

Общество с ограниченной ответственностью
«НИР Энерго»

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «НИР Энерго»,
канд. техн. наук
М.И. Петров
«27» декабря 2023 г.



ОТЧЕТ
«Расчет емкостных токов сети 35 кВ»

г. Владивосток филиала АО «ДРСК» «Приморские электрические сети»

Руководитель направления
научных исследований, канд. техн. наук

В.В. Карчин

Ответственный исполнитель

С.П. Чугунов

Чебоксары 2023 г.

Содержание

1.	Введение	3
2.	Основные термины, применяемые при выполнении и проектировании устройств заземления нейтрали сети	6
3.	Анализ состояния сетей напряжением 6-35кВ с различным видом заземления нейтрали	11
4.	Общие сведения	23
5.	Исходные данные	28
6.	Сравнение результатов расчета емкостных токов в существующей и перспективной схеме развития сети	32
7.	Выбор устройств компенсации емкостных токов	37
8.	Заключение	48
9.	Список использованной литературы	53

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

2

1. Введение

Выбор режима работы нейтрали в электрических сетях напряжением 6-35 кВ имеет большое значение при проектировании и в дальнейшем при эксплуатации. От этого выбора зависит множество факторов, а именно: ток в месте повреждения изоляции и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании на землю, уровень изоляции электрооборудования, схема построения релейной защиты от замыканий на землю, выбор средств защиты от перенапряжений, безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях.

В РФ в сетевых компаниях применяют в соответствии с [1], [2] и [6] 4 основных режима работы нейтрали: изолированная, глухозаземленная, компенсированная и резистивная нейтрали.

ПУЭ ограничивает применение режима изолированной нейтрали в зависимости от тока однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) сети (емкостного тока). Компенсация тока однофазного замыкания на землю (использование дугогасящих реакторов) должна предусматриваться при емкостных токах:

- более 30 А при напряжении 6 кВ;
- более 20 А при напряжении 10 кВ;
- более 15 А при напряжении 15-20 кВ;
- более 10 А в сетях напряжением 3-20 кВ, имеющих железобетонные и металлические опоры на воздушных линиях электропередачи, и во всех сетях напряжением 35 кВ.

Основными факторами, влияющими на надежность работы электрической сети при ОЗЗ, являются значение тока в месте повреждения, возможность появления феррорезонансных и резонансных процессов, перенапряжения на неповрежденных фазах и нейтрали сети при неустойчивых дуговых замыканиях [7] и [25].

Наиболее распространенным в России является режим изолированной нейтрали. При этом способе заземления нейтральная точка источника не присоединена к заземляющему контуру. Основными достоинствами данного

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

3

режима работы нейтрали являются простота выполнения, малый ток в месте повреждения и возможность работы сети в режиме ОЗЗ. Недостатки изолированной нейтрали более существенны. При дуговых перемежающихся замыканиях на землю велика вероятность возникновения опасных феррорезонансных явлений и недопустимого уровня перенапряжений на неповрежденных фазах. Это приводит к снижению сроков службы изоляции, повреждению электрооборудования, в частности трансформаторов напряжения. Были разработаны антирезонансные ТН типа НАМИ, однако и они имеют некоторые недостатки. В таких сетях нередко происходит переход однофазного замыкания на землю в многофазное. Кроме того, вызывает определенные затруднения обнаружение поврежденного присоединения. Но, несмотря на недостатки, режим изолированной нейтрали широко применяется в сетях 6 - 35 кВ при малом емкостном токе замыкания на землю. Нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор (ДГР), также широко используется на практике. В компенсированных сетях емкостной ток замыкания на землю компенсируется индуктивностью дугогасящего реактора. При этом ток в месте повреждения практически равен нулю (при настройке ДГР в резонанс сетью). При использовании ДГР исключается возможность возникновения феррорезонансных процессов, снижается уровень перенапряжений, снижается вероятность перехода однофазных замыканий в многофазные. Также возможна работа сети в режиме ОЗЗ [4] и [24].

Недостатками нейтрали, заземленной через ДГР являются возможность возникновения дуговых перенапряжений при значительной расстройке компенсации, высокая стоимость и сложность устройств автоматической подстройки ДГР, сложности при обнаружении поврежденного присоединения и обеспечении правильной работы релейных защит от ОЗЗ.

Согласно [2], при эксплуатации дугогасящих реакторов допускается расстройка компенсации не более 5%. Обеспечение такой точности настройки требует применения плавнорегулируемых ДГР: плунжерных (РЗДПОМ, РДМРА), с подмагничиванием сердечника (РДП, РУОМ, РЗДУОМ), с конденсаторным

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

4

регулированием (РДМК, РДСК). Реакторы со ступенчатым регулированием (например, типа РЗДСОМ) неспособны обеспечить выполнения данного условия. Плавнорегулируемые реакторы получили широкое распространение в виду возможности обеспечения поддержания настройки на резонанс с высокой точностью и поддержания его в широком диапазоне изменения емкостного тока сети современными средствами микропроцессорного управления, внедрения эффективных способов измерения параметров сети с данными устройствами, связи с устройствами релейной защиты и т.п. Но, до сих пор остаются в эксплуатации достаточно большое количество ДГР ступенчатого регулирования.

Заземление нейтрали через резистор. В настоящее время в электрических сетях применяется и резистивный режим заземления нейтрали сетей среднего напряжения [22] и [23]. Причем, подключение к сети с изолированной нейтралью, в которых не требуется установка ДГР, является практически единственным и легко реализуемым способом снижения перенапряжений, исключения феррорезонансных перенапряжения, а также и подавления дуговых замыканий. Указанный режим работы нейтрали, наряду с низкоомным способом заземления нейтрали, получил широкое применение и в мировой практике. В многочисленных публикациях, в том числе в стандартах организаций, приводятся рекомендации по выбору резисторов.

При заземлении нейтрали через активное сопротивление достигаются определенные преимущества по сравнению с изолированной или компенсированной нейтралью. Практически исключается возможность возникновения перемежающейся дуги при однофазном замыкании на землю и, как следствие, ограничиваются перенапряжения. [18] и [22].

В европейских странах наиболее распространена резистивная система, т.е. заземление через высокоомный или низкоомный резистор.

Для получения эффективного решения задачи необходимо развивать несколько направлений исследований. Прежде всего необходимо учитывать: режим ЗН (изолированная или заземленная), способ заземления (через реактор, через резистор, смешанное), величины сопротивлений реактора и резистора,

конфигурацию сети для определения места замыкания и сопротивления и её удаленность от шин питающей ПС. Это позволит точнее определить влияние перечисленных факторов на токи ОЗЗ, уровни перенапряжений, напряжение смещения нейтрали.

Дальнейшая эксплуатация рассмотренных способов заземления нейтрали в сетях среднего напряжения определит, в каких случаях наиболее рационально применять те или иные методы заземления нейтрали [1], [11], [12], [16], [24], [25] и [26].

2. Основные термины, применяемые при выполнении и проектировании устройств заземления нейтрали сети

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных, кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электрооборудование – любое оборудование, предназначенное для производства, преобразования, передачи и распределения электрической энергии.

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий, вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии (ГОСТ 30331.1-95).

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформаторы тока). К сетям с глухозаземленной нейтралью относятся сети напряжением 0,38 кВ и напряжением 110 кВ и выше.

Изолированная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

6

и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление. К сетям с изолированной нейтралью обычно относятся сети напряжением 6,10 и 35 кВ.

Заземлением какой-либо части электроустановки или другой установки называется преднамеренное электрическое соединение этой части с заземляющим устройством или заземлителем, с которых происходит стекание тока непосредственно в землю (п 3.13 ТКП-339).

Защитное заземление – заземление частей электроустановки, открытых проводящих частей и сторонних проводящих частей с целью обеспечения электробезопасности (ГОСТ 30331.2-95). Открытые проводящие части и сторонние проводящие части (ОПЧ и СПЧ) в рабочем состоянии изолированы от рабочего напряжения, но могут оказаться под напряжением вследствие повреждения изоляции.

Рабочее заземление – заземление какой-либо точки токоведущей части электроустановки, необходимое для обеспечения работы электроустановки. Рабочее заземление может осуществляться непосредственно (глухое заземление) или через специальные аппараты (пробивные предохранители, ОПН, дугогасящие реакторы, резисторы).

Замыкание на землю – случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с конструктивными частями, не изолированными от земли, или непосредственно с землей). Замыкание на землю возникают вследствие пробоя изоляции, обрыва и падения провода и т.п. (п. 3.16 ТКП-339).

Замыкание на корпус – случайное соединение находящихся под напряжением частей электроустановки с их конструктивными частями (ОПЧ) нормально не находящимися под напряжением. Замыкания на корпус возникают вследствие пробоя изоляции, случайного соприкосновения неизолированных проводов с корпусом и т.п. Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю через место замыкания. Ток замыкания на землю возникает вследствие повреждения изоляции или обрыва и падения провода на землю или на конструкции.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

ОТЧЕТ

Лист

7

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя и заземляющих проводников. *Заземлитель* – проводник или совокупность металлических соединенных между собой проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей). Заземлитель всегда находится в земле, воде или другой проводящей среде.

Искусственный заземлитель – заземлитель, специально выполняемый для целей заземления. Как правило, искусственный заземлитель выполняется из полосовой стали сечением не менее 4x12 мм или круглой стали диаметром не менее 10 мм.

Естественные заземлители – находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений 7 производственного назначения, используемые для целей заземления. К естественным заземлителям относятся металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, подземные части железобетонных опор ВЛ, водопроводные металлические трубопроводы, нулевые провода ВЛ 0,38 кВ с повторными заземлителями (могут служить единственным заземлителем при количестве ВЛ не менее двух), обсадные трубы скважин, водоводы, свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле (могут служить единственным заземлителем при количестве кабелей не менее двух) и т.п. Если сопротивление естественных заземляющих устройств имеет допустимые значения, то искусственные заземлители применяются лишь при необходимости снижения плотности токов, протекающих по естественным заземлителям.

Открытые проводящие части – токопроводящие части электроустановки, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции токопроводящих частей.

Зона растекания – область земли, в пределах которой возникает заметный градиент потенциала при стекании тока с заземлителя.

Зона нулевого потенциала – зона земли за пределами зоны растекания.

Сопротивление заземляющего устройства – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

8

Напряжение на заземляющем устройстве – напряжение, возникающее при стекании тока с заземлителя в землю между точкой ввода тока в заземляющее устройство и зоной нулевого потенциала.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой – такое удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет тоже значение, что и в земле с неоднородной структурой.

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети – отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью – трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (корпус) при одновременном прикосновении к ним человека или напряжение, появляющееся на теле человека при одновременном прикосновении к двум точкам проводников или проводящих частей, в том числе при повреждении изоляции.

Напряжение относительно земли при замыкании на корпус – напряжение между этим корпусом и зоной нулевого потенциала. Заземление функциональное (рабочее, технологическое) – заземление точки или точек системы, установки или оборудования, в целях отличных от целей электробезопасности.

Зона растекания (локальная земля) – участок земли между заземлителем и зоной нулевого потенциала.

Напряжение шага – напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю одновременным касанием ногами человека. Величину шага обычно принимают 0,8 м.

Бестоковая пауза – интервал времени, при дуговом замыкании, между моментом погасания дуги и ее повторным зажиганием;

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

9

Высокоомное резистивное заземление нейтрали сети - преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через высокоомный резистор, который создает активный ток с целью обеспечения длительной работы сети с однофазным замыканием на землю (на время поиска и отключения поврежденного присоединения оперативным персоналом) без перенапряжений и феррорезонансных явлений.

Дуговое перенапряжение - перенапряжение, возникающее в сети при неустойчивом (перемежающемся) горении дуги в месте повреждения; дуговое замыкание на землю - замыкание на землю, сопровождающееся неустойчивым горением дуги в месте повреждения.

Заземление нейтрали сети через дугогасящий реактор - преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через дугогасящий реактор, который создает индуктивный ток с целью компенсации емкостного тока в месте однофазного замыкания на землю («компенсированная нейтраль»).

Компенсация тока однофазного замыкания на землю - компенсация емкостной составляющей тока однофазного замыкания на землю за счет подключения к нейтрали дугогасящего реактора.

Направленная токовая защита от однофазных замыканий на землю - защита, реагирующая на ток и напряжение нулевой последовательности, а также электрический угол между ними. Защита подключается к фильтру токов и фильтру напряжения нулевой последовательности;

Низкоомное резистивное заземление нейтрали сети - преднамеренное электрическое соединение нейтрали сети с заземляющим устройством через низкоомный резистор, который создает активный ток с целью ограничения дуговых перенапряжений, быстрого и селективного отключения однофазного замыкания на землю и максимального охвата обмоток трансформаторов защитой от однофазного замыкания на землю

Питающая линия - линия, питающая распределительный пункт от центра питания;

Подпись и дата

Име. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Име. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

10

Переमेжающаяся дуга - дуга, имеющая неустойчивый характер горения, сопровождающийся многократными зажиганием и гашением; распределительная линия - линия, питающая ряд трансформаторных подстанций от центра питания или распределительного пункта; режим заземления нейтрали сети - способ устройства нейтрали сети, при котором нейтраль либо изолирована, либо в нее включено дополнительное оборудование: реактор, резистор или их комбинация, изменяющее величину тока однофазного замыкания на землю; резистивное заземление нейтрали сети - преднамеренное электрическое соединение нейтрали генератора или специального заземляющего трансформатора с заземляющим устройством через активное сопротивление с целью подавления дуговых перенапряжений и феррорезонансных явлений при однофазном замыкании на землю;

3. Анализ состояния сетей напряжением 6-35 кВ с различным видом заземления нейтрали

Наиболее распространенный вид повреждений в таких сетях - однофазные замыкания на землю, сопровождающиеся перемежающейся дугой и составляющие более 70 %. Возникающие при этом дуговые перенапряжения кратностью до $(3\div 4)U_{\phi}$ и более опасны для электрооборудования и, в первую очередь, для кабелей и трансформаторов напряжения [15] и [25].

Выбор способа заземления нейтрали связан главным образом с поведением системы при замыканиях на землю. Подавляющее число замыканий возникает на ВЛ в результате импульсного перекрытия при разрядах молнии с последующим переходом импульсного перекрытия в дуговой разряд. Принятый способ заземления нейтрали должен в первую очередь обеспечить наиболее быструю ликвидацию дуги замыкания на землю по возможности без нарушения электроснабжения потребителей.

Возникновение дуговых перенапряжений наиболее вероятно при перемежающейся дуге и сравнительно небольших токах ОЗЗ, не превышающих 10 А. Значение амплитуды перенапряжений при этом может достигать

$(3,5 \div 3,8)U_{\phi}$. При увеличении тока ОЗЗ дуговые перенапряжения снижаются. Это связано с тем, что дуга носит более спокойный характер, а при больших токах вообще не обрывается. При токах ОЗЗ от 10 до 20 А перенапряжения не превышают $3U_{\phi}$. При токах ОЗЗ от 20 до 50 А перенапряжения не превышают $2,7U_{\phi}$.

Параметры переходного процесса при возникновении однофазного дугового замыкания в сети с изолированной и заземленной нейтралью через ДГР определяются емкостью фаз, индуктивными сопротивлениями источника питания, трансформатора и ДГР, а также сопротивлением дуги [3]. Основными факторами, определяющими максимум перенапряжений при ОЗЗ, являются: напряжение на аварийной фазе в момент первичного зажигания дуги U_z , момент погасания дуги и напряжение повторного зажигания дуги U_{Π} . Повышение перенапряжений при дуговом замыкании на землю обусловлено тем, что вторичный пробой происходит при ненулевом значении напряжения на нейтрали сети, которое зависит от условий гашения дуги после первого пробоя и составляет $(0,5 \div 1,4)U_{\phi}$. Максимальные величины перенапряжений возникают, если наблюдается погасание дуги при переходе через нулевое значение свободной составляющей тока дуги. При быстром погасании дуги происходит заряд емкостей неповрежденных фаз до напряжения, превышающего фазное, и появляется напряжение на нейтрали. Последующие зажигания дуги в момент максимума напряжения аварийной фазы приводят к поэтапному нарастанию напряжения (эскалации напряжения) на нейтрали и к перенапряжениям на неповрежденных фазах [8], [24] и [25].

В отличие от разновидностей коротких замыканий (трехфазное, двухфазное...) разновидности ОЗЗ существенно отличаются по форме и значениям электрических величин, подводимых к измерительным органам защиты от этого вида повреждений и, следовательно, условиям функционирования последней. Все разновидности ОЗЗ можно разделить на две группы: устойчивые и неустойчивые. Устойчивые ОЗЗ, имеющие место при наличии устойчивой гальванической связи поврежденной фазы с землей

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

ОТЧЕТ

Лист

12

(металлическая связь, переходное сопротивление, устойчиво горящая дуга) характеризуются наличием в токах и напряжениях только принужденных составляющих промышленной частоты и высших гармоник.

Неустойчивые дуговые замыкания – основной вид ОЗЗ, характеризуется прерывистой формой тока, в котором преобладают свободные составляющие переходного процесса с амплитудами, достигающимися в зависимости от суммарного емкостного тока сети $I_{C\Sigma}$, удаленности точки ОЗЗ от шин, напряжения на поврежденной фазе в момент пробоя изоляции, параметров линий электрической сети.

Горение заземляющей дуги в узком канале (кабеле) сопровождается фонтанообразным выбрасыванием проводящих элементов, образовавшимися газами во внешнюю атмосферу. После обрыва дуги при остывании образовавшегося пузыря давление в нем падает и под действием уплотненной разжиженной мастики (или масла) газовый пузырь начинает заполняться прежде всего мастикой, загрязненной углеродом, окислами металлов и асфальтенами. Диэлектрическая прочность в месте первоначального пробоя резко падает, что создает благоприятные условия для повторного пробоя, после которого процесс гашения дуги протекает тем же порядком, что и при первом. По мере накопления в месте пробоя после каждого зажигания проводящих элементов (загрязнений), интервалы между повторными зажиганиями сокращаются и дуга постепенно переходит к устойчивому горению, в результате которого может произойти взрыв, если дуга горит в закрытом объеме. При заплывающих пробоях интервалы времени между повторными зажиганиями в значительной мере зависят от вязкости мастики или масла (кинематической вязкости). Такие пробои появляются вначале в виде практически незаметных клевков. Однако, при повторениях их длительность увеличивается и в сети могут появляться заметные смещения нейтрали. Последствие перенапряжений заключается в кумулятивном развитии слабых мест, то есть каждое воздействие их подготавливает пробой при последующих случайных перенапряжениях [5]. Эффективность режима заземления нейтрали принято оценивать отношением числа ОЗЗ, не перешедших

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

13

в двойное замыкание (ДЗЗ) или междуфазное короткое замыкание (МКЗ), отключаемых релейной защитой, к общему числу ОЗЗ. Эффективность режима заземления нейтрали рассчитывается по формуле 23. Показатель режима заземления нейтрали можно рассматривать как показатель, характеризующий надежность функционирования электрической сети с ОЗЗ. В соответствии с многочисленными публикациями и опытом эксплуатации, эффективность режимов заземления нейтрали сети не превышает: - для сети с изолированной нейтралью – 0,7; - для сетей с резонансно заземленной нейтралью – 0,8.

Это значит, при резонансно заземленной нейтралью, при резонансной настройке и наложенной автоматике регулирования индуктивности из десяти ОЗЗ, два должны перейти в двухфазные (трехфазные) или междуфазные.

Однако, несмотря на очевидные преимущества резонансного заземления нейтрали, опыт эксплуатации показывает, что наряду с сетями, имеющими достаточно высокий коэффициент эффективности, большое количество компенсированных сетей имеют показатели эффективности сопоставимые или даже худшие, чем сети с изолированной нейтралью. Основными причинами такого положения в компенсированных сетях является следующее: - недостаточное техническое совершенство плунжерных ДГР и их автоматики, достаточно высокий уровень зоны нечувствительности, необходимость введения выдержки времени работы при работе автоматики настройки, необходимость блокирования работы автоматики при ОЗЗ; - несимметрия фазных емкостей в воздушных сетях; - большие значения остаточного (не скомпенсированного) тока в месте ОЗЗ при больших токах ОЗЗ из-за влияния активной составляющей тока ОЗЗ и величины гармонических, присутствующих в токе ОЗЗ; - недостаточное техническое совершенство устройств защиты и селективной сигнализации наличия ОЗЗ, приводящих к необходимости увеличения остаточного тока в месте повреждения для обеспечения требуемой надежности, то есть уход от резонансной настройки. Активная составляющая может составлять до 10% общего тока ОЗЗ. Поэтому при токах 200-300А остаточный ток может быть равен 20-30А и более, что превышает предел по самопогашению дуги. Большая

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

14

величина коэффициента успокоения ограничивает область эффективного применения ДГР из-за длительного восстановления напряжения на поврежденной фазе. В сетях с кабелями с пластмассовой изоляцией, по сравнению с воздушными, теряется основное преимущество компенсированных сетей – возможность продолжительной бесперебойной работы сети при ОЗЗ, т.к. всякое замыкание фазы кабеля на землю, как правило, является результатом повреждения изоляции кабеля, которое должно быть немедленно установлено, а аварийный участок отключен [10], [11], [12] и [14]. Принято различать два варианта заземления нейтрали через резистор: - высокоомное и низкоомное.

При низкоомном заземлении нейтрали через резистор линейное значение тока ОЗЗ в месте повреждения ограничивается двумя условиями: - обеспечение устойчивости функционирования простых токовых защит нулевой последовательности от ОЗЗ во всех режимах работы сети; - полное исключение возможности возникновения наиболее опасных дуговых перемежающихся ОЗЗ. Основным недостатком низкоомного заземления нейтрали является возможность существенного увеличения числа отключений элементов сети из-за перехода кратковременных самоустраняющихся (при других режимах нейтрали сети) пробоев изоляции в устойчивые повреждения.

Выбор режима заземления нейтрали в сети 6-35 кВ (или, по-другому, способа заземления нейтрали) - исключительно важный вопрос при проектировании и эксплуатации (реконструкции). Режим заземления нейтрали в сети 6-35 кВ определяет:

- ток в месте повреждения и перенапряжения на неповрежденных фазах при однофазном замыкании;
- схему построения релейной защиты от замыканий на землю; - уровень изоляции электрооборудования;
- выбор ОПН для защиты от перенапряжений; - бесперебойность электроснабжения;
- допустимое сопротивление контура заземления подстанции;

Подпись и дата

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

15

- безопасность персонала и электрооборудования при однофазных замыканиях. Режим заземления нейтрали в сети 6-35 кВ влияет на значительное число технических решений, которые реализуются в конкретной сети. В сетях среднего напряжения (с номинальным напряжением до 69 кВ по зарубежной классификации) применяются четыре режима заземления нейтрали:

- изолированная (незаземленная);
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный);
- глухозаземленная.

Кроме указанных четырех режимов заземления нейтрали в мире применяется также комбинированный режим заземления нейтрали, при котором параллельно с рабочей обмоткой ДГР подключается высокоомный резистора. Такая комбинация массово применяется в нашей стране с 90-х гг. прошлого столетия, в основном в с реакторами ступенчатого регулирования с целью снижения перенапряжений при расстройках компенсации. Пособ активно применяется, например, и в воздушных сетях 20 кВ Германии, где ДГР обеспечивает гашение кратковременных однофазных перекрытий изоляции на землю. Аналогом комбинированного способа заземления нейтрали является подключение низкоомного резистора ко вторичной обмотке реактора. Сопротивление резистора определяется величиной тока, создаваемого резистором в первичной цепи реактора, который бы протекал через выбранный высокоомный резистор. Наличие нескольких низкоомных низковольтных резисторов позволяет изменять величину тока в первичной цепи реактора, и позволяет управлять режимом заземления нейтрали – от высокодобротной резонансно-заземленной нейтрали до низкодобротного режима активно-индуктивного заземления нейтрали. При этом, решая множество задач, как по созданию условий снижения риска возникновения ОЗЗ, так и эффективного подавления дуговых замыканий, определения поврежденных присоединений средствами «земляной защиты, а также отключения поврежденных присоединений средствами РЗиА линий по втокам нулевой последовательности. При этом низкоомный резистор подключается к нейтрали

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взм. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

ОТЧЕТ

Лист

16

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

сети параллельно реактору только кратковременно специальным однофазным силовым выключателем. Резистор в такой схеме служит для селективного определения фидера с устойчивым однофазным замыканием на землю. Если посмотреть на мировую практику эксплуатации сетей среднего напряжения (таблица 1), то хорошо видно, что в отличие от России, где используется режим изолированной нейтрали (примерно 80 % сетей 6-35 кВ) и режим заземления через ДГР (примерно 20 % сетей 6-35 кВ), в других странах чаще всего применяется заземление нейтрали через резистор или дугогасящий реактор.

В соответствии с [1], [2] и [4]. в сетях 6–35 кВ в России разрешены все режимы заземления нейтрали, кроме глухого заземления. Четкого определения и рекомендаций, в каких случаях в сетях 6–35 кВ должен использоваться тот или иной режим заземления нейтрали, в ПУЭ, к сожалению, нет. В том же пункте 1.2.16 только указаны граничные емкостные токи, начиная с которых должна применяться компенсация емкостного тока.

Отсутствие вариантов по использованию режима нейтрали в сетях 6–35 кВ в [1] вероятно связано со сложностью формирования таких рекомендаций для большого разнообразия сетей 6–35 кВ (сельских, городских, сетей промышленных предприятий и др.) и необходимости учета при этом многих факторов.

Существующий (устаревший) нормативный документ, касающийся режима заземления нейтрали, РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87) «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6–35 кВ», рассматривает компенсацию исключительно с помощью ДГР (катушек). В части существующих нормативных документов следует отметить отдельный пункт 5.11.8 в последней редакции «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей», посвященный режиму заземления нейтрали, который гласит: «...В сетях собственных нужд 6 кВ блочных электростанций допускается режим работы с заземлением нейтрали сети через резистор».

Таблица 1 - Способы заземления нейтрали

Страна	Принятое напряжение кВ	Способ заземления нейтрали			
		Изолированная	Заземленная через реактор (ДГР)	Заземленная через резистор	Глухозаземленная
Россия	6-35	+	+	-	-
Австралия	11-12	-	-	+	+
Канада	4-25	-	-	+	+
США	4-25	-	-	+	+
Испания	10-30	-	+	+	+
Италия	10-20	-	+	+	-
Португалия	10-30	-	-	+	-
Франция	12-24	-	+	+	-
Япония	6,6	-	-	+	-
Германия	10-20	-	+	+	-
Австрия	10-30	-	+	+	-
Бельгия	6,3-17	-	-	+	-
Великобритания	11	-	-	+	+
Швейцария	10-20	-	+	+	-
Финляндия	20	+	+	+	-
Чехия	10-20	-	+	+	-
Словакия	10-20	-	+	+	-
Швеция	20	-	+	+	-
Норвегия	20	-	+	+	-

Многолетний опыт эксплуатации сетей с изолированной нейтралью, накопленный не только в России, но и во всем мире, позволяет говорить о

Изм. № подл. Подпись и дата
Взам. инв. № Инв. № дубл. Подпись и дата

существенных недостатках режима изолированной нейтрали в сетях 6–35 кВ, таких как:

- дуговые перенапряжения и пробой изоляции на первоначально неповрежденных фидерах при однофазных замыканиях на землю в сети;
- возможность возникновения множественных повреждений изоляции (одновременное повреждение изоляции нескольких фидеров) при однофазных замыканиях на землю;
- повреждения трансформаторов напряжения (НТМИ, ЗНОЛ, ЗНОМ) при замыканиях на землю; сложность обнаружения места повреждения (места замыкания);
- неправильная работа релейных защит от однофазных замыканий на землю;
- опасность электропоражения персонала и посторонних лиц при длительном существовании замыкания на землю в сети.

В связи с наличием такого количества недостатков режим изолированной нейтрали в сетях 6–35 кВ был исключен в подавляющем большинстве стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии и других странах еще в 40–50-х годах прошлого века. В сетях среднего напряжения 3–69 кВ стран Европы, Северной и Южной Америки, Австралии режим изолированной нейтрали применяется крайне редко (в исключительных случаях). В основном сети среднего напряжения 3–69 кВ этих стран работают с нейтралью заземленной через резистор или ДГР.

Область применения каждого из способов заземления нейтрали должен определяться прежде всего требованиями к надежности электроснабжения: резонансное – в сетях с электроприемниками, не допускающими даже кратковременных перерывов электроснабжения (по технологическим причинам, по требованиям безопасности), резистивное – в сетях, допускающих отключения электроприемников, с изолированной нейтралью – в сетях малой протяженности [24].

В последние годы в сетях 6 – 10 кВ вместо кабелей с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ-кабели) стали активно применять кабели с изоляцией из сшитого

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

19

полиэтилена (СПЭ-кабели), как трехфазные, так и однофазные. Имея целый ряд технических преимуществ, эти кабели в отношении реакции на ОЗЗ имеют существенные недостатки по сравнению с кабелями бумажной пропитанной изоляцией. Существенным недостатком кабелей с СПЭ-изоляцией является отсутствие эффекта самовосстановления СПЭ-изоляции. Это необходимо предусмотреть заблаговременно и создать такие условия, чтобы в эксплуатации минимизировать их каскадный пробой. Защита при возникновении ОЗЗ в этих кабелях должна действовать на отключение. Если этого не предусмотреть, то может произойти следующее: - в трехфазных кабелях ОЗЗ из однофазного постепенно переходит в многофазное, что сопровождается выделением большого количества тепла. При этом повреждение может распространяться на соседние кабели; - в однофазных кабелях ОЗЗ может продолжаться неопределенно долгое время (поскольку изоляция не восстанавливается) и сопровождается постепенным выгоранием кабеля с переходом системы питания соответствующих потребителей в неполнофазный режим. При отсутствии специальных защит у потребителей такой режим работы может привести к массовым повреждениям, в первую очередь электродвигателей. Перекрытия фазной изоляции на арматуру железобетонной опоры, если ВЛ долго не отключается, приводит к «выгоранию» бетона опоры на уровне 3-5 см ниже уровня грунта. В связи с этим опора теряет свою прочность. Это в свою очередь может привести к падению опоры на землю. В результате длительного протекания тока ОЗЗ грунт возле стойки высыхает, растет его сопротивление, после чего увеличивается опасность поражения людей шаговым напряжением или напряжением прикосновения. Если ОЗЗ длительно не отключается, существенно увеличивается вероятность возникновения пожаров, например, в ячейке КРУ, из-за возникновения высокотемпературной дуги в месте ОЗЗ.

Все разнообразие возможных режимов заземления нейтрали электрических сетей среднего напряжения 6 - 10 кВ можно разделить на две группы. К первой группе относятся режимы, допускающие работу сети с ОЗЗ. Этот подход к заземлению нейтрали исходит из основного положения, что замыкание одной

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

20

фазы на землю не влияет на треугольник междуфазных напряжений, определяющий работу потребителей, поэтому нет необходимости в немедленном отключении. Защита от ОЗЗ в сетях с такими режимами заземления нейтрали выполняется, как правило, с действием на сигнал. Основным требованием к режиму заземления нейтрали в этом случае является создание условий, обеспечивающих надежность функционирования сети с ОЗЗ на время, достаточное для отыскания поврежденного элемента и его отключения вручную без нарушения электроснабжения потребителей. Такой подход к режиму заземления нейтрали и способу действия защиты от ОЗЗ позволяет предотвратить внезапность нарушения электроснабжения потребителей, которая в большинстве отраслей промышленности является основной причиной ущерба, обусловленного отключением поврежденного элемента.

Ко второй группе относятся режимы, не допускающие работу сети с ОЗЗ. Этот подход основан на предположении, что обеспечить достаточно надежную работу сети с замыканием одной фазы на землю очень трудно, т.к. ОЗЗ представляет опасность не только для поврежденного элемента, но и для всей электрической сети в целом, т.е. является дефектом в электроустановке, требующим немедленного отключения поврежденного элемента и возвращения электрической сети в нормальное, без смещения нейтрали, состояние. Основными требованиями к режиму заземления нейтрали в этом случае являются обеспечение высокой устойчивости функционирования наиболее простых и надежных токовых защит от ОЗЗ и надежности функционирования электрической сети в интервале времени от момента возникновения ОЗЗ до его отключения защитой от этого вида повреждений. Основным недостатком данного подхода к выбору режима нейтрали и способа действия защиты от ОЗЗ является увеличение числа внезапных отключений поврежденного элемента и нарушений электроснабжения потребителей. При выборе подхода к режиму заземления нейтрали сетей 6 - 35 кВ необходимо учитывать следующие положения.

1. Увеличение степени резервирования и автоматизации распределительных электрических сетей, систем электроснабжения и технологических процессов

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

21

потребителей во многих случаях снизили остроту требования сохранения в работе (на ограниченное время) поврежденных при ОЗЗ элементов (линий, электродвигателей и др.). В связи с этим может быть существенно расширена область применения в сетях 6 - 10 кВ защит от ОЗЗ с действием на отключение. Действие защиты от ОЗЗ на отключение представляется необходимым при любом режиме заземления нейтрали в следующих случаях: - на всех элементах, внезапное отключение которых не приводит к нарушению электроснабжения и технологического процесса у потребителей (например, при наличии резерва); - в электроустановках, где отключение ОЗЗ необходимо по требованиям электробезопасности; - на генераторах, мощных электродвигателях и в других случаях, когда ожидаемый ущерб от внезапного отключения поврежденного элемента меньше, чем ущерб от последствий длительного протекания тока ОЗЗ или перехода замыкания в КЗ (например, пожары в кабельных тоннелях вследствие дуговых перемежающихся ОЗЗ, повреждения генераторов и электродвигателей, приводящие к длительному ремонту и простою технологического оборудования и др.).

Во всех остальных случаях предпочтительнее действие защиты от ОЗЗ на сигнал (селективная сигнализация ОЗЗ), позволяющее при определенных условиях выявить поврежденный элемент и отключить его без нарушения электроснабжения потребителей.

2. Расширение области применения защиты от ОЗЗ с действием на отключение создает возможности для применения режимов заземления нейтрали, не допускающих длительную работу сети с ОЗЗ, но более эффективных в плане ограничения перенапряжений в переходных режимах ОЗЗ, исключения феррорезонансных процессов и т.п. (например, низкоомное заземление нейтрали вместо режима изолированной нейтрали или режима компенсации емкостных токов ОЗЗ).

3. Полный отказ или значительное ограничение области применения в сетях 6 - 10 кВ режимов заземления нейтрали, обеспечивающих возможность работы сети с ОЗЗ в течение ограниченного времени, и соответственно, защиты от ОЗЗ с

действием на сигнал (сигнализации ОЗЗ) в настоящее время и в ближайшей перспективе вряд ли возможны по следующим причинам: на уровне распределительных сетей отключение от защиты линий может приводить к нарушению электроснабжения предприятий и отдельных районов; возможности избирательного отключения потребителей на этом уровне в большинстве случаев довольно ограничены, поэтому фактор внезапности нарушения электроснабжения играет наиболее существенную роль в величине обусловленного отключением ущерба; - на уровне систем электроснабжения промышленных предприятий отключение от защиты элементов (линий, трансформаторов, электродвигателей) может приводить к необходимости отключения цехов, установок и вследствие этого останова или нарушению технологического процесса; внезапность отключения в большинстве отраслей промышленности является основным фактором, влияющим на величину и характер ущерба [26].

Выбор конкретного режима заземления нейтрали может быть только результатом учета большого числа многообразных факторов. Важнейшими из них являются: надежность работы электрической сети с ОЗЗ в течение заданного времени, эффективность функционирования защиты от ОЗЗ, безопасность ОЗЗ для людей и животных, находящихся вблизи места повреждения, воздействие тока в месте повреждения на ЛЭП. Основными факторами, влияющими на надежность работы электрической сети при ОЗЗ, являются значение тока в месте повреждения, возможность появления феррорезонансных и резонансных процессов, перенапряжения на неповрежденных фазах и нейтрали сети при неустойчивых дуговых замыканиях.

4. Общие сведения

1. Задание по расчету емкостных токов сети 35 кВ

Выполнить расчет емкостных токов сети 35 кВ для разработки технических решений по повышению надежности электроснабжения и защите оборудования при однофазных замыканиях на землю, рабочему проектированию и реализации технического перевооружения системы заземления нейтрали электрической сети 35 кВ г. Владивосток.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

23

2. Цель расчета

Целью является разработка и определение стоимости технических решений по повышению надежности электроснабжения и защите оборудования при однофазных замыканиях на землю, рабочему проектированию и реализации технического перевооружения системы заземления нейтрали электрической сети 35 кВ г. Владивосток.

3. Исходные данные

Таблица 1. Перечень объектов заказчика

№ п/п	Наименование объекта	Расположение объекта	Наименование основного средства	Примечания
1	2	3	4	5
1	Расчет емкостных токов сети 35 кВ	Приморский край, г. Владивосток, г. Артем	Сеть 35 кВ г. Артем, г. Владивосток	Существующая схема сети 35 кВ. Перспективная схема развития сети 35 кВ

Иные требования и сведения общего характера

Заказчик предоставляет схемы сети ЛЭП 35 кВ (поопорные, однолинейные), информацию об установленных ДГР на ПС и перспективу развития сетей, схемы ПС 35/10 кВ, ПС 110/35/10 кВ и ПС 220/110/35/10 кВ.

Таблица 2. Перечень и объем оказываемых услуг

№ п/п	Наименование услуг / этапа услуг	Единица измерения	Кол-во
1	2	3	4
1.	Расчет емкостных токов сети 35 кВ г. Владивосток, г. Артем		
1.1.	Сбор и анализ исходных данных: схем и режимов эксплуатации сети 35 кВ г. Владивосток, параметров	шт.	1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

24

	электротехнического оборудования, перспектива развития сетей 35 кВ, технологические особенности работы оборудования		
1.2.	Расчет емкостных токов однофазного замыкания на землю в сети 35 кВ г. Владивосток и г. Артем в количестве 39 ЛЭП. Предварительный перечень ЛЭП 35 кВ: - КЛ 35 кВ Голдобин – Рыбный порт - ВЛ 35 кВ Голдобин – РП-4 - КЛ 35 кВ РП-4 – Рыбный порт - КЛ 35 кВ Луговая – РП-4 - КВЛ 35 кВ А – 3 с отпайками на ПС Соллерс, ПС Луговая №1 - КВЛ 35 кВ А – 3 с отпайками на ПС Соллерс, ПС Луговая №2 - КВЛ 35 кВ 3 – Ц - КВЛ 35 кВ Залив – Орлиная с отпайкой на ПС Телецентр - КВЛ 35 кВ Залив – Голубинка – Телецентр - КВЛ 35 Голубинка – Ц - КВЛ 35 кВ Орлиная – Инструментальный завод - КВЛ 35 кВ ВТЭЦ-1 – Залив №1 - КВЛ 35 кВ ВТЭЦ-1 – Залив №2 - ВЛ 35 кВ РП-3 – Лазурная - КЛ 35 кВ Спутник – РП-3 №1 - КЛ 35 кВ Спутник – РП-3 №2 - КВЛ 35 кВ Спутник – Сахарный Ключ - ВЛ 35 кВ Спутник – Угловая - КВЛ 35 кВ Чайка – Ипподром с отпайкой на ПС Седанка	шт.	1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Изм. № подл.

Подпись и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подпись и дата

	- КЛ 35 кВ Чайка – Океанская - КЛ 35 кВ Океанская – Сахарный Ключ - ВЛ 35 кВ Академическая – Ипподром - ВЛ 35 кВ Бурун – Академическая - КЛ 35 кВ Бурная – Эгершельд №1 - КЛ 35 кВ Бурная – Эгершельд №2 - КВЛ 35 кВ Эгершельд – КЭТ с отпайкой на ПС Зеленая - КВЛ 35 кВ Русская - КЭТ с отпайкой на ПС Зеленая - КВЛ 35 кВ Русская – Эгершельд - КЛ 35 кВ Русская – Центральная №1 - КЛ 35 кВ Русская – Центральная №1 - КВЛ 35 кВ Центральная – Коммунальная с отпайкой на ПС Океанариум № 1 - КВЛ 35 кВ Центральная – Коммунальная с отпайкой на ПС Океанариум № 2 - ВЛ 35 кВ Заводская – Угловая - ВЛ 35 кВ Западная – Заводская №1 - ВЛ 35 кВ Западная – Заводская №2 - ВЛ 35 кВ Западная – Надеждинская - ВЛ 35 кВ Надеждинская - Шмидтовка - ВЛ 35 кВ Надеждинская – Соловей Ключ с отпайкой на ПС Дачная - ВЛ 35 кВ Владивосток - Соловей Ключ с отпайкой на ПС Вираз		
1.3.	Уточнение центров питания сетей 35 кВ Владивостокского и Артемовского районов электрических сетей, на которых требуется установка устройств компенсации емкостных токов.	шт.	1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	Предварительный перечень центров питания для определения необходимости установки устройств компенсации емкостных токов: - ПС 110 кВ Голдобин - ПС 110 кВ А - ПС 110 кВ Голубинка - ПС 110 кВ Залив - ПС 110 кВ Орлиная - ПС 110 кВ Лазурная - ПС 110 кВ Спутник - ПС 110 кВ Чайка - ПС 110 кВ Седанка - ПС 35 кВ Ипподром (в ближайшей перспективе перевод на 110 кВ) - ПС 110 кВ Бурун - ПС 220 кВ Западная - ПС 110 кВ Бурная - ПС 220 Русская		
1.4.	Расчет емкостных токов в нормальном режиме существующей схемы.	шт.	1
1.5.	Расчет емкостных токов в ремонтных схемах с максимальным подключением количества ЛЭП.	шт.	1
1.6.	Расчет емкостных токов в нормальном режиме перспективной схемы развития сети.	шт.	1
1.7.	Расчет емкостных токов в ремонтных схемах с максимальным подключением количества ЛЭП с учетом перспективной схемы развития сети.	шт.	1
2.	Сравнение результатов расчета емкостных токов в существующей и перспективной схеме развития сети.	шт.	1

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

27

Технические характеристики кабелей из сшитого полиэтилена

Номинальное напряжение, кВ	Номинальное сечение жилы мм ²	Ёмкость, мкФ/км	Реактивное ёмкостное сопротивление, кОм/км	Ток заряда на фазу, А/км	Ёмкостный ток короткого замыкания на землю, А/км
35	50	0,121	26,32	0,77	2,30
	70	0,134	23,77	0,85	2,55
	95	0,149	21,37	0,95	2,84
	120	0,161	19,78	1,02	3,06
	150	0,175	18,20	1,11	3,33
	185	0,187	17,03	1,19	3,56
	240	0,205	15,54	1,30	3,90
	300	0,225	14,15	1,43	4,28
	400	0,246	12,95	1,43	4,68
	500	0,268	11,88	1,56	5,10
	630	0,292	10,91	1,85	5,56
	800	0,326	9,77	2,07	6,21

Данные «Холдинга Кабельный Альянс»:

1. АО «Электрокабель» Кольчугинский завод.
2. АО «Сибкабель».
3. АО «Уралкабель».

5 Исходные данные

1. В соответствии с согласованной Заказчиком рабочей документацией, планируется выполнить работы по реконструкции ВЛ 35 кВ ПС «А» - ПС «З» с отпайкой на ПС «Соллерс», ПС «Луговая» №1, №2. По факту ввода реконструированного участка ЛЭП 35 кВ будет выполнен демонтаж

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ОТЧЕТ	Лист
						28

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

существующей ВЛ 35 кВ ПС «А» - ПС «З» с отпайкой на ПС «Соллерс», ПС «Луговая» №1, № 2.

2. В соответствии с согласованной Заказчиком рабочей документацией, планируется выполнить работы по реконструкция ВЛ 35 кВ Академическая – Ипподром с переводом в кабельное исполнение протяженностью 3,17 км. С учетом условий передаваемой мощности и условий прокладки КЛ 35 кВ предполагается силовой кабель марки АПвПу2г-1х400мк/35-35 кВ одножильный с изоляцией из сшитого полиэтилена, с усиленной оболочкой, герметизацией (продольной, поперечной) водоблокирующими лентами, с разделительным слоем из электропроводящей водоблокирующей ленты.

3. В соответствии с техническими условиями АО "ДРСК" выполняется проектная рабочая документация: "Переустройство (реконструкция) участка ВЛ 35 кВ "Бурун-Академическая" для комплексной застройки жилого квартала в г. Владивосток". В проекте предусмотрено строительство одной линии электропередач в ж.б. лотках. Проектируемый кабель марки АПвПу2г-3х(1х240/70) - кабель алюминиевый одножильный, сечением токопроводящей жил 240 мм², с алюминиевой жилой, с изоляцией их сшитого полиэтилена с продольной и поперечной герметизацией.

Кабель АПвПу2г-1х240/70-10 при прокладке в земле может пропустить примерно 5,1 МВт. Длительно допустимая токовая нагрузка на кабель АПвПу2г-1х240/70 в земле (в плоскости): 426 А; треугольником: 422 А на воздухе (в плоскости): 607 А; треугольником: 531 А. Допустимый ток односекундного КЗ кабеля АПвПу2г-1х240/70 22,7 кА. Прокладка кабеля АПвПу2г-3х(1х240/70) в кабельной траншее от проектируемой опоры до проектируемой опоры осуществляется в ж.б лотках согласно плана (чертеж №10-2022-ЭС листы 1) с учетом всех пересечений.

4. Проектом заложена реконструкция КВЛ 35 кВ Залив – Голубинка с отпайкой на ПС «Телецентр» с переводом в кабельное исполнение протяженностью 1,47 км. С учетом условий передаваемой мощности и условий прокладки КЛ 35 кВ предполагается силовой кабель СПЭ 35 кВ, марки

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ОТЧЕТ

Лист

29

АПвПу2гж-1х500мк/70А-35 с сечением алюминиевой токопроводящей жилы 500 мм², с сечением проводящего экрана 70 мм², одножильный с изоляцией из сшитого полиэтилена, с усиленной оболочкой, герметизацией (продольной, поперечной) водоблокирующими лентами, с разделительным слоем из электропроводящей водоблокирующей ленты.

Длительно допустимый ток для проектируемого кабеля составит 561 А. Отпайка на ПС «Телецентр» выполняется от проектируемой КЛ путем завода на ПС «Телецентр» КЛ Залив-Телецентр и КЛ Телецентр-Голубинка с их пофазным соединением шинками и одновременной отпайкой фазным проводом в соответствующую ячейку РУ-35. Размещение муфт указанных КЛ проектируется на отдельных металлоконструкциях на территории ПС «Телецентр».

5. Проектом предусмотрена реконструкция КВЛ 35 кВ Залив – Орлиная с отпайкой на ПС «Телецентр» с переводом в кабельное исполнение протяженностью 1,88км. С учетом условий передаваемой мощности и условий прокладки КЛ 35 кВ предполагается силовой кабель марки АПвПу2г-1х500мк/35 одножильный с изоляцией из сшитого полиэтилена, с усиленной оболочкой, герметизацией (продольной, поперечной) водоблокирующими лентами, с разделительным слоем из электропроводящей водоблокирующей ленты. Длительно допустимый ток для данного кабеля составляет 561 А.

6. В соответствии с проектным заданием запланирована реконструкция КВЛ 35 кВ Орлиная – Инструментальный завод с переводом в кабельное исполнение протяженностью 0,85км. С учетом условий передаваемой мощности и условий прокладки КЛ 35 кВ предполагается силовой кабель марки АПвПу2г-1х500мк/35 одножильный с изоляцией из сшитого полиэтилена, с усиленной оболочкой, герметизацией (продольной, поперечной) водоблокирующими лентами, с разделительным слоем из электропроводящей водоблокирующей ленты. Длительно допустимый ток для данного кабеля составляет 561 А.

7. Проектом заложено строительство ПС 35/6 кВ «Генерация» мощностью 6,3 МВА со строительством одноцепной ЛЭП от ЛЭП 35 кВ АТЭЦ-

Подпись и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подпись и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

30

Птицефабрика до ПС 35/6 «Генерация» протяженностью 4,2 км и ЛЭП 6 кВ от РУ 6 кВ ПС «Генерация» до границы земельного участка заявителя ПАО «РусГидро».

Протяженность проектируемого линейного объекта составляет - 4,857 км. В объем строительства КВЛ 35 кВ от ВЛ 35 кВ АТЭЦ-Птицефабрика до ПС 35/6 кВ «Генерация» входит: - строительство КВЛ 35 кВ отпайкой от

ВЛ 35 кВ АТЭЦ-Птицефабрика с территории ОРУ АТЭЦ до проектируемой ПС 35/6 кВ «Генерация».

воздушный участок составляет 0,190 км; кабельный участок составляет 4,667 км.

Марка провода на воздушном участке АС-120/19.

Марка кабеля: АТЭЦ – опора №1 Опора №2 – ПС «Генерация» АПвПу2г-1х95/50-35кВ АПвПу2г-1х70/35-35кВ.

На кабельных участках проектируемой КВЛ 35 кВ предусмотрена прокладка одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена марок АПвПу2г-1х95/50-35кВ и АПвПу2г-1х70/35-35кВ с алюминиевой жилой и медным экраном.

8. Заказчиком по проекту предусматривается строительство ПС 110 кВ «Прохладная» с установкой двух трансформаторов 110/35/6 кВ мощностью 40 МВА каждый. Строительство заходов ВЛ 35 кВ Надеждинская – Шмидтовка в РУ 35 кВ ПС 110 кВ «Прохладная», ориентировочной протяженностью 0,5 км. каждый сечением 150 кв.мм, с образованием ВЛ 35 кВ Надеждинская - Прохладная и ВЛ 35 кВ Прохладная – Шмидтовка. Строительство заходов ВЛ 110 кВ Надеждинская/т-Западная в РУ 110 кВ ПС 110 кВ «Прохладная» одножильным кабелем с сечением жил не менее 800 мм², ориентировочной протяженностью 1,9 км каждый, с образованием КВЛ 110 Надеждинская/т-Прохладная и КВЛ 110 кВ Западная – Прохладная.

В соответствии с решениями проектной организации на ЗРУ 35 кВ ПС «Прохладная» предусматриваются отходящие линии 35 кВ. Линия 35 кВ (заходы ВЛ 35 кВ Надеждинская – Шмидтовка в РУ 35 кВ ПС 110 кВ Прохладная, ориентировочной протяженностью 0,5 км каждый сечением 150 мм², с образованием ВЛ 35 кВ Надеждинская - Прохладная и ВЛ 35 кВ Прохладная –

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

31

Шмидтовка): –в первом варианте предполагается выполнить линию подземной прокладкой кабеля; –во втором воздушной двухцепной линией вдоль существующей автодороги.

По 1-у варианту, заложенная в проекте трасса КВЛ 35 кВ начинается в районе существующих опор №№106, 107 ВЛ 35 кВ Надеждинская - Шмидтовка, заканчивается в водной ячейке ЗРУ 35 кВ проектируемой ПС 110 кВ «Прохладная». Для соединения проектируемых кабельных участков с существующей ВЛ 35 кВ Надеждинская - Шмидтовка проектом предусмотрена замена существующей промежуточной опоры №106 шифра СК-1 на анкерную типа У110-1К, а также установка новой анкерной опоры У110-1К в 54 м от существующей опоры №107 (опора устанавливается осью траверс перпендикулярно оси ВЛ пролета №107 - №10, угол поворота пролета №107 - №10 протяженностью 54 м относительно оси существующей ВЛ составляет 25°08'). При трассировании КВЛ 35 кВ учитывался ранее выполненный проект по реконструкции ВЛ 35 кВ Давыдовка - Шмидтовка и ВЛ 35 кВ Шмидтовка - Надеждинская для строительства жилого микрорайона в районе п. Новый, в частности план жилого микрорайона в районе п. Новый.

1-й вариант не предусмотрен техническим заданием на проектирование, поэтому необходимо дополнение к техническому заданию на проектирование, перевыдача технических условий на присоединение к сетям АО «ДРСК», возможны новые согласования с заинтересованными организациями.

По 2-у варианту заложенному в проекте трасса двухцепной ВЛ 35 кВ начинается в районе существующих опор №№106, 107 ВЛ 35 кВ Надеждинская - Шмидтовка, заканчивается на портале 35 кВ проектируемой ПС 110 кВ «Прохладная». Для соединения проектируемой двухцепной ВЛ 35 кВ с существующей ВЛ 35 кВ Надеждинская-Шмидтовка проектом предусмотрена замена существующей промежуточной опоры №106 на анкерную типа У35-2т, а также установка новой анкерной опоры У35-2т в 54 м от существующей опоры №107.

Подпись и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

ОТЧЕТ

Лист

32

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

9. Заказчиком по проекту заложена реконструкция ВЛ 35 кВ Спутник - Угловая с переводом в кабельное исполнение. В объем строительства по реконструкции КВЛ 35 кВ входит: – замена существующего провода (с сохранением существующих опор) от порталов ПС «Спутник» до опоры №4(ПК0+00); – строительство КВЛ 35 кВ от №4 (ПК0+00) до портала ПС «Угловая».

Общая протяженность проектируемого участка ВЛ: 8,434 км. Из них воздушный участок 8,152 км, кабельный участок 0,282 км. Кроме того предусматривается замена провода на участке ПС «Спутник» - оп.№4 0,327 км. Марка провода на воздушном участке линии 35 кВ АСку-120/19, На кабельных участках реконструируемой КВЛ 35 кВ предусмотрена прокладка одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена АПвПу2г-1х630/35-35кВ с многопроволочной алюминиевой жилой сечением 630 мм², с медным экраном сечением 35 мм².

10. В соответствии с информацией заказчика, в 2011 году на двух секциях 35 кВ ПС 110/35/6 кВ «Бурная» были установлены защитные резисторы типа РЗ-200-35 (сопротивление 200 Ом, номинальное напряжение 35 кВ, время работы 10 с) производства ООО «Болид».

Име. № подл. Подпись и дата
Взам. инв. № Инв. № дубл. Подпись и дата

ОТЧЕТ

Лист

33

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

6. Сравнение результатов расчета емкостных токов в существующей и перспективной схеме развития сети

В соответствии с заданием были проведены расчеты емкостных токов для 4 вариантов сети 35 кВ:

1-й вариант - Расчет емкостных токов в нормальном режиме существующей схемы;

2-й вариант - Расчет емкостных токов в ремонтных схемах с максимальным подключением количества ЛЭП;

3-й вариант - Расчет емкостных токов в нормальном режиме перспективной схемы развития сети;

4-й вариант - Расчет емкостных токов в ремонтных схемах с максимальным подключением количества ЛЭП с учетом перспективной схемы развития сети.

1-й и 2-й варианты просчитывались на основании предоставленной заказчиком однолинейной существующей схемы линий 35 кВ ПЮЭС и расположенными на ней ПС 110/35/10 кВ и ПС 35/10 кВ. 3-й и 4-й варианты просчитывались на основании предоставленной заказчиком однолинейной перспективной схемы развития линий 35 кВ ПЮЭС и расположенными на ней ПС 110/35/10 кВ и ПС 35/10 кВ.

В сети 35 кВ и в дальнейшем будут эксплуатироваться воздушные и кабельные сети. Для расчетов значение емкостного тока для ВЛ 35 кВ принималось 0,1 А/км. Расчетные значения для кабельных линий принимались в соответствии с рекомендациями заводов изготовителей для каждой марки кабеля. Полученные приведенные расчеты носят ориентировочные цифры. Для получения более точных данных для каждого присоединения в кабельных и воздушных линиях, в каждом режиме, необходимо провести соответствующие работы по методикам замеров емкостных токов с использованием соответствующего оборудования и инструментов.

I. В соответствии с расчетами по 1-у варианту следует обратить внимание на следующие присоединения:

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- ПС «Голдобин», суммарный емкостной ток (I и II секции) составляет 15,24 А;

- ПС «А» (II секция) 37,35 А;

- ПС «Спутник» емкостной ток I и II секции составляет 35,84 А;

- ПС «Чайка» (I и II секции) - 29,89 А;

- ПС «Бурная» (I и II секции) - 71,86 А;

- ПС «Русская» (I и II секции) - 49,29 А;

- ПС «Бурун» (II секция) 21,08 А.

II. По 2-у варианту проблемные места были выявлены на следующих присоединениях:

- ПС «Голдобин», с суммарным емкостным током (I и II секции) 15,23 А;

- ПС «А» (II секция) - 37,35 А;

- ПС «Спутник» (I и II секции) - 32,06 А;

- ПС «Чайка» (I и II секции) - 36,95 А;

- ПС «Бурная» (I и II секции) - 71,86 А;

- ПС «Русская» (I и II секции) - 86,86;

- ПС «Бурун» емкостной ток (II секция) 21,08 А.

III. В 3-м варианте расчеты показали следующие результаты: ПС «А» суммарный емкостной ток (I и II секции) составляет 67,05 А; При этом необходимо учесть, что проектом предусмотрена реконструкция линий: КВЛ 35 кВ ПС «А» - ПС «З» с отпайками на ПС «Соллерс», ПС «Луговая» №1 и КВЛ 35 кВ ПС «А» - ПС «З» с отпайками на ПС «Соллерс», ПС «Луговая» №2;

- ПС «Голдобин», с суммарным емкостным током (I и II секции) 23,88 А; - ПС «Луговая» (II секция) 51,31 А;

- На ПС «Спутник» с суммарным емкостным током (I и II секции) 37,12 А заказчиком предусмотрена реконструкция ВЛ 35 кВ ПС «Спутник» - ПС «Угловая». Общая протяженность линии 35 кВ составит 8,434 км, из них воздушный участок 8,152 км проводом марки АСку-120/19 и кабельный, - кабель марки АПвПу2г-1х630/35 0,282 км. Кроме того предусматривается замена провода на участке ПС «Спутник» - опора №4 0,327 км.

- ПС «Чайка» суммарный емкостной ток (I секция) составляет 15,87 А;
- ПС «Бурная» (I и II секции) - 71,86 А;
- ПС «Русская» (I и II секции) - 49,29 А;
- ПС «Залив» (I и II секции) - 18,37 А;
- ПС «Орлиная» (I и II секции) - 14,64 А.

Проектом предусматривается реконструкция линий: КВЛ 35 кВ ПС «Залив» - ПС «Орлиная» с отпайкой на ПС «Телецентр»; КВЛ 35 кВ ПС «Залив» - ПС «Голубинка» - ПС «Телецентр»; КВЛ 35 кВ ПС «Орлиная» - ПС «Инструментальный завод». Работа выполнена проектным институтом АО «Ленгидропроект», в соответствии с этим предусмотрена прокладка кабеля (СПЭ) марки АПвПу2гж -1х500мк/70А. Проектная длина кабеля составила 5,2595 км.

- На ПС «Бурун» после реконструкции емкостной ток (II секция) составит 41,39 А. Проектом предусматривается реконструкция ВЛ 35 кВ ПС «Академическая» - ПС «Ипподром». Работа выполнена проектным институтом АО «Ленгидропроект», в соответствии с этим предусмотрена прокладка кабеля марки АПвПу2г -1х400мк/35 А. Проектная длина кабеля составила 9,2919 км.

IV. Расчеты по 4-у варианту показали следующие результаты:

- ПС «А» суммарный емкостной ток (I и II секции) составляет 67,05 А;
- ПС «Голдобин», (I и II секции) - 23,88 А;
- ПС «Спутник» (I и II секции) 37,12 А;
- ПС «Чайка» (I и II секции) 53,36 А;
- ПС «Бурная» (I и II секции) 71,86 А;
- ПС «Русская» (I и II секции) 86,86 А;
- ПС «Залив» (I и II секции) 28,93 А.
- ПС «Орлиная» (I и II секции) 14,64 А;
- На ПС «Бурун» после реконструкции емкостной ток (II секция) составит 41,39 А. Все намеченные проектные работы, указанные в 3-м варианте, соответствуют также и 4-у варианту.

7.1 Выбор устройств компенсации емкостных токов. ДГР.

а.) Техническим заданием требуется выбрать устройства компенсации емкостных токов (КЕТ) в сети 35 кВ. Критерием выбора систем компенсации на основе дугогасящих реакторов с плавным регулированием индуктивного тока, является превышение емкостного тока замыкания величины 10 А [1] для схемы перспективной развития сети. При чем, даже для указанного случая, необходим некоторый запас мощности реактора (5-10)%, обусловленный влиянием неучтенных (трудноучитываемых) емкостных составляющих токов утечки питающих и силовых трансформаторов, шин, измерительных трансформаторов напряжения и т.п.

Компенсация емкостных токов для сетей 35 кВ, с перспективой развития для ремонтных схем с максимальным подключением ЛЭП, исходя из расчетных данных, требуется осуществить на 8 ПС, причем, на 5 из них ПС (Голдобин, А, Лазурная, Спутник, Русская) на обеих секциях, а на 3 – ПС (Залив, Западная и Давыдовка) на одной из секций. Компенсация емкостных токов ПС Спутник, Чайка, Седанка, Бурун предлагается осуществить установкой ДГР на ПС Спутник, а ПС Орлиная, Голубинка, Залив – установкой ДГР на секциях ПС Залив. В таблице 2, столбец 2, приведены тип и мощность дугогасящих реакторов, необходимых для решения задач по КЕТ, параметры которых рассчитаны по рекомендациям [3]. На ПС Бурная установлены низкоомные резисторы.

б.) Подключение дугогасящих реакторов к сети осуществляется посредством однополюсных разъединителей 35 кВ. При выборе разъединителя необходимо учесть на величину тока через него в нормальном режиме работы сети при выводе из работы реактора и принять меры по его снижению до допустимой величины тока коммутации индуктивного тока для данного аппарата (менее 9 А для разъединителя с номинальным током 400 А). Меры по снижению тока – уменьшение напряжения смещения нейтрали путем отстройки от резонансной настройки контура перед отключением ДГР, снижение добротности контура (включение, например, резистора в цепь вторичной

обмотки), применение реакторов с конденсаторным регулированием РДМК, емкости которых распределяют несимметрии фазных емкостей, тем самым уменьшая асимметрию фазных проводимостей и смещение нейтрали.

в.) В сетях с малыми токами замыкания на землю, в которых высока вероятность возникновения перенапряжений при перемежающихся дуговых замыканий и связанных с феррорезонансными явлениями, предлагается установить высокоомные резисторы заземления нейтрали (серии ВВР или РЗ). Для унификации резисторного оборудования все резисторы выбраны одного номинала, для обеспечения активного тока замыкания в пределах 5 А, которого достаточно для ПС с обозначенными (расчетными) емкостными токами замыкания на землю (менее 3,8 А). Таких ПС всего 3. На одной (ПС Западная) рекомендуется установить высокоомные резисторы на обеих секциях, а на одном – на одной секции (ПС Давыдовка). При чем на второй секции ПС Западная, ввиду возможного превышения емкостного тока величины 10 А при совместной работе сети 35 кВ с ПС Давыдовка возможна установка дугогасящего реактора с управляемыми резисторами (указаны оба варианта).

Подключение резистора к нейтрали трансформатора производится посредством однополюсного разъединителя 35 кВ. Каких-либо требований к коммутации разъединителя отсутствуют в виду малого значения рабочего тока резистора и способностей разъединителя разрывать активный ток большой величины.

г.) Главным минусом высокоомных резисторов (как применяемых в составе с ДГР при комбинированном режиме заземления нейтрали, так и в сети с малыми токами, не требующих КЕТ), является постоянство включения в сеть, при котором ток, проходящий через резистор в режимах ОЗЗ, создает повышенные риски для обслуживающего персонала и т.п., за счет повышения шагового напряжения и напряжения прикосновения в месте повреждения. Дополнительно, резистор потребляет значительную мощность из сети (от единиц до сотен кВт, в зависимости от сопротивления резистора). В таблице приведен, как вариант, подключение к нейтрали сети резистора через

понижающий однофазный трансформатор. Данное решение имеет ряд преимуществ: трансформатор, как электротехническое оборудование, масляное, гораздо более защищенное, чем резистор высоковольтный. Сам резистор, подключенный к вторичной стороне трансформатора (500 или 400 В), низковольтный, работает только при перемежающихся дуговых замыканиях.

Важным фактором в пользу применения комплекта понижающий трансформатор-низкоомный резистор является его управляемость, посредством, например, простого реле времени, а также малые габариты комплекта и его невысокая стоимость по сравнению с вариантом применения высокоомного резистора.

Вышеперечисленные способы защиты электрических сетей среднего напряжения от однофазных замыканий на землю и сопутствующих этим явлениям повреждения оборудования и перерывы электроснабжения потребителей на основе создания условий гашения дуги в месте повреждения перечисленными выше оборудованием имеют свои достоинства и недостатки. Включенный в нейтраль сети ДГР практически способен «обнулять» ток в месте повреждения, тем самым погасив дугу или максимально снизить ток в месте пробоя при устоявшихся дуговых замыканиях и позволить эксплуатировать сеть до устранения повреждения в сети. Однако у этого варианта есть существенный недостаток, особенно в сетях 35 кВ с воздушными линиями и с кабелями из сшитого полиэтилена, характеризующихся высокой степенью емкостной асимметрии фазной изоляции (ВЛ) и высокой добротностью (качеством изоляции) кабелей СПЭ изоляцией. Эти обстоятельства в одинаковой степени влияют на смещение нейтрали и асимметрируют фазные напряжения сети.

В данной ситуации практически единственным приемлемым решением является применение комбинированного способа заземления нейтрали, но в варианте подключения к сети посредством ДГР, его вторичной силовой обмотке (500 или 220 В) блока низкоомных, управляемых автоматикой ДГР резисторов с широким, как и у ДГР, кратностью регулирования активного тока. Обозначенные требования к параметрам управляемости и кратности

регулирования обусловлены значительными изменениями конфигурации сети, изменения состояния изоляции во времени (день-ночь, климат), требованиями к обеспечению точности настройки и созданию условий подавления дуговых замыканий во всем диапазоне изменения тока ДГР.

Действия высокоомного резистора в части защиты сетей от ОЗЗ, отлично от КЕТ и состоит в способности самопогасания дуги, когда величина активной составляющей тока превышает емкостную составляющую.

Таблица 2.

№ п/п	Наименование секций	ДГР + низкоомный управляемый резистор	1. Высокоомный резистор 2. Трансформатор-резистор низкоомный	Низкоомное заземление нейтрали
1	ПС 110 кВ Голдобин			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-300/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
	2 секция	РДМРА(РДМК)-300/35 + РЗН-2,5(5+10+20+40)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
2	ПС 110 кВ А			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-400/35 + РЗН-2,5(5+10+20+40)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
	2 секция	РДМРА(РДМК)-1250/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
3	ПС 110 кВ Залив, Голубинка, Орлиная, ДГР на ПС Залив			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-650/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
	2 секция	РДМРА(РДМК)-650/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
4	ПС 110 кВ Лазурная (компенсация не требуется – одна отходящая линия)			

5	ПС 110 кВ Спутник, Чайка, Седанка, Бурун			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-1000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
	2 секция	РДМРА(РДМК)-3300/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
6	ПС 110 кВ Бурная			
	1 секция	-	-	Установлен резистор
	2 секция	-	-	Установлен резистор
7	ПС 220 кВ Русская			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-1000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
	2 секция	РДМРА(РДМК)-1000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	-	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
8	ПС 220 кВ Западная			
	1 секция	-	ВР-5-35 (РЗ-5-35)	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
			ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-300/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	ВР-5-35 (РЗ-5-35)	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
			ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5	
9	ПС 110 кВ Давыдовка			
	2 секция	-	ВР-5-35 (РЗ-5-35)	ВР-200-35 (РЗ-200-35)
			ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5	

7.2 Разработка вариантов заземления нейтрали в сети 35 кВ через резистор

Резисторы, как высокоомные, так и низкоомные, подключаются к нейтральному выводу обмотки 35 кВ питающего трансформатора посредством разъединителя однополюсного. Резисторы постоянно находятся в работе и выводятся из работы в период проведения профилактических, ремонтных работ и при проведении измерений в сети, когда отключение необходимо с целью исключения влияния резистора на результаты работ.

Высокоомные резисторы, в силу своего предназначения, в отличие от низкоомных, могут находиться в работе под напряжением, в режимах однофазных замыканий на землю, длительно, а низкоомные – кратковременно, в начальной фазе развития ОЗЗ и до срабатывания устройств релейной защиты конкретной отходящей линии, где и произошло замыкание, с действием на отключение поврежденной линии, в которой произошло замыкание на землю. В последнем случае требуется перенастройка терминалов защиты линий всех без исключения линий защищаемой сети 35 кВ.

Наличие вывода от «нулевой» точки обмотки силового питающего трансформатора упрощает схему подключения заземляющего устройства (ДГР, высокоомного или низкоомного резистора), исключив из нее трансформатор присоединения (фильтр нулевой последовательности), который является обязательным в сетях 6, 10, 15 и 20 кВ. Подключение заземляющих устройств осуществляется посредством разъединителя РГП-1А-35/1000 УХЛ1.

Установка низкоомных резисторов возможна на всех понизительных ПС, а высокоомных резисторов – в сетях с малыми токами замыкания, в которых не требуется установка ДГР. Поэтому, в последнем столбце таблицы 2 низкоомные указаны во всех сетях, а высокоомные – на 5 секциях (ПС Залив, Орлиная, Западная-Давыдовка на одной и ПС Голубинка на обеих секциях).

Затраты на установку оборудования защиты от ОЗЗ (на секцию) при этом включают: закупку оборудования и доставку его до объекта установки, затраты на фундамент и установку, проектные, монтажные и наладочные работы.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Применительно к затратам на оборудование, включая доставку его до г. Владивосток, по двум производителям резисторов заземления нейтрали, без учета проектирования, монтажных и иных расходов, не упомянутых в таблице 3, за один комплект резистивного заземления нейтрали (в ценах на конец 2023 г.):

Стоимость оборудования для резистивного заземления нейтрали сети 35 кВ.

Высокоомный

Таблица 3.1 (Энерган)

№пп	Наименование	Производитель	Цена единицы, без НДС, руб.
1.	Резистор высокоомный ВР-5-35	ООО «Энерган»	3 690 000,00
2.	РГП-1А-35/1000 УХЛ1 с ручным приводом ПР-35-11-М УХЛ1	ООО «ЧЭМЗ»	175 000,00
3.	Доставка (до 10 тонн)	-	650 000,00
4.	ПНР, ШНР (1 командировка 5 дней)	поставщик	300 000,00
Итого, без НДС, руб.			4 815 000,00

Таблица 3.2 (ПЗТГ)

№пп	Наименование	Производитель	Цена единицы, без НДС
1.	Резистор высокоомный РЗ-5-35	ООО «ПЗТГ»	4 100 000,00
2.	РГП-1А-35/1000 УХЛ1 с ручным приводом ПР-35-11-М УХЛ1	ООО «ЧЭМЗ»	175 000,00
3.	Доставка (до 10 тонн)	-	650 000,00
4.	ПНР, ШНР (1 командировка 5 дней)	поставщик	300 000,00
Итого, без НДС, руб.			5 225 000,00

Таблица 3.3 (НИР Энерго)

№пп	Наименование	Производитель	Цена единицы, без НДС, руб.
1.	Трансформаторно-резисторный блок ТРЗН-5-35	ООО «НИР Энерго»	1 890 000,00
2.	РГП-1А-35/1000 УХЛ1 с ручным приводом ПР-35-11-М УХЛ1	ООО «ЧЭМЗ»	175 000,00
3.	Доставка (до 10 тонн)	-	650 000,00
4.	ПНР, ШНР (1 командировка 5 дней)	поставщик	300 000,00
Итого, без НДС, руб.			3 015 000,00

Таблица 3.4 (Энерган)

№пп	Наименование	Производитель	Цена единицы, без НДС, руб.
1.	Резистор низкоомный ВР-200-35	ООО «Энерган»	3 850 000,00
2.	РГП-1А-35/1000 УХЛ1 с ПР-35-11-М УХЛ1	ООО «ЧЭМЗ»	175 000,00
3.	Доставка (до 10 тонн)	-	650 000,00
4.	ПНР, ШНР (1 командировка 5 дней)	поставщик	300 000,00
Итого, без НДС, руб.			4 965 000,00

Таблица 3.5 (ПЗТГ)

№пп	Наименование	Производитель	Цена единицы, без НДС
1.	Резистор низкоомный РЗ-200-35	ООО «ПЗТГ»	3 900 000,00
2.	РГП-1А-35/1000 УХЛ1 с ПР-35-11-М УХЛ1	ООО «ЧЭМЗ»	175 000,00
3.	Доставка (до 10 тонн)	-	650 000,00
4.	ПНР, ШНР (1 командировка 5 дней)	поставщик	300 000,00
			5 025 000,00

По приведенным выше расчетам стоимости оборудования для резистивного заземления нейтрали сети 35 кВ:

- по низкоомному заземлению нейтрали, стоимость оборудования с доставкой до объекта заказчика, ШНП и ППР, составляет около 5 миллионов рублей (4 965 000,00 рублей с резисторами производства ООО «Энерган» и 5 025 000,00, рублей с резисторами ООО «ПЗТГ»);

- по высокоомному заземлению нейтрали, с теми же условиями (доставка до объекта заказчика, ШНП и ППР), стоимость оборудования также составляет около 5 миллионов рублей (4 815 000,00 рублей с резисторами производства ООО «Энерган» и 5 225 000,00, рублей с резисторами ООО «ПЗТГ»). Вместе с тем, установка вместо высокоомных резисторов трансформаторно-резистивного заземляющее устройства - ТРЗН (понижающий трансформатор 20/0,5 кВ с регулируемым многоступенчатым низковольтным резистором), имеет существенно меньшую цену – 3 015 000,00 рублей, являясь при этом энергоэффективным (отключаемым при устоявшихся металлических или через переходное сопротивление при замыканиях), более надежным решением.

Цены на оборудование приведены без учета НДС, на конец 2023 года.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

7.3 Сравнение вариантов заземления нейтрали в сети 35 кВ через ДГР и через резистор.

В этом разделе рассмотрим только те ПС, в которых требуется компенсация емкостных токов, поскольку, там, где ДГР не нужен, предложена установка высокоомного резистора или его аналога – трансформаторно-резистивного заземляющего устройства ТРЗН.

По расчетам стоимости устройств компенсации емкостных токов на основе плавнорегулируемых ДГР, исходя из известной стоимости разъединителя, доставки и ШНР в сумме 1 125 000,00 рублей (таблица 3.1-3.5), проведем расчет стоимости расходов на оборудование для секций с предполагаемыми к установке дугогасящими реакторами (таблица 4).

Таблица 4.

№пп	ДГР	Мощность	Стоимость			Итоговая* стоимость
			ДГР	Автоматика	РПГ, достав. ШНР	
1.	РДМРА (РДМК)	300	1 975 000,00	650 000,00	1 125 000,00	3 750 000,00
2.	РДМРА (РДМК)	400	2 220 000,00			3 995 000,00
3.	РДМРА (РДМК)	650	2 790 000,00			4 535 000,00
4.	РДМРА (РДМК)	850	3 075 000,00			4 850 000,00
5.	РДМРА (РДМК)	1000	3 500 000,00			5 275 000,00
6.	РДМРА (РДМК)	1250	3 850 000,00			5 625 000,00
7.	РДМРА (РДМК)	1520	4 350 000,00			6 125 000,00

* - оценка стоимости расходов на компенсацию емкостных токов по состоянию до 31 декабря 2023 г.

Сравнение стоимости оборудования в вариантах установки низкоомного заземления нейтрали и с компенсацией емкостных токов приведена в таблице 5.

Таблица 5.

№пп	ДГР, мощность	Стоимость с ДГР	Стоимость с РЗН*	Разница в стоимости	Примечание
1.	300	3 750 000,00	5 025 000,00	-1 275 000,00	ДГР имеет в своем составе управляемый автоматикой многоступенчатый резистор, предназначенный для повышения системы компенсации (КЕТ)
2.	400	3 995 000,00		- 1 030 000,00	
3.	650	4 535 000,00		- 490 000,00	
4.	850	4 850 000,00		- 175 000,00	
5.	1000	5 275 000,00		200 000,00	
6.	1250	5 625 000,00		400 000,00	
7.	2000	7 125 000,00		2 100 000,00	

* - без учета расходов на настройку устройств РЗиА

Установка низкоомных резисторов дешевле варианта с ДГР, при его мощности выше 900-1000 кВА, но при этом ДГР уже оснащен резистором.

7.4. Оценка стоимости мероприятий по закупке и установке устройств компенсации емкостных токов с разбивкой по объектам

Таблица 6.

№ п/п	Наименование секций	1. ДГР + низкоомный управляемый резистор 2. Высокоомный резистор или трансформаторно-резистивное устр.	Стоимость установки системы компенсации	Примечание
1	ПС 110 кВ Голдобин			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-300/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	3 750 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-300/35 + РЗН-2,5(5+10+20+40)-0,5	3 750 000,00	
2	ПС 110 кВ А			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-400/35 + РЗН-2,5(5+10+20+40)-0,5	3 995 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-1250/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	5 625 000,00	
3	ПС 110 кВ Залив, Голубинка, Орлиная, ДГР на ПС Залив			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-650/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	4 535 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-650/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	4 535 000,00	
4	ПС 110 кВ Лазурная**			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-400/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	3 995 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-400/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	3 995 000,00	

5	ПС 110 кВ Спутник, Чайка, Седанка, Бурун			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-2000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	7 125 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-2000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	7 125 000,00	
6	ПС 110 кВ Бурная			
	1 секция		-	Установлен резистор
	2 секция		-	Установлен резистор
7	ПС 220 кВ Русская			
	1 секция	РДМРА(РДМК)-1000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	5 275 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-1000/35 + РЗН-1,33(2,5+5+10+20)-0,5	5 275 000,00	
8	ПС 220 кВ Западная			
	1 секция	ВР-5-35 (РЗ-5-35)	4 815 000,00 (5 225 000,00)	
		ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5	3 015 000,00	
	2 секция	РДМРА(РДМК)-400/35 + РЗН-2,5 (5+10+20+40)-0,5	3 995 000,00	
9	ПС 110 кВ Давыдовка (на 1С не требуется)			
	2 секция	ВР-5-35 (РЗ-5-35)	4 815 000,00 (5 225 000,00)	
		ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5	3 015 000,00	

Примечание:

- ВР-5-35, ВР-200-35 производства ООО «Энерган», Санкт-Петербург;
- РЗ-5-35, РЗ-200-35 Производства ООО «ПЗТГ», Пенза;
- ОТМ-100/20/0,5 + РЗН-2,5-0,5 производства ООО «НИР Энерго», Чебоксары.
- РДМРА (РДМК) + РЗН-1,33(.....)-0,5 производства ООО «НИР Энерго», Чебоксары.

8. Заключение

При эксплуатации сетей среднего напряжения в нашей стране вскрылись острые проблемы сетей с изолированной (компенсированной) нейтралью. Первая — после прихода в сети ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН), вторая — в связи с появлением однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена. Массовая установка ОПН в сети 6–35 кВ с изолированной (компенсированной) нейтралью сопровождалась их повреждениями. Нередко они происходили в режиме ОЗЗ при наличии дуговых и/или феррорезонансных перенапряжений, вызывающих многократное срабатывание ОПН за короткое время, недостаточное для остывания нелинейных элементов. Как известно до внедрения ОПН защита оборудования от грозовых (и коммутационных) перенапряжений была организована с помощью вентильных разрядников (РВ), имеющих искровой промежутки, срабатывавший только лишь от перенапряжений большой величины (грозовых в первую очередь). Это позволяло избежать токов в нелинейных элементах РВ как в нормальном режиме, так и в условиях существования дуговых и феррорезонансных процессов, обеспечивая тем самым безаварийную эксплуатацию разрядников. Конструктивно у ОПН, в отличие от разрядников нет искровых промежутков. Защитить и ОПН, и другое оборудование сети, изоляция которого подвергалась нежелательным воздействиям, можно было бы за счет устранения главной причины повреждений — длительного существования в сети ОЗЗ, то есть за счет оптимизации работы защит и способа заземления нейтрали. Пошли по пути внесения корректировки в методику выбора характеристик ОПН. Начали применять ОПН с завышенным на 10–20% наибольшим рабочим напряжением, увеличив тем самым надежность ОПН, но ухудшив при этом защиту изоляции оборудования от грозовых (и коммутационных) перенапряжений [4] и [7].

В последние годы массовая прокладка в сетях 6–35 кВ однофазных кабелей (СПЭ) обнаружила проблему наведенных в медных экранах токов и вызванных ими потерь мощности. Пытались эту проблему решить за счет

применения однофазных кабелей с малым сечением экрана и прокладкой фаз вплотную друг к другу сомкнутым треугольником. Технически выбирать малое сечение экранов в сетях с изолированной (компенсированной) нейтралью очень сложно. Причина в том, что характерное для этих сетей длительное существование режима ОЗЗ нередко приводит к появлению в другом месте сети второго повреждения, образованию контура с малым сопротивлением, в котором протекает ток так называемого двойного короткого замыкания, близкий по величине току трехфазного короткого замыкания сети и поэтому опасный с точки зрения перегрева экранов малого сечения, причем на протяженном участке трассы. Вследствие этого сечение медных экранов однофазных кабелей в сетях с изолированной (компенсированной) нейтралью приходится завышать. Но при нормальном режиме работы сети в это приведет к существенному росту наведенных токов и потерь мощности в экранах. Это в свою очередь порождает необходимость применять в сетях неудобные в эксплуатации одностороннее заземление экранов или транспозицию. Избежать внедрения данных схем удалось бы за счет исключения длительного существования режима замыкания на землю, то есть за счет оптимизации работы защит и способа заземления нейтрали.

Анализируя мировую практику можно сделать вывод: что в сетях среднего напряжения 6-69 кВ преимущественное применение находят три варианта заземления нейтрали через резистор: низкоомное, высокоомное и комбинированное. Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда ОЗЗ должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом ток в нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение (от 10 до 100 А). Высокоомное резистивное заземление нейтрали целесообразно применять в случаях, когда в сети есть возможность длительной работы в режиме ОЗЗ до момента обнаружения места замыкания. В этом случае ток в нейтрали должен быть такой величины, чтобы исключить появление опасных дуговых перенапряжений и снижение электробезопасности, но быть достаточным для

определения поврежденного присоединения и работы релейной защиты на сигнал (не более 10 А). Комбинированное заземление нейтрали осуществляется присоединением высокоомного резистора параллельно ДГР, что позволяет снижать уровень перенапряжений при неточной настройке ДГР, а также способствует работе на сигнал в устройствах релейной защиты [3].

Сети с заземлением нейтрали через резистор обладают определенными достоинствами, многократно подтвержденными мировой практикой и накопленным опытом эксплуатации таких линий в России. В сравнении с сетью с изолированной нейтралью при резистивном заземлении нейтрали: увеличивается ток ОЗЗ; снижается минимум в 1,5÷2 раза уровень дуговых перенапряжений при ОЗЗ; уменьшается с нескольких часов до нескольких секунд продолжительность воздействия на изоляцию дуговых перенапряжений (при перемежающихся ОЗЗ) и линейного U (при устойчивых замыканиях); повышается срок службы изоляции. Исходя из этого снижается вероятность пробоя изоляции на неповрежденных присоединениях и, соответственно, общее число ОЗЗ, а также возможный переход ОЗЗ в многофазные. При этом, расход внутреннего ресурса изоляции при воздействии импульсов перенапряжений в таких сетях более чем в два раза ниже, чем в сети с изолированной нейтралью, благодаря этому исключается возможность феррорезонансных явлений, что в свою очередь повышает надежность работы измерительных трансформаторов напряжений. Кроме того резистивное заземление нейтрали позволяет выполнять чувствительную и селективную релейную защиту от ОЗЗ, основанной на простом токовом принципе [22].

Низкоомное резистивное заземление нейтрали рекомендуется применять в тех случаях, когда однофазное повреждение должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. При этом суммарный ток в цепи нейтрали должен быть достаточным для работы релейной защиты на отключение фидера с однофазным повреждением. Величина сопротивления низкоомного резистора должна быть достаточной для обеспечения селективного срабатывания релейной защиты при однофазном повреждении на

защищаемом присоединении. Низкоомное резистивное заземление нейтрали (глухое заземление нейтрали) характеризуется снижением уровня перенапряжений в сети до $(1,0 \div 2,2) U_{\phi}$ и эффективной защитой от однофазных повреждений. Выбор количества резисторов осуществляется на этапе проектирования, исходя из общего правила: в нейтраль сети 35 кВ каждой секции шин, которая хотя бы в одном из режимов работы может длительно эксплуатироваться самостоятельно (без связи с иными секциями шин), должен быть установлен собственный резистор. В сети, где осуществляется комбинированное заземление нейтрали, за счет снижения добротности контура допускается длительное существование смещения нейтрали с уровнем, ограниченным до значений не более 5% от U_{ϕ} .

Результаты теоретических исследований, выполненных разными авторами, с применением различных методов моделирования, включая и результаты, полученные выше на основе моделирования в фазных координатах, а также уже имеющегося опыта эксплуатации свидетельствуют о том, что каждым из способов заземления нейтрали обеспечивается принципиальная возможность ограничения отрицательных последствий ОЗЗ. В сетях с изолированной нейтралью снижение емкостных токов и перенапряжений обеспечивается ограничением протяженности этих сетей. В сетях с резонансным заземлением нейтрали – настройкой ДГР в резонанс с емкостью сети. В сетях с низкоомным резистором в нейтрали – ограничением времени существования режима ОЗЗ за счет селективного отключения поврежденного элемента. В зависимости от конструктивного исполнения, протяженности, условий безопасности, требуемой надежности, допустимых перенапряжений и других факторов к сетям предъявляются различные требования.

Главной целью высокоомного резистивного заземления нейтрали сети является ограничение дуговых перенапряжений и феррорезонансных явлений (в основном в трансформаторах напряжения - ТН) при одновременном обеспечении длительной работы сети с ОЗЗ на время поиска и отключения поврежденного присоединения оперативным персоналом. Снижение

напряжения на нейтрали и ограничение перенапряжений при дуговом замыкании на землю достигается за счет уменьшения постоянной времени разряда емкостей здоровых фаз во время бестоковой паузы с помощью специально установленного резистора R_n , обеспечивающего уменьшение активного сопротивления цепи протекания тока нулевой последовательности. Резистор R_n может быть подключен к сети двумя способами: Первый способ - с помощью трансформатора со схемой соединения обмоток Y_0/Δ . Резистор включается между нулевой точкой обмотки высокого напряжения трансформатора для заземления нейтрали (ТЗН) и контуром заземления. Второй способ - с помощью специального фильтра нулевой последовательности (ФНП), который представляет собой трехфазный трансформатор, не имеющий низковольтной вторичной обмотки. Резистор включается между нулевой точкой обмотки высокого напряжения ФНП и контуром заземления [18] и [23].

Ни один из способов заземления всем возможным требованиям удовлетворить не может, а лишь какому-либо набору из них.

Поэтому усилия по решению проблемы выбора режима нейтрали сетей напряжением 6–35 кВ должны быть направлены на то, чтобы решить какой способ заземления нейтрали применить. Область применения каждого из способов заземления нейтрали определяется прежде всего требованиями к надежности электроснабжения: резонансное – в сетях с электроприемниками, не допускающими даже кратковременных перерывов электроснабжения (по технологическим причинам, по требованиям безопасности), резистивное – в сетях, допускающих отключения электроприемников, с изолированной нейтралью – в сетях малой протяженности.

Соответствующий уровень надежности электроснабжения любой из выбранных вариантов заземления нейтрали может обеспечить, но только при правильном выборе параметров требуемого для его реализации оборудования, используя современные наработки [9], [13], [17], [20] и [21].

9. Список использованной литературы

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-е и 6-е издания. – М.: Эксмо, 2023. – 512с.
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, РД 34.20.501-2003. – М.: СПО ОРГЭС, 2003.
3. СТО 34.01-3.2-008-2017. Реакторы заземляющие дугогасящие 6-35 кВ. Общие технические требования. Стандарт организации «ПАО Россети. М.: 2017. – 22 с.
4. РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. СанктПетербург, Издательство ПЭИПК, 1999 г.
5. Объем и нормы испытаний электрооборудования : РД 34.45- 51.300-97 / под ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Е. Мамиконянца. - 6-е изд. - М.: НЦ ЭНАС, 1998. - 256 с.
6. СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Стандарт организации ПАО «ФСК ЕЭС».
7. Г.А. Евдокунин, А.И. Таджибаева. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений. Санкт-Петербург, Энергоатомиздат, 2002г.
8. Михель А.А. Результаты экспериментальных исследований процессов при замыкании на землю в сети 6 кВ Оренбургского газоперерабатывающего завода /А.А. Михель, А.В. Иванов, Л.И. Сарин, М.В. Ильиных, А.И. Ширковец //Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Специальный выпуск №1, 2008. – с. 35-40.
9. Патент на изобретение №2686480. Способ симметрирования фазных напряжений сети и устройство для его осуществления /М.И. Петров, В.Г. Медведев, Е.М. Петров. Оpubл. 29.04.2019 в Бюл. №13.
10. Патент на изобретение №2719632. Устройство автоматической компенсации емкостных токов с симметрированием фазных напряжений /М.И. Петров, И.Р. Баязитов, В.С. Нигметзянов, В.Г. Медведев, Е.М. Петров. Оpubл. 29.04.2019 в Бюл. №13.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

11. Осипов Д.С. Разработка алгоритма автоматической настройки компенсации емкостных токов на основе существующих методов /Д.С. Осипов, С.Ю. Долингер, Д.Г. Сафонов //Омский научный вестник. №4(148). – 2016. – с. 79-84.

12. Козлов В. Дугогасящие реакторы 6-35 кВ. Реализация метода автоматического управления /В. Козлов, В. Ильин //Новости ЭлектроТехники. – 2007. – №2(50).

13. Патент №199742 (RU). Устройство компенсации емкостных токов на основе дугогасящего реактора с подмагничиванием /А. Базаррагчаа, И.Р. Баязитов, А.А. Кузьмин, В.Г. Медведев, Л.А. Петрова, Е.М. Петров, М.И. Петров. Оpubл. 17.09.2020 в БИ. № 126, Заявка №2020113628.

14. Баязитов И.Р. К вопросам применения плавнорегулируемых дугогасящих реакторов/ И.Р. Баязитов, В.В. Карчин, В.Г. Медведев, Е.М. Петров, М.И. Петров. // Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XLII Междунар. науч.-техн. конф., г. Новочеркасск, 24-26 ноября 2020 г. ЮРГПУ(НПИ), 2020.- 399 с.

15. Брыкин В. Системы компенсации емкостного тока замыкания на землю. Соответствие требованиям нормативных документов /В. Брыкин, Н. Дроздов, Ю. Корчмарик // Новости ЭлектроТехники. - № 4 (112). – 2018. – с. 38-41.

16. Соловьёв, И.В. Дугогасящие реакторы с конденсаторным регулированием индуктивности / А.В. Булычев, И.В. Соловьёв, В.Н. Козлов, Н.О. Салмин // Релейная защита и автоматизация, 2015. – № 04 (21). – с. 56-59.

17. Пат. на изобретение № 2663202 РФ, МПК H01F 29/10, СПК H01F 29/10. Реактор заземляющий дугогасящий с немагнитными зазорами РДМК, РДСК с конденсаторным регулированием /И.Р. Баязитов, А.А. Кузьмин, В.Г. Медведев, Е.М. Петров, М.И. Петров. патентообладатель ООО «НИР «Энерго». – № 2016152425; заявл. 28.12.2016. Оpubл. 02.08.2018, Бюл. № 22. – 7 с.

18. Ильиных М.В. Опыт эксплуатации высоковольтных резисторов типа РЗ в сетях среднего класса напряжения /М.В. Ильиных, Л.И. Сарин, А.И.

Ширковец // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Специальный выпуск №1, 2008. – 134 с.

19. Базаррагчаа А. Система дискретного регулирования компенсацией ёмкостных токов для цифровых подстанций /А. Базаррагчаа, А.А. Кузьмин, В.Г. Медведев, М.И. Петров //Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13 Всерос.науч. техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. 2019. 478 с.

20. Баязитов И.Р. К алгоритмам управления активным током замыкания на землю и добротностью контура нулевой последовательности электрической ссети / И.Р. Баязитов, Р.Р. Галимзянов, Е.В. Гришин, Д.С. Засимов, В.Г. Медведев, М.И. Петров // Кибернетика энергетических систем: Сборник материалов XLII Междунар. науч.-техн. конф., г. Новочеркасск, 24-26 ноября 2020 г. ЮРГПУ(НПИ), 2020.- 399 с.

21. Пат. 2606952 РФ, МПК H02J 3/18. Способ настройки режима компенсации емкостных токов в электрических сетях / Данилов Н.В.; Петров М.И., заявитель и патентообладатель Данилов Николай Владиславович, Петров Михаил Иванович – № 2015127388; заяв. 07.07.2015; опуб. 10.01.2017. Бюл. №1.– 12 с.

22. Благинин В.А. Многокритериальный подход к выбору режима заземления нейтрали в электросетях /В.А. Благинин, И.Е. Кажекин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Специальный выпуск №1, 2008. – 134 с

23. Емельянов Н.И. О способах подключения высокоомных защитных резисторов для заземления нейтрали сети и их безопасной эксплуатации /И.Н. Емельянов, М.В. Ильиных, Д.С. Кудряшов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Специальный выпуск №1, 2008. – с. 62-68.

24. Миронов И.А. Режим заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ // Новости электротехники, 2004. № 6(24).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

55

25. Вайнштейн Р.А., Коломиец Н.В., Шестакова В.В. Режимы заземления нейтрали в электрических системах // Томск, 2006.

26. Титенков С.С. Пугачев А.А. Режимы заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю // Энергоэксперт, 2010. №2(18).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ОТЧЕТ

Лист

56