анализом технических данных основных составляющих структурной схемы подстанции.

Осуществлено обоснование технических решений по реконструкции ОРУ 220 кВ на основе требований к схемам трансформаторных подстанций.

В результате проведения анализа технической информации, с учётом требований нормативных документов, предъявляемых к схемам объектов энергетики, установлено, что схема первичных соединений ОРУ 220 кВ подстанции нуждается в реконструкции, так как в связи с вводом в эксплуатацию двух транзитных линий в ОРУ 220 кВ, требуется расширение ОРУ 220 кВ, предусматривающее установку новых ячеек с блоками «разъединитель – выключатель» и качественные изменения в схеме электрических соединений нормального режима.

При этом по требованиям [7], каждая из транзитных линий 220 кВ, вводимая в эксплуатацию, должна быть подключена от разных секций сборных шин ОРУ 220 кВ.

Таким образом, в схеме нормального режима объекта, будет обеспечен принцип резервирования, крайне необходимый для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности.

Также в ОРУ 220 кВ на всех присоединениях необходимо провести замену устаревших масляных баковых выключателей на инновационные новейшие установки и модификации оборудования, что обеспечит необходимый уровень надёжности и бесперебойности при питании потребителей.

Указанные рекомендации по реконструкции схемы ОРУ 220 кВ и модернизации оборудования проверяются в работе далее расчётно-аналитическим способом.

2 Техническая реализация реконструкции ОРУ 220 кВ подстанции

2.1 Расчёт электрических нагрузок подстанции

Ранее в работе было установлено, что схема первичных соединений ОРУ 220 кВ подстанции нуждается в реконструкции, обусловленная вводом в эксплуатацию двух транзитных линий в ОРУ 220 кВ, которые отсутствовали в исходной схеме электрических соединений.

С учётом данного факта, который обуславливает реконструкцию схемы первичных соединений ОРУ 220 кВ, учитывая направления потоков распределения мощности на подстанции и в схеме ОРУ 220 кВ, в работе необходимо провести расчёт следующих нагрузок, результаты которых будут использованы далее для выбора и проверки силовых трансформаторов подстанции, а также новых аппаратов и проводников ОРУ 220 кВ объекта проектирования.

Таким образом, в работе подлежат расчёту следующие виды нагрузок:

- нагрузка питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 – это нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», равная сумме соответствующих нагрузок распределительных устройств, в которые поступает электроэнергия через ОРУ 220 кВ: ОРУ 110 кВ, ОРУ 35 кВ и ЗРУ 6 кВ;
- нагрузка новой двухцепной транзитной линии к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская», которая строится для обеспечения транзита электроэнергии от ОРУ 220 кВ к указанной подстанции. На выбор мощности трансформатора данная нагрузка не влияет (согласно схеме электрических соединений);
- нагрузка питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220 кВ – принимается равной сумме нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и нагрузке новой транзитной линии 220 кВ (согласно реконструированной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ).

В работе расчёту подлежат значения активной, реактивной и полной расчётных нагрузок данных линий ОРУ 220 кВ подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай». Как известно, расчётный ток нагрузки нормального режима также относится к электрическим нагрузкам, поэтому в работе он также подлежит определению.

Значение расчётной активной нагрузки питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 (активная нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»), равна сумме соответствующих нагрузок распределительных устройств, в которые поступает электроэнергия через ОРУ 220 кВ: ОРУ 110 кВ, ОРУ 35 кВ и ЗРУ 6 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», с учётом коэффициента одновременности максимума расчётных нагрузок [11]:

$$P_{ПС} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{PY}, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^n P_{PY}$ – суммарная активная нагрузка всех распределительных

устройств, в которые поступает электроэнергия через ОРУ 220 кВ: ОРУ 110 кВ, ОРУ 35 кВ и ЗРУ 6 кВ подстанции 220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»;

« K_0 – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ» «Кемпирсай». Принимается с вероятностью не менее 95%, расчётное значение, равное $K_0 = 0,85$ [14].

Значение расчётной реактивной нагрузки питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 (реактивная нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай») [11]:

$$Q_{ПС} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{PY}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^n Q_{PY}$ – суммарная реактивная нагрузка всех распределительных устройств, в которые поступает электроэнергия через ОРУ 220 кВ: ОРУ 110 кВ, ОРУ 35 кВ и ЗРУ 6 кВ подстанции 220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Значение расчётной полной нагрузки питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 (реактивная нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай») [11]:

$$S_{ПС} = \sqrt{P_{ПС}^2 + Q_{ПС}^2}. \quad (3)$$

Значение расчётного рабочего тока нормального режима питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 (реактивная нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай») [11]:

$$I_{ПС} = \frac{S_{ПС}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (4)$$

При этом необходимо также рассчитать нагрузки для отдельных распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции.

«Активная расчётная нагрузка отдельных распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции» [11]:

$$P_{PY} = K_3 \cdot P_m, \text{ кВт}, \quad (5)$$

«где P_m – максимальная активная нагрузка отдельных

распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции, кВт» [3];

K_3 – коэффициент загрузки потребителей отдельных распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции, о.е. [6].

Реактивная расчётная нагрузка отдельных распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции [11]:

$$Q_{PY} = P_{PY} \cdot tg\varphi, \quad (6)$$

где $tg \varphi$ – нормируемый текущий коэффициент реактивной мощности, соответствующий текущему значению коэффициента активной мощности системы ($cos \varphi$). «С учётом компенсации реактивной мощности до нормируемого значения $cos \varphi = 0,93$, в работе принимается соответствующее ему значение $tg \varphi = 0,4$ » [8].

Полная расчётная нагрузка и расчётный ток нормального режима для отдельных распределительных устройств, получающих питание от ОРУ 220 кВ подстанции, определяется для каждого РУ отдельно по условиям (3) и (4).

На примере нагрузки ЗРУ-6 кВ подстанции по приведённым выше условиям (3) – (6):

$$P_{PY} = 1800 \cdot 1 = 1800 \text{ кВт.}$$

$$Q_{PY} = 1800 \cdot 0,4 = 720 \text{ квар.}$$

$$S_{PY} = \sqrt{1800^2 + 720^2} = 1938,7 \text{ кВА.}$$

$$I_{PY} = \frac{1938,7}{\sqrt{3} \cdot 6} = 111,9 \text{ А.}$$

Далее по условиям (1) – (4) проводится расчёт электрических нагрузок нормального режима питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2 (расчётная нагрузка всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»).

Результаты расчёта представлены в таблице 5.

Нагрузка новой двухцепной транзитной линии к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская», которая строится для обеспечения транзита электроэнергии от ОРУ 220 кВ к указанной подстанции, определяется по условиям (3) – (6). Результаты расчёта приведены в таблице 5.

Нагрузка питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220 кВ принимается равной сумме нагрузки всей ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и нагрузке новой транзитной линии 220 кВ (согласно реконструированной схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ).

Результаты расчёта представлены также в таблице 5.

Таблица 5 – «Результаты расчёта электрических нагрузок линий ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»» [6]

Наименование потребителя	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Нагрузка ОРУ-110 кВ	50000	20000	53851,6	282,6
Нагрузка ОРУ-35 кВ	12000	4800	12924,4	213,2
Нагрузка ЗРУ-6 кВ	1800	720	1938,7	186,6
Нагрузка питающей линии от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)	63800	25520	68714,7	180,3
Нагрузка транзитной линии от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»	50000	20000	53851,6	141,3
Нагрузка питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	113800	45520	122566,3	321,7

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок линий ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», а также всей подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» в целом, используются в работе далее.

2.2 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» установлены два силовых автотрансформатора марки АДЦТН-63000/220/110-78У1 (230/121/38,5 кВ).

Они являются основным источником питания для всех потребителей во всех распределительных устройствах подстанции.

Оба силовые автотрансформатора на понизительной подстанции переменного напряжения ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» находятся в рабочем исправном состоянии и периодически проходили регламентные текущие и капитальные ремонты.

Проводится предварительная проверка правильности выбора силовых автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», исходя из значения максимальной нагрузки подстанции.

Ранее установлено, что основными потребителями ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» являются отходящие ячейки 110 кВ, такие, как Восход-1,2, Донское-1,2,3.

Все данные ячейки относятся к горнодобывающей промышленности и являются потребителями 1 категории.

Также от подстанции получает питание ДГОК, ТОО «Кзыл-Каин-Мамыт» (добыча угля, никеля).

На всех перечисленных предприятиях график работы – круглосуточный, трёхсменный (включая выходные и праздничные дни), следовательно, суточный график нагрузки автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» - равномерный, поэтому при выборе трансформатора он не учитывается (условно принимается коэффициент изменения графика нагрузки равный единице: $K_2 \approx 1$).

Расчётная мощность силового автотрансформатора для установки на подстанции, определяется по известной формуле [12]:

$$S_{\text{ном.т.р.}} = \frac{S_{p.ПС}}{2 \cdot 0,7}, \text{МВА}, \quad (7)$$

где $S_{p.ПС}$ – расчётная нагрузка трансформаторной подстанции, принимается с учётом фактической суммарной нагрузки её потребителей и перспективы развития на 5 лет.

По условию (7) для силовых автотрансформаторов, устанавливаемых на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»:

$$S_{\text{ном.т.}} = \frac{63,8}{2 \cdot 0,7} \approx 45,6 \text{МВА}.$$

При проверке проводится сравнение номинальной мощности силового автотрансформатора и полученного значения расчётной мощности автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»:

$$S_{\text{ном.т.}} \geq S_{\text{ном.т.р.}}, \text{МВА}, \quad (8)$$

Соответственно, исходя из полученных результатов расчёта, установлено, что стандартная (паспортная) мощность автотрансформатора для установки на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», равная 63 МВА, проходит проверку по установленной нагрузке.

Таким образом, предварительные условия проверки силовых автотрансформаторов, установленных на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», по условию (8) выполняются:

$$S_{\text{ном.т.}} = 63 \text{МВА} \geq S_{\text{ном.т.р.}} = 45,6 \text{МВА}.$$

Коэффициент загрузки автотрансформаторов в нормальном режиме:

$$K_{3.H} = \frac{S_{ПС}}{2 \cdot S_{Т.НОМ}} \leq 0,7. \quad (9)$$

По условию (9) проверка выполняется:

$$K_{3.H} = \frac{63,8}{2 \cdot 63} = 0,51 \leq 0,7.$$

Коэффициент загрузки автотрансформаторов в послеаварийном режиме (в работе остаётся один трансформатор):

$$K_{3.П} = \frac{S_{ПС}}{S_{Т.НОМ}} \leq 1,4. \quad (10)$$

По условию (10) проверка выполняется:

$$K_{3.П} = \frac{63,8}{63} = 1,01 \leq 1,4.$$

Таким образом, установлено, что на подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» установленные ранее автотрансформаторы марки АДЦТН-63000/220/110-78У1 (230/121/38,5 кВ), выдержат допустимую перегрузку потребителей с учётом реконструкции ОРУ 220 кВ.

Его внешний вид показан в работе на рисунке 5.



Рисунок 5 – Трансформатор АТДЦТН-63000/220/110-У1

Таким образом, целесообразность установки данного автотрансформатора на объекте проектирования обоснована.

2.3 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах подстанции.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

В этом режиме на подстанции в работе остаётся только один силовой автотрансформатор, который, по условиям резервирования, должен обеспечить питание всей нагрузки подстанции.

На шинах в ЗРУ-6 кВ токи КЗ не рассчитываются, так как для данного объекта в работе не проводится выбор проводников и аппаратов.

Кроме того, ЗРУ-6 кВ получает питание не от АТ1 и АТ2, а через дополнительные силовые трансформаторы от ОРУ-35 кВ подстанции.

Также расчёту в работе подлежит ток двухфазного КЗ, который принимается как минимальный ток короткого замыкания при проверке чувствительности релейной защиты.

«Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ на понизительной подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» в работе представлена на рисунке 6» [4].

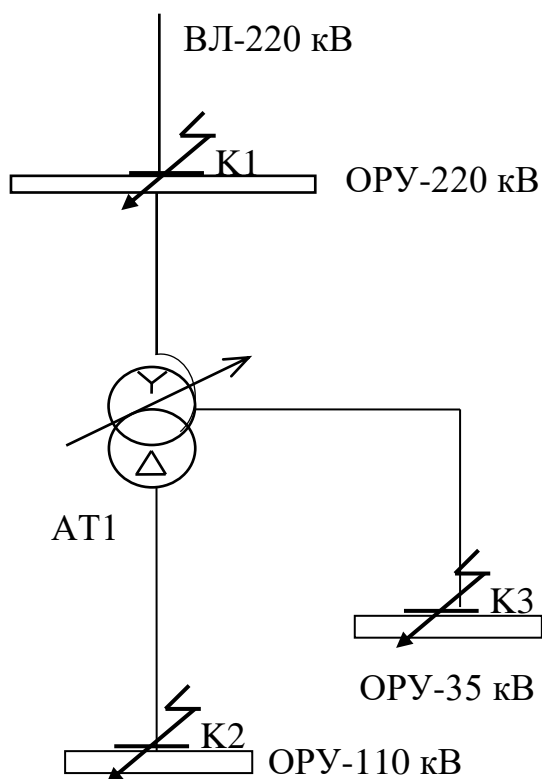


Рисунок 6 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети.

Силовые автотрансформаторы, имеющие три класса напряжения (220 кВ, 110 кВ и 35 кВ), на схеме замещения могут быть представлены в виде трёхобмоточных трансформаторов [15].

«Схема замещения цепи КЗ, составленная, исходя из расчётной схемы, представлена на рисунке 7» [13].

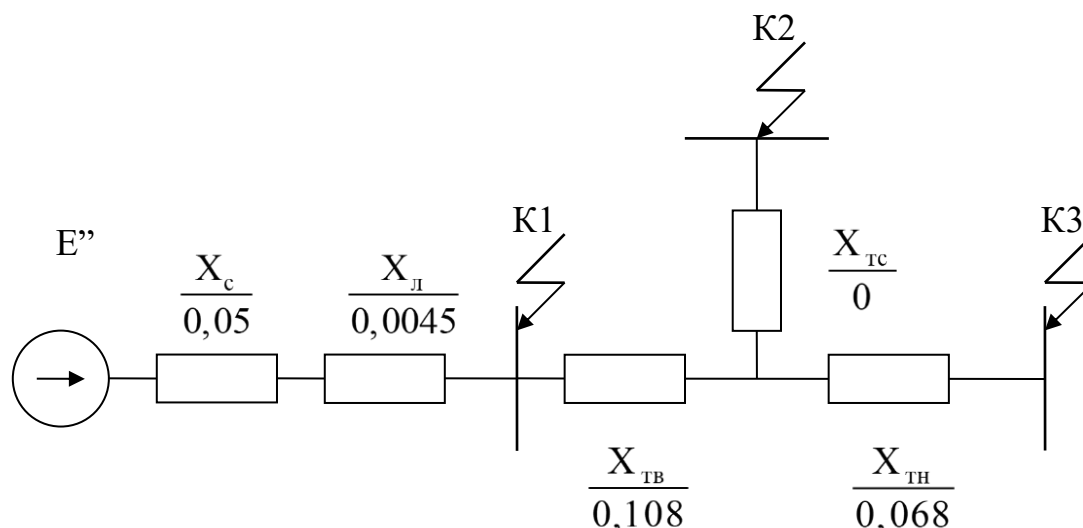


Рисунок 7 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ на проектируемой подстанции

Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\sigma} = 63000 \text{ кВА} = 63 \text{ МВА.}$$

Проводится выбор базисных напряжений для всех трёх ступеней трансформации в схеме (220 кВ, 110 кВ, 35 кВ).

В работе они принимаются в 1,05 раза выше соответствующих номинальных напряжений и должны совпадать с напряжениями на шинах АТ [17].

Базисное напряжение для ступени высшего напряжения АТ 220 кВ (основная ступень):

$$U_{\sigma 1} = 230 \text{ кВ.}$$

Базисное напряжение для ступени среднего напряжения АТ 110 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 2} = 121 \text{ кВ.}$$

Базисное напряжение для ступени низшего напряжения АТ 35 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 3} = 38,5 \text{ кВ.}$$

Базисный ток рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}. \quad (11)$$

Проводится расчёт базисного тока для всех трёх ступеней трансформации в схеме (220 кВ, 110 кВ, 35 кВ) с учётом дальнейшего приведения к базисной мощности (мощность силового трансформатора подстанции).

Базисный ток для ступени высшего напряжения 220 кВ АТ (основная ступень):

$$I_{\delta 1} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 230} = 0,16 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени среднего напряжения 110 кВ АТ (неосновная ступень):

$$I_{\delta 2} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 121} = 0,3 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени низшего напряжения 35 кВ АТ (неосновная ступень):

$$I_{\delta 3} = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 38,5} = 0,94 \text{ кА.}$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» в относительных единицах, с последующим приведением их к именованным.

«Сопротивление энергосистемы определяется по формуле» [5]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\bar{6}}}{S_K}, \text{ o.e.}, \quad (12)$$

«где S_K - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы (по данным энергосистемы)» [19].

«По условию (12)» [6]:

$$x_{c*} = \frac{63}{1000} = 0,063 \text{ o.e.}$$

«Сопротивление питающей ВЛ-220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» с учётом её длины» [8]:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}, \text{ o.e.}, \quad (13)$$

«где x_0 - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [10];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [7].

«Согласно условия (13), индуктивное значение сопротивления» [7] для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{l*} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{63}{230^2} = 0,003 \text{ o.e.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Относительные сопротивления лучей схемы замещения автотрансформатора, приведенные к базисным условиям [12]:

$$x_{m\delta}^* = \frac{S_{\delta}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.вс}, \% - U_{к.сн}, \%)}{100}. \quad (14)$$

$$x_{mc}^* = \frac{S_{\delta}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вс}, \% + U_{к.сн}, \% - U_{к.вн}, \%)}{100}. \quad (15)$$

$$x_{mn}^* = \frac{S_{\delta}}{S_{ном}} \cdot \frac{0,5 \cdot (U_{к.вн}, \% + U_{к.сн}, \% - U_{к.вс}, \%)}{100}. \quad (16)$$

Проводятся соответствующие расчёты, в результате которых определяются относительные сопротивления лучей схемы замещения автотрансформатора, приведенные к базисным условиям:

$$x_{m\delta}^* = \frac{63}{63} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 10,5 - 6,5)}{100} = 0,108 \text{ о.е.}$$

$$x_{mc}^* = \frac{63}{63} \cdot \frac{0,5 \cdot (10,5 + 6,5 - 17,5)}{100} = -0,0025 \approx 0 \text{ о.е.}$$

$$x_{mn}^* = \frac{63}{63} \cdot \frac{0,5 \cdot (17,5 + 6,5 - 10,5)}{100} = 0,068 \text{ о.е.}$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

После этого «определяется начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания по следующему выражению с учётом результирующих сопротивлений к каждой точке КЗ» [12], при приведении к базисным условиям, в именованных единицах [12]:

$$I_K^{(3)} = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_{\delta}. \quad (17)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [9]:

$$x_{рез} = x_c + x_l, \text{ о.е.} \quad (18)$$

«Согласно условия (18)» [9]:

$$x_{рез} = 0,063 + 0,003 = 0,066 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (17)» [8]:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{1}{0,066} \cdot 0,16 = 2,42 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [10]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{тв} + x_{тс}, \text{ о.е.} \quad (19)$$

«Согласно условия (19)» [1]:

$$x_{рез} = 0,063 + 0,003 + 0,108 + 0 = 0,174 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (17)» [11]:

$$I''_{K2}^{(3)} = \frac{1}{0,174} \cdot 0,3 = 1,72 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [11]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_{тв} + x_{тн}, \text{ о.е.} \quad (20)$$

* * * * *

«Согласно условия (20)» [16]:

$$x_{рез} = 0,063 + 0,003 + 0,108 + 0,068 = 0,242 \text{ о.е.}$$

*

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (17)» [15]:

$$I''_{K3}^{(3)} = \frac{1}{0,242} \cdot 0,94 = 3,88 \text{ кА.}$$

«Значение «ударного тока в расчётных точках схемы» [12] или начального значения аperiodической составляющей тока К3 в максимальном режиме» [12]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K^{(3)}, \text{ кА,} \quad (21)$$

где $k_{уд}$ – «ударный коэффициент» [12].

«По условию (21) для расчётных точек схемы К1, К2 и К3, значение ударных токов (начального значения апериодической составляющей тока КЗ) в именованных единицах» [20]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 2,42 = 5,82 \text{ кА},$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,72 = 3,41 \text{ кА},$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,25 \cdot 3,88 = 6,86 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА в работе далее» [3]:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА}. \quad (22)$$

«Значение двухфазного тока КЗ в расчётных точках К-КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (22)» [6]:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,42 = 2,10 \text{ кА}.$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,72 = 1,49 \text{ кА}.$$

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,88 = 3,36 \text{ кА}.$$

Результаты токов КЗ, полученные в результате расчёта на шинах 220 кВ, 110 кВ и 35 кВ в максимальном режиме работы ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта токов короткого замыкания

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1 (220 кВ)	Точка К2 (110 кВ)	Точка К3 (35 кВ)
$I_k^{(3)}$, кА	2,42	1,72	3,88
i_{yd} , кА	5,82	3,46	6,86
$I_k^{(2)}$, кА	2,10	1,49	3,36

Полученные результаты расчёта токов КЗ, используются в работе для проверок выбранного нового оборудования в ОРУ-220 кВ подстанции.

2.4 Выбор и расчёт проводников ОРУ 220 кВ

Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников на питающей подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

В работе подлежат выбору и проверке провода таких воздушных линий, относящихся к реконструируемому ОРУ-220 кВ подстанции:

- питающей линии от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)
- транзитной линии от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»
- питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Все проводники воздушных линий 220 кВ на подстанции – класса напряжения выше 1 кВ, выполненные в виде воздушных линий передачи. Поэтому и методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (воздушных линий напряжением 220 кВ, а также ошиновки в ОРУ-220 кВ) ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}, \quad (23)$$

где $j_э$ – «экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

Для проверки выбранного сечения проводников воздушных линий на понизительной подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», необходимо рассчитать их максимальный ток послеаварийного режима работы с учётом условий резервирования в схеме.

«По упрощённой методике, значение максимального тока ПАВ режима можно принять равным рабочему току, помноженному на коэффициент резервирования, равный 1,4» [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} = 1,4 \cdot I_p. \quad (24)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка воздушной линии, кВА» [3];

« I_p – расчётный ток нормального режима воздушной линии электропередачи (таблица 2)» [3];

« $U_{\text{ном}}$ – «номинальное напряжение линии, кВ» [10].

«После выбора проводника воздушных линий, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах» [17] работы.

Проверка выбранного сечения провода воздушных линий в нормальном режиме работы [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (25)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

Проверка выбранного сечения провода воздушной линии в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (26)$$

где $I_{p.max}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы воздушной линии с учётом условий резервирования в схеме, А.

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [17] коронирующего разряда (для ВЛ-220 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (27)$$

«Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом данных таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 , минимальные сечения проводов» [10] воздушных линий, выполненные с применением стандартных сталеалюминиевых проводников (для климатических условий Республики Казахстан), для проводов воздушных линий электропередачи напряжением 220 кВ – не менее 240 мм².

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Ток нормального режима питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» определён в работе ранее (таблица 2).

Расчётное минимальное «сечение питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» по условию» [18] экономической плотности тока:

$$F_3 = \frac{180,3}{1,1} = 163,9 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе принимается минимальное наименьшее сечение провода питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ» [19] от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», равное 240 мм². Оно меньше, чем стандартное значение провода, применяемое в настоящее время на данной линии (провод АС-300/48). Таким образом, провод питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» остаётся без изменений (АС-300/48).

Так как в работе проводится проверочный расчёт провода данной линии, сечение данных проводов ВЛ-220 кВ, питающей подстанцию, принимается за основу.

Проверка данного провода ВЛ-220 кВ по току нормального режима выполняется:

$$690 \text{ А} \geq 180,3 \text{ А}.$$

Значение максимального тока ПАВ режима провода ВЛ-220 кВ понизительной подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» с учётом резервирования в схеме:

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 180,3 \approx 252,4 \text{ А}.$$

Проверка проводов питающей ВЛ-220 кВ по максимальному току ПАВ режима выполняется:

$$690 \text{ А} \geq 252,4 \text{ А}.$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-220 кВ понизительной подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» по условию коронирующего разряда и механической прочности по гололёду и ветру также выполняется» [20]:

$$300 \text{ мм}^2 \geq 240 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, в работе путём проведения соответствующих расчётов и проверок установлено, что «сечение провода на питающей воздушной линии ВЛ-220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», соответствует условиям выбора» [2] и совпадает с фактическими сечениями проводов питающей линии 220 кВ в реальных условиях.

Выбор и проверка сечений проводов остальных линий напряжением 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» выполнены по аналогичной методике.

Результаты выбора и проверочного расчёта проводников питающих и транзитных воздушных линий в ОРУ-220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверочного расчёта проводников питающих и транзитных воздушных линий в ОРУ-220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Наименование линии	I_p , А	F_{Σ} , мм ²	$F_{ст}$, мм ²	$I_{p,max}$, А	Марка провода	$I_{доп.}$, А
Питающая линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)	180,3	163,9	300	252,4	АС-300/48	690
Транзитная линия от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»	141,3	128,5	300	197,8	АС-300/48	690
Питающая линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	321,7	292,4	300	450,4	АС-300/48	690

Таким образом, в работе расчётным путём, используя принятую методику выбора и проверки, подтверждены все сечения проводников питающих и транзитных воздушных линий ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Выбор сборных шин для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» проводится по максимальному рабочему току по приведённой ранее методике. Для всех присоединений на ОРУ-220 кВ выбрана и проверена гибкая ошиновка из проводов марки АС-300/48.

2.5 Выбор и проверка электрических аппаратов ОРУ 220 кВ

Далее в работе, на основании технических данных подстанции и полученных расчётных результатов электрических нагрузок, рабочих и максимальных токов, а также токов трёхфазного КЗ, проводится непосредственный выбор и проверка основного оборудования с целью проведения модернизации ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Ранее в работе было установлено, что к устаревшим электрическим аппаратам ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» относятся масляные баковые выключатели высокого напряжения.

В работе они подлежат замене на современные элегазовые выключатели 220 кВ, отличающиеся повышенными критериями надёжности, экономичности, безопасности, а также быстродействием и селективностью. При этом практическая замена выключателей в ОРУ 220 кВ проводится совместно с изменениями в схеме электрических соединений объекта, что значительно упрощает задачу и ускоряет данный технологический процесс.

В ОРУ-220 кВ устанавливаются новые элегазовые высоковольтные выключатели марки ВЭБ-220.

Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а

также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к данным аппаратам предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий, приведённых далее [18].

«Выбор выключателей по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (28)$$

«Выбор выключателей по максимальному рабочему току» [18]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (29)$$

«Проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{пт} \leq I_{откн.н}. \quad (30)$$

«Где $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{откн.н}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [18];

«Проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (31)$$

«Где $i_{ат}$ – значение апериодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [18];

« β_n – номинальное значение относительного содержания

апериодической составляющей в отключаемом токе КЗ» [18];

« τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов» [18].

«Наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов выключателя» [18]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (32)$$

«где $t_{з.мин} = 0,01$ с – минимальное время действия релейной защиты» [18];

« $t_{с.в}$ – собственное время отключения выключателя» [18].

«На электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (33)$$

«где $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

« i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18].

«Проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (34)$$

«где B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

« t_T – длительность тока термической устойчивости, с» [18].

При этом расчётное значение теплового импульса:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (35)$$

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», проводится по приведённым выше условиям (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели питающей линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2: ВЭБ-220-80/2500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 252,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,42 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 80 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели транзитной линии от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»: ВЭБ-220-80/2500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 197,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,42 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 80 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели питающей линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»: ВЭБ-220-80/2500 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 450,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,42 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 80 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$

Далее проводится проверка разъединителей по условиям установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» в результате проведения реконструкции ОРУ 220 кВ данного объекта.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках. Таким образом, разъединитель – это очень важный аппарат по условиям электробезопасности.

В работе для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» проверяются ранее установленные разъединители марки РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1.

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

Результаты проверки разъединителей в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты проверочного расчёта разъединителей для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители питающей линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2: РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$.	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$.	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$.
	$I_{max} \leq I_{ном}$.	$I_{max} = 252,4 \text{ А}$.	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$.
	$i_y \leq i_{дин}$.	$i_y = 5,82 \text{ кА}$.	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$.	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$.	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$.
Разъединители транзитной линии от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»: РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$.	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$.	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$.
	$I_{max} \leq I_{ном}$.	$I_{max} = 197,8 \text{ А}$.	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$.
	$i_y \leq i_{дин}$.	$i_y = 5,82 \text{ кА}$.	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$.	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$.	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$.
Разъединители питающей линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»: РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$.	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$.	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$.
	$I_{max} \leq I_{ном}$.	$I_{max} = 450,4 \text{ А}$.	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$.
	$i_y \leq i_{дин}$.	$i_y = 5,82 \text{ кА}$.	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$.	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$.	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$.

Для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» выбираются ограничители перенапряжения марки ОПН-220/40,5/10/450 УХЛ1 (завод-изготовитель – НИИ «Защитных аппаратов и изоляторов»).

Результаты выбора ОПН для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора ОПН для установки в ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
ОПН питающей линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2: ОПН-220/40,5/10/450 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 252,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 450 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
ОПН транзитной линии от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»: ОПН-220/40,5/10/450 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 197,8 \text{ А}$	$I_{ном} = 450 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$
ОПН питающей линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»: ОПН-220/40,5/10/600 УХЛ1	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 220 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 220 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 450,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 450 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 5,82 \text{ кА}$	$i_{дин} = 40,5 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,42^2 \cdot 3 = 17,6 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2\text{с}$

Все аппараты показаны на схеме электрических соединений ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» в графической части работы.

Выводы по разделу 2.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», обусловленная реконструкцией схемы ОРУ 220 кВ, проведено техническое обоснование следующих принятых решений:

- проведён расчёт нагрузки с последующим выбором и проверочным расчётом следующих линий ОРУ 220 кВ: питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2, новой двухцепной транзитной

линии к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская», которая строится для обеспечения транзита электроэнергии от ОРУ 220 кВ к указанной подстанции, а также питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220. В результате проверочного расчёта, обосновано и подтверждено на всех данных ВЛ-220 кВ сечение провода марки АС-300/48;

- для всех присоединений на ОРУ-220 кВ выбрана и проверена гибкая ошиновка из проводов марки АС-300/48;
- выбраны и проверены новые элегазовые выключатели ВЭБ-220-80/2500 УХЛ1 для защиты питающих и транзитных линий, с целью установки в ОРУ-220 кВ подстанции, в результате её модернизации;
- проверены на соответствие техническим условиям установки в ОРУ-220 кВ аппараты коммутации и защиты питающих и транзитных линий 220 кВ: разъединители марки РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1 и ограничители перенапряжения марки ОПН-220/40,5/10/600 УХЛ1.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и модернизации оборудования ОРУ 220 кВ данной подстанции с проверкой принятых технических решений.

3 Расчёт релейной защиты и автоматика, молниезащиты и заземления ОРУ 220 кВ реконструируемой подстанции

3.1 Выбор типов защит основного оборудования

Далее в работе выбираются типы релейной защиты и автоматики для защиты основного оборудования подстанции – силовых трансформаторов и линий ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

На понижающем автотрансформаторе ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» предусмотрены следующие основных защит:

- дифференциальная токовая защита от внутренних повреждений автотрансформатора (далее – ДЗТ);
- газовая защита трансформатора, выполненная с возможностью действия на отключение и на сигнал (далее – ГЗ);
- максимальные токовые с выдержкой времени на каждой обмотке автотрансформатора с комбинированным пуском по напряжению от многофазных коротких замыканий (далее – МТЗ);
- токовая защита от перегрузки, установленная в одной фазе с выдержкой времени с действием на сигнал (далее – ЗП).

На питающих и транзитных линиях ОРУ 220 кВ предусмотрены следующие защиты:

- дифференциальная токовая защита линий (далее – ДЗЛ);
- максимальные токовые защита линий (далее – МТЗЛ), совмещённая с защитой от перегрузки линий.

На сторонах ВН (220 кВ) и СН (110 кВ) автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», на стороне НН (35 кВ) применяется схема «неполной звезды».

Исходя из этого, полученные результаты первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, использующихся для дальнейшего

выбора уставок РЗА силовых автотрансформаторов, а также питающих и транзитных линий на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», приводятся в форме таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{ A}$	$I_{\text{ТТ1}}, \text{ A}$	K_{T}
Силовые автотрансформаторы				
220 кВ	Сторона ВН	165,3	200	40,0
110 кВ	Сторона СН	330,7	400	80,0
35 кВ	Сторона НН	1039,2	1500	500,0
Питающие и транзитные линии 220 кВ				
220 кВ	Питающая линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)	252,4	300	60,0
220 кВ	Транзитная линия от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»	197,8	200	40,0
220 кВ	Питающая линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	450,4	500	100,0

Полученные данные используются в работе далее при расчёте уставок РЗА силовых автотрансформаторов, а также линий ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

3.2 Расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов подстанции

Далее в работе, на основании полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, использующихся для дальнейшего выбора уставок РЗА силовых трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», проводится выбор уставок РЗА трансформаторов подстанции.

«В качестве защиты трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [14].

«Ток срабатывания этой защиты» [20] определяется путём отстройки от тока небаланса:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.СН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (36)$$

где $I_{раб.макс.НН}$, $I_{раб.макс.СН}$, $I_{раб.макс.ВН}$ – соответственно максимальный рабочий ток на сторонах ВН (220 кВ), СН (110 кВ) и НН (35 кВ) силового автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», А;
 K_n – коэффициент надёжности для ДЗ автотрансформатора [1,4].

Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию:

$$K_q = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (37)$$

Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»:

$$I_{с.з} \geq 3,5 \cdot (1039,2 - 330,7 - 165,3) = 1901,2 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» удовлетворяет требованиям [13,14]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{3360}{1901,2} = 1,77 > 1,5.$$

Окончательно принимается для продольной ДЗТ автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», $I_{с.з} = 1901,2$ А.

Проводится выбор уставки защиты от перегрузки автотрансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Известно, что в силовых автотрансформаторах, защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13,14], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 220 кВ.

Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}} \quad (38)$$

где K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 165,3 \approx 173,6 \text{ А.}$$

Защита от перегрузки трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

Проводится выбор уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) трансформаторов ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

В работе МТЗ устанавливается как на стороне ВН (220 кВ), так и на стороне СН (110 кВ), и на стороне НН (35 кВ) силового трансформатора, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность.

Следовательно, в работе на силовом трансформаторе принимается три комплекта МТЗ. Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условиям [13,14], приведённым ниже.

Условие выбора уставки МТЗ заключается в отстройке от максимального рабочего тока трансформатора:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (39)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$K_{сзн}$ - коэффициент самозапуска.

«Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле» [20]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (40)$$

«где $I_{к.мин}^{(к)}$ – минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [20];

« $K_{сх}^{(3)}$ – коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [20];

« $K_{сх}^{(к)}$ – коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [20];

« $I_{с.з}$ – ток срабатывания защиты» [20].

Согласно [1], коэффициент чувствительности для рассчитываемой МТЗ силового трансформатора должен быть не менее 1,2 [20].

По приведённым выше условиям, далее в работе проводится расчёт МТЗ на сторонах 220 кВ, 110 кВ и 35 кВ силового автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай».

Для комплекта МТЗ силового автотрансформатора ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» на стороне ВН (220 кВ):

$$I_{с.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 165,3 = 290,9 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ автотрансформатора на стороне ВН удовлетворяет требованиям [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{2100}{290,9} = 7,2 > 1,2.$$

Окончательно принимается для МТЗ силового автотрансформатора на стороне ВН $I_{\text{с.з}} = 290,9$ А.

Так как селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (со стороны источника питания оно будет минимальное), принимается время срабатывания МТЗ силового автотрансформатора на стороне ВН, равное $t_{\text{с.з}} = 0,5$ с.

Аналогично рассчитаны уставки МТЗ на сторонах 110 кВ и 35 кВ автотрансформатора (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты расчёта уставок МТЗ силового автотрансформатора

Сторона трансформатора	$I_{\text{раб.макс}}, A$	$I_{\text{с.з}}, A$	$t_{\text{с.з}}, c$
ВН (220 кВ)	165,3	290,9	0,5
СН (110 кВ)	330,7	582,0	1,0
НН (35 кВ)	1039,2	1829,0	1,5

МТЗ будет установлена на каждой из обмоток автотрансформатора подстанции для защиты от внутренних ненормальных режимов.

3.3 Расчёт уставок релейной защиты линий ОРУ 220 кВ подстанции

В работе на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» для защит питающих линий напряжений 220 кВ, а также транзитных линий, выбираются следующие защиты:

- дифференциальная защиты линий (ДЗЛ);

– максимальная токовая защита линий, совмещённая с защитой от перегрузки (МТЗЛ).

Выбор уставок ДЗЛ и МТЗЛ для защиты линий проводится аналогично выбору уставок данных защит для силовых трансформаторов, выполненных в работе ранее.

Ток срабатывания ДЗЛ определяется путём отстройки от максимального тока КЗ и значения максимального рабочего тока линии, с учётом коэффициента отстройки:

$$I_{c.з} \geq K_o \cdot I_{к.макс} + I_{раб.макс}, \quad (41)$$

где K_n – коэффициент надёжности ДЗЛ [13,14].

Коэффициент чувствительности ДЗЛ должен удовлетворять условию:

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(к)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{c.з}} \geq 1,2. \quad (42)$$

Для питающей линии 220 кВ от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2, токовая уставка и коэффициент чувствительности ДЗЛ:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 2420 + 252,4 = 2914,4 \text{ А.}$$

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{3360}{2914,4} = 1,15 \geq 1,2.$$

Аналогично проведён расчёт уставок ДЗЛ остальных питающих и транзитных линий 220 кВ (таблица 13).

Таблица 13 – Результаты выбора уставок ДЗЛ питающих и транзитных линий 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{ А}$	$I_{\text{к.макс}}, \text{ А}$	$I_{\text{с.з}}, \text{ А}$
220 кВ	Питающая линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)	252,4	2420,0	2914,4
220 кВ	Транзитная линия от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»	197,8	2420,0	2859,8
220 кВ	Питающая линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	450,4	2420,0	2114,4

МТЗЛ линий выбирается из условия несрабатывания защиты в момент подключения дополнительной нагрузки.

С учётом равенства основной и дополнительной нагрузки, а также с учётом их равномерности, упрощённо выражение для выбора уставок МТЗЛ линий можно записать так:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}} \quad (43)$$

Коэффициент чувствительности МТЗЛ определяется по известной формуле [13,14]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\text{к})}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\text{к})}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,2, \quad (44)$$

Для питающей линии от ОРУ 220 кВ к АТ, токовая уставка МТЗЛ:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,3 \cdot 1,5 \cdot 252,4 = 492,2 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗЛ этой питающей линии 220 кВ:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{2100}{492,2} = 4,27 \geq 1,2. \quad (45)$$

Результаты выбора уставок МТЗЛ питающих и транзитных линий 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» представлены в таблице 14.

Также выбрано время срабатывания МТЗЛ линий, что обеспечивает селективность данной защиты (принята степень селективности $\Delta t=0,5$ с).

Таблица 14 – Результаты выбора уставок МТЗЛ питающих и транзитных линий ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{А}$	$I_{\text{с.з}}, \text{А}$	$t_{\text{с.з}}, \text{с}$
220 кВ	Питающая линия от ОРУ 220 кВ к АТ1 и АТ2 (нагрузка ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»)	252,4	492,2	1,0
220 кВ	Транзитная линия от ОРУ 220 кВ к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская»	197,8	385,7	1,5
220 кВ	Питающая линия от энергосистемы к ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай»	450,4	878,3	0,5

Выбранные уставки РЗиА силовых трансформаторов и линий подстанции показаны в работе на графическом листе 5.

3.4 Расчёт заземления ОРУ 220 кВ

В углах подстанции и на заземляющих устройствах электрического оборудования, должны быть установлены вертикальные электроды.

Допустимое время воздействия на человека:

$$\tau_{\text{г}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{отк.в}}, \text{с}. \quad (46)$$

$$\tau_{\text{г}} = 0,1 + 0,035 = 0,135 \text{ с}.$$

«Определяется сопротивление растекания тока от ступней» [10]:

$$R_c = 1,5 \cdot \rho, \text{ Ом.} \quad (47)$$

$$R_c = 1,5 \cdot 0,009 = 0,0135 \text{ Ом.}$$

«Определяется коэффициент β » [10]:

$$\beta = \frac{R_q}{R_q + R_c}. \quad (48)$$

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 0,0135} = 0,99.$$

«Определяется суммарная длина горизонтального заземлителя» [10]:

$$L_r = \frac{130}{5} \cdot 48 + \frac{48}{5} \cdot 130 = 2496 \text{ м.}$$

«Коэффициент напряжения прикосновения» [10]:

$$K_n = \frac{M \cdot \beta}{\left(\frac{l_g \cdot L_r}{a \cdot \sqrt{S}} \right)^{0,45}}. \quad (49)$$

$$K_n = \frac{0,5 \cdot 0,99}{\left(\frac{5 \cdot 2496}{5 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} \right)^{0,45}} = 0,105.$$

«Определяется напряжение на заземлителе» [10]:

$$U_3 = \frac{U_{np.дон.}}{K_n}, \text{ кВ.} \quad (50)$$

$$U_3 = \frac{400}{0,105} = 3810 \text{ В} = 3,81 \text{ кВ.}$$

«Определяется сопротивление заземляющего устройства» [10]:

$$R_{з.дон.} = \frac{U_3}{I_3}, \text{ Ом.} \quad (51)$$

$$R_{з.дон.} = \frac{3,81}{1,3} = 2,931 \text{ Ом.}$$

«Расчетная модель сложного заземлителя ОРУ 220 кВ представлена на рисунке 8» [10].

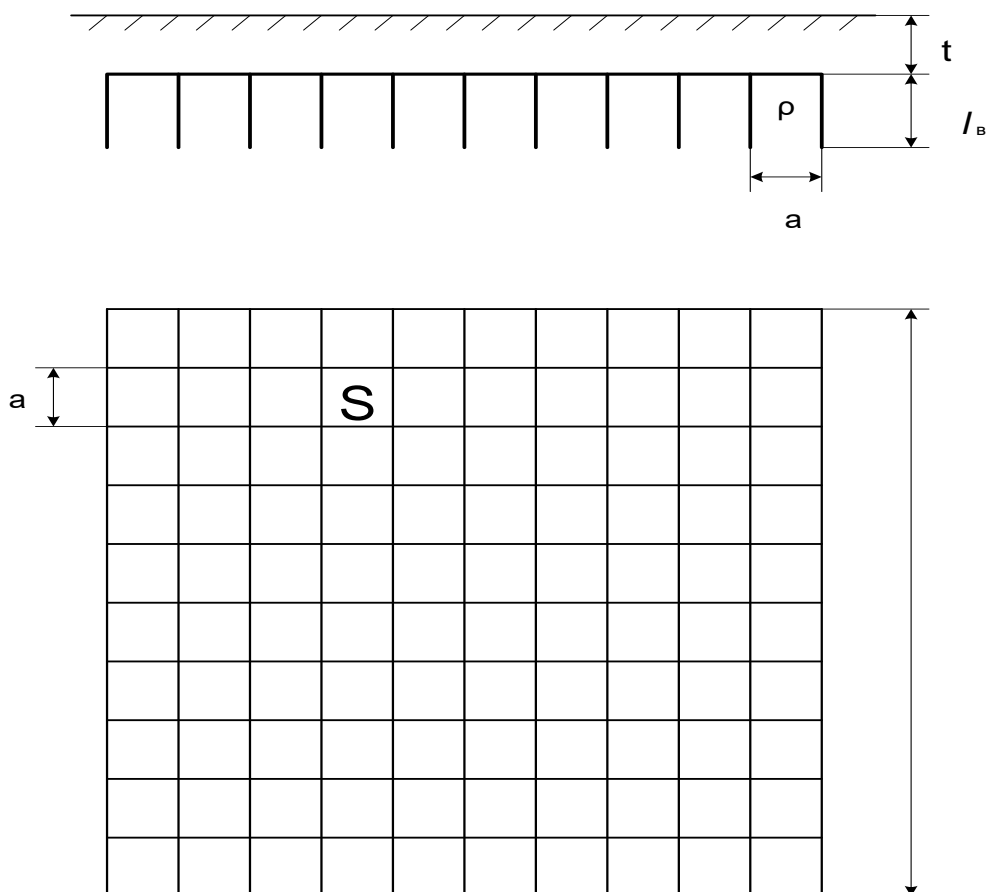


Рисунок 8 – Расчетная модель сложного заземлителя

«Число ячеек по стороне квадрата» [10]:

$$m = \frac{L_r}{2 \cdot \sqrt{S}} - 1. \quad (52)$$

$$m = \frac{2496}{2 \cdot \sqrt{130 \cdot 48}} - 1 = 14,8.$$

«Принимается $m=15$ » [10].

«Длина полос в расчетной модели» [10]:

$$L_r^{15} = 2 \cdot \sqrt{S} \cdot (m + 1), \text{ м.} \quad (53)$$

$$L_r^{15} = 2 \cdot \sqrt{130 \cdot 48} \cdot (15 + 1) = 2528 \text{ м.}$$

«Длина сторон ячеек» [10]:

$$b = \frac{\sqrt{S}}{m}, \text{ м.} \quad (54)$$

$$b = \frac{\sqrt{130 \cdot 48}}{15} = 5,5 \text{ м.}$$

«Число вертикальных заземлителей по периметру контура» [10]:

$$n_g = \frac{\sqrt{S} \cdot 4}{\frac{a}{l_g} \cdot l_g} \quad (55)$$

$$n_g = \frac{\sqrt{130 \cdot 48} \cdot 4}{5} = 63,2.$$

«Принимается $n_g=64$ » [10].

«Общая длина вертикальных заземлителей» [10]:

$$L_g = l_g \cdot n_g, \text{ м.} \quad (56)$$

$$L_g = 5 \cdot 64 = 320 \text{ м.}$$

«Относительная глубина» [10]:

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{l_g + t}{\sqrt{S}}, \text{ м.} \quad (57)$$

$$A = 0,444 - 0,84 \cdot \frac{5 + 0,7}{\sqrt{130 \cdot 48}} = 0,384 \text{ м.}$$

«Определяется общее сопротивление сложного заземлителя, преобразованного в расчетную квадратную модель» [10]:

$$R_3 = A \cdot \frac{\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L_r^{16} + L_g}, \text{ Ом.} \quad (58)$$

$$R_3 = 0,384 \cdot \frac{0,009}{\sqrt{130 \cdot 48}} + \frac{0,009}{2528 + 320} = 4,685 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

«Общее сопротивление сложного заземлителя» [10]:

$$R_3 = 4,685 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \leq R_{3,\text{дон.}} = 2,931 \text{ Ом.}$$

«Данное значение является допустимым» [10].

«Напряжение прикосновения» [10]:

$$U_{np} = K_n \cdot R_3 \cdot I_3, \text{ В.} \quad (59)$$

$$U_{np} = 0,105 \cdot 4,658 \cdot 10^{-5} \cdot 1,3 = 6,358 \cdot 10^{-3} \text{ В.}$$

«Условие выполняется, заземление выбрано верно» [10].

«План-схема сетки горизонтальных заземлителей ОРУ 220 кВ подстанции показан на рисунке 9» [10].

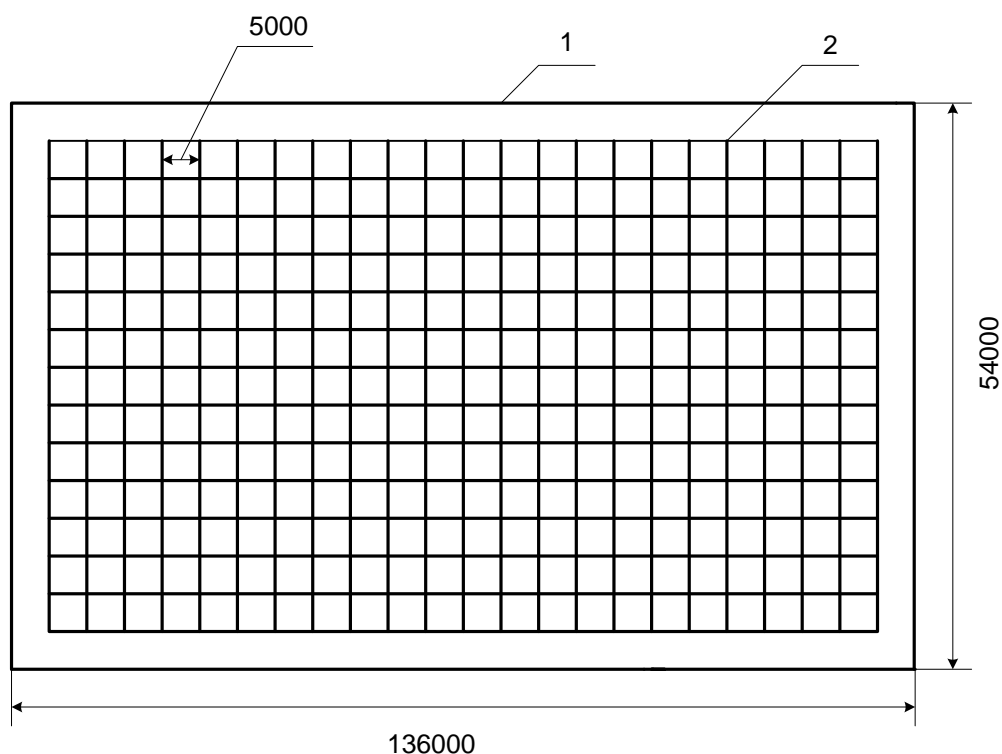


Рисунок 9 – План-схема сетки горизонтальных заземлителей: 1 – ограждение подстанции ($136 \times 54 \text{ м}^2$); 2 – искусственный заземлитель из сетки ($130 \times 48 \text{ м}^2$)

Параметры заземления подстанции находятся в допустимых пределах.

3.5 Расчёт молниезащиты ОРУ 220 кВ

В соответствии с [15], устанавливается необходимый комплекс мероприятий и устройств, предназначенных для обеспечения безопасности людей (сельскохозяйственных животных), предохранения зданий, сооружений, оборудования и материалов от взрывов, пожаров и разрушений, возможных при воздействиях молнии.

Согласно [7] (4.2.136) от стоек конструкции ОРУ с молниеотводами, должно быть обеспечено растекание тока молнии по магистралям заземления не менее чем в трех-четырёх направлениях для ОРУ-220кВ.

Кроме того, должно быть установлено соответственно два-три или один-два вертикальных электрода длиной 3-5м на расстоянии, не меньшим длины электрода. Согласно [7] (4.2.140), место присоединения конструкции со

стержневым молниеотводом к заземляющему контуру подстанции расположено на расстоянии более 15м по магистралям заземления от места присоединения к нему трансформатора.

«Радиус действия молниеотвода определяется по формуле» [12]:

$$r_x = \frac{1,6 \cdot h_a}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot p, \quad (60)$$

«Где $h=24$ м – высота молниеотвода» [12];

« h_a – активная высота молниеотвода» [12];

« $h_x=12$ м - высота наиболее выступающих элементов ОРУ 220 кВ» [12];

« p – коэффициент, равный 1 при высоте молниеотвода $h<30$ м» [12].

$$h_a = h - h_x = 24 - 12 = 12 \text{ м.}$$

$$r_x = \frac{1,6 \cdot 12}{1 + \frac{12}{24}} \cdot 1 = 12,8 \text{ м.}$$

«Наименьшая ширина зоны защиты b_x определяется по формуле» [12]:

$$b_x = 4 \cdot r_x \cdot \frac{7h_a - 1}{14h_a - a}. \quad (61)$$

«Расстояние от оси установки молниеотводов до границы защищаемой зоны» [12]:

$$b_{x1} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 40}{14 \cdot 12 - 40} = 17,6 \text{ м,}$$

$$b_{x2} = 4 \cdot 12,8 \cdot \frac{7 \cdot 12 - 42}{14 \cdot 12 - 42} = 17,1 \text{ м.}$$

«Условие для защиты объекта высотой h_x внутри зоны защиты» [12]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p. \quad (62)$$

«где D – наибольшая диагональ четырехугольника» [12].

$$D = \sqrt{40^2 + 42^2} = 58 \text{ м.}$$

«Проверяется условие» [12]:

$$D \leq 8 \cdot 12 \cdot 1 = 96 \text{ м.}$$

$$58 \text{ м} \leq 96 \text{ м.}$$

Условие выполняется.

«Таким образом, принимается к установке на объекте четыре молниеотвода высотой 24м» [12].

Схема защиты ОРУ 220 кВ молниеотводами от прямых ударов молнии, а также общая зона действия четырёх стержневых молниеотводов, показана в графической части работы.

Выводы по разделу 3.

В работе, на основе расчётных данных, проведён расчёт уставок основных защит силовых автотрансформаторов, а также питающих и транзитных линий ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты).

Все выбранные уставки РЗА соответствуют требованиям нормативных документов и методик расчёта.

Рассчитаны заземление и молниезащита для установки на ОРУ 220 кВ подстанции.

Зона защиты молниезащиты удовлетворяет требуемым условиям и нормам.

Заключение

В работе разработаны мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ 220 кВ трансформаторной подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» АО «KEGOC» с модернизацией оборудования данной подстанции.

Приведено описание и анализ исходной схемы электрических соединений ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», с анализом технических данных основных составляющих структурной схемы подстанции.

Осуществлено обоснование технических решений по реконструкции ОРУ 220 кВ объекта проектирования на основе требований к схемам трансформаторных подстанций.

«Показано, что неукоснительное выполнение основных требований и аспектов, предъявляемые основными нормативными документами к схемам и основному оборудованию трансформаторных подстанций и энергосистем, приводит к реализации технически грамотного проекта, обеспечивающего высокую эффективность внедрения принятых решений и экономическую целесообразность внедрения основных мероприятий требуемой реконструкции» [12] схемы электрических соединений ОРУ 220 кВ ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и модернизации некоторого устаревшего оборудования электрической части объекта проектирования.

В результате проведения анализа технической информации, с учётом требований нормативных документов, предъявляемых к схемам объектов энергетики, установлено, что схема первичных соединений ОРУ 220 кВ подстанции нуждается в реконструкции, так как в связи с вводом в эксплуатацию двух транзитных линий в ОРУ 220 кВ, требуется расширение ОРУ 220 кВ, предусматривающее установку новых ячеек с блоками «разъединитель – выключатель» и качественные изменения в схеме электрических соединений нормального режима.

При этом каждая из транзитных линий 220 кВ, вводимая в эксплуатацию, должна быть подключена от разных секций сборных шин ОРУ 220 кВ.

Таким образом, в схеме нормального режима объекта, будет обеспечен принцип резервирования, крайне необходимый для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности.

Установлено, что в ОРУ 220 кВ на всех присоединениях необходимо провести замену устаревших масляных баковых выключателей на инновационные новейшие установки и модификации оборудования, что обеспечит необходимый уровень надёжности и бесперебойности при питании потребителей.

В работе, для подтверждения работоспособности схемы электрических соединений ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай», обусловленная реконструкцией схемы ОРУ 220 кВ, проведено техническое обоснование следующих принятых решений:

- проведён расчёт нагрузки с последующим выбором и проверочным расчётом следующих линий ОРУ 220 кВ: питающей линии от ОРУ 220 кВ к автотрансформаторам АТ1 и АТ2, новой двухцепной транзитной линии к ПС-220/110/35/10 кВ «Актюбинская», которая строится для обеспечения транзита электроэнергии от ОРУ 220 кВ к указанной подстанции, а также питающей линии от энергосистемы к ОРУ 220. В результате проверочного расчёта, обосновано и подтверждено на всех данных ВЛ-220 кВ сечение провода марки АС-300/48;
- для всех присоединений на ОРУ-220 кВ выбрана и проверена гибкая ошиновка из проводов марки АС-300/48;
- выбраны и проверены новые элегазовые выключатели ВЭБ-220-80/2500 УХЛ1 для защиты питающих и транзитных линий, с целью установки в ОРУ-220 кВ подстанции, в результате её модернизации;
- проверены на соответствие техническим условиям установки в ОРУ-220 кВ аппараты коммутации и защиты питающих и транзитных

линий 220 кВ: разъединители марки РНДЗ-16-220/1000 УХЛ1 и ограничители перенапряжения марки ОПН-220/40,5/10/600 УХЛ1.

На основе расчётных данных, проведён расчёт уставок основных защит силовых автотрансформаторов, а также питающих и транзитных линий ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты).

Все выбранные уставки РЗА соответствуют требованиям нормативных документов и методик расчёта.

Рассчитаны заземление и молниезащита ОРУ 220 кВ подстанции ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай». Все решения проверены согласно принятых методик и нормативных документов.

Таким образом, в работе расчётно-аналитическим путём решена комплексная задача по разработке, проверке и внедрению предложенных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений нормального режима ОРУ 220 кВ на ПС-220/110/35/6 кВ «Кемпирсай» и модернизации оборудования ОРУ 220 кВ данной подстанции с проверкой принятых технических решений.

Список используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2018. 256 с.
2. Булычев А.В. Релейная защита в распределительных электрических сетях. Пособие для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2021. 208 с.
3. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 26.01.2023).
4. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 26.01.2023).
5. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты. Алгоритмы и уставки. М.: Энергоиздат, 2019. 640 с., ил.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Academia, 2018. 320 с.
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
9. Постановление Правительства от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 27.01.2023).
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

- Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.
12. Правила устройства электроустановок. М.: Альвис, 2018. 632 с.
 13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.
 14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
 15. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
 16. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций 35 - 750 кВ». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 28.01.2023).
 17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 26.01.2023).
 18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 27.01.2023).
 19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2019. 136 с.
 20. Энергетическая стратегия на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: МЭ, 2020. 142 с.