

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

II издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 18 – 20 сентября 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 9 – 12 октября 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Дата вступления в силу: 12 октября 2012 г.

Примечание: Теряет силу I издание от 30.10.2003 г.

**Р
610/3**

**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
В УСЛОВИЯХ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ**

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Введение.....	3
2. Общие положения.....	3
3. Профилактический подогрев и плавка гололеда на проводах контактной сети постоянного тока.....	6
3.1 Схемы профилактического подогрева.....	6
3.2. Схемы плавки.....	10
4. Профилактический подогрев и плавка гололеда на проводах контактной сети переменного тока.....	12
4.1. Основные схемы электрических способов борьбы с гололёдом на контактной сети переменного тока.....	12
4.2. Схемы питания тяговой сети 2×25 кВ при электрических способах борьбы с гололёдом.....	16
5. Борьба с гололедом на проводах линий электропередачи «два провода-рельсы» железной дороги (ЛЭП ДПР), линий электропередачи продольного электроснабжения железной дороги (ЛЭП ПЭ) и линий электропередачи автоблокировки железной дороги (ЛЭП АБ).....	18
5.1. Подогрев проводов ЛЭП ДПР.....	18
5.2. Подогрев проводов трехфазных ЛЭП ПЭ и АБ.....	21

1. Введение

Настоящие рекомендации составлены на основе обобщения опыта работы железных дорог, находящихся в климатических зонах возможного гололедообразования.

При понижении температуры окружающего воздуха, переходе её через ноль и наличии осадков на конструкциях тяговой сети, других линий и на элементах электроподвижного состава (ЭПС) откладывается гололед. Гололедные образования увеличивают механическую нагрузку на элементы конструкций тяговой сети. Корка гололеда на нижней кромке контактных проводов нарушает электрический контакт между ними и токоприемником, что вызывает появление электрической дуги и может привести к пережогу контактных проводов.

Гололедообразования на конструкциях токоприемника ухудшают динамику его взаимодействия с контактным проводом.

Рекомендации содержат обобщенный опыт методов защиты, контроля и повышения надежности работы технических устройств электроснабжения электрической тяги, электроснабжения системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), линий электропередачи продольного электроснабжения железной дороги (далее – ЛЭП) при проведении антигололедных мероприятий.

2. Общие положения

Основная часть контактной сети, воздушных линий внешнего электроснабжения, АБ и ДПР стран участниц ОСЖД, расположены на Евро-Азиатском континенте, где по климатическим условиям возможно образование гололеда.

С учетом данных наблюдений в каждой стране должно быть принято во внимание влияние микроклиматических особенностей на интенсивность гололедообразования.

Гололедные нагрузки на провода и троса определяются, исходя из толщины стенки гололеда, приведенного к цилиндрической форме с удельным весом $0,9 \text{ г/см}^3$. Нормативная толщина стенки гололеда с повторяемостью 1 раз в 15 лет должна определяться на основании обработки данных фактических наблюдений. Наличие гололеда на контактных проводах ухудшает, а иногда и прерывает контакт между ними и токоприемником. Гололед с толщиной стенки 20 мм и более может привести к обрыву контактной сети, ДПР и АБ, что полностью выводит из строя целые участки, с остановкой движения поездов. Ещё более критическое положение возникает при потере, вследствие гололеда, внешнего электроснабжения от энергосистемы.

На контактной сети и ЛЭП с плавкой гололеда должно быть организовано наблюдение за гололедом, при этом предпочтительно применение сигнализаторов появления гололеда и устройств контроля окончания плавки.

Для своевременного оповещения о возможном гололедообразовании должно быть налажено соответствующее взаимодействие со станциями гидрометеослужбы.

В дистанциях электроснабжения электрифицированных и неэлектрифицированных участков железных дорог составляются местные инструкции, учитывающие конкретные условия эксплуатации каждой контактной сети и каждой ЛЭП и принятые методы борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями. В инструкциях приводятся схемы плавки или (и) профилактического подогрева проводов, последовательность операций при их сборке и разборке, а также по наблюдению за процессами образования гололеда и его плавления, таблицы или диаграммы для определения времени плавки гололеда.

Составляется годовой план организационно-технических мероприятий по предотвращению ущерба от гололедно-ветровых нагрузок, включающий обучение персонала действиям при сборке и разборке схем, организации постов наблюдения за гололедом (гололедных постов), проведение работ на контактной сети и ЛЭП по предотвращению условий для возникновения автоколебаний проводов, осуществление осмотров и ревизии контактной сети и ЛЭП, коммутационных аппаратов и оборудования, проведение других подготовительных работ, тренировок и опробований.

Отложения гололеда, изморози и мокрого снега на проводах опасно и может привести к нарушению нормальной эксплуатации контактной сети и ЛЭП вследствие:

- разрегулировки проводов и их сближения между собой;
- интенсивной пляски проводов, в результате которой возникают короткие замыкания между проводами, поджоги проводов, повреждения линейной аппаратуры и креплений;
- механической перегрузки проводов и их обрыва, особенно при наличии ожогов электрической дугой;
- перегрузки и поломки траверс и кронштейнов;
- разрушения опор при обрывах проводов, а также при сочетании гололедных отложений с сильным ветром.

Плавка гололеда и профилактический подогрев проводов контактной сети и ЛЭП, начатые своевременно, позволяют избежать тяжелых гололедно-ветровых аварий.

Для борьбы с гололедно-изморозевыми отложениями могут применяться:

- профилактический подогрев проводов;
- плавка гололеда на проводах;
- механическое удаление гололедных отложений;
- химические средства.

Профилактический подогрев проводов заключается в искусственном повышении тока контактной сети или ЛЭП до такой величины, при которой провода нагреваются до температуры выше 0° С. При такой температуре гололед на проводах не откладывается. Профилактический подогрев необходимо начинать до образования гололеда на проводах при климатических условиях, когда его образование становится возможным. При профилактическом подогреве следует, как правило, применять такие схемы питания, которые не требуют отключения потребителей.

Плавка гололеда на проводах осуществляется при уже образовавшемся гололеде путем искусственного повышения тока контактной сети или ЛЭП до такой величины, при которой выделяемой в проводах теплоты достаточно для расплавления гололеда с нормативной толщиной стенки при нормативных значениях температуры окружающей среды и скорости ветра.

Механическое удаление гололедных контактных проводов осуществляется с помощью гололедеочистительных устройств, установленных на автотрассах (автодрезинах) или платформах, а также вибропантографов или пневмобарабанов, установленных на специально выделенных электровозах и маневровых локомотивах. Выпуск на линию подвижных единиц, оборудованных средствами механического удаления гололеда, осуществляется в начальный период образования гололеда при толщине ледяной корки на контактных проводах до 4 мм. При продолжении образования гололеда наиболее эффективно и быстро обивка гололеда с контактных проводов происходит при одновременном включении электрической схемы плавки гололеда.

Механическое удаление гололедных отложений с проводов ЛЭП, выполненных на самостоятельных опорах, осуществляют на небольших участках или отдельных пролетах в тех случаях, когда не используется профилактический подогрев или плавка

гололеда. Механическое удаление гололеда осуществляется с соблюдением правил и инструкций по охране труда на отключенной и заземленной ЛЭП с учетом возможности наведения в ней опасных напряжений из-за электромагнитного влияния контактной сети или других параллельных линий.

Обивка гололедных отложений может осуществляться с земли или вышек и площадок, установленных на механизмах или транспортных средствах. Для обивки используются деревянные, ошпаленные, стеклопластиковые или бакелитовые шесты. Шест для обивки с земли должен иметь длину от 5 до 8 м. Шест для обивки с механизмов может иметь длину от 1,5 до 2 м. К шестам предъявляются требования, как к основным электроизолирующим средствам.

Обивка осуществляется боковыми ударами, вызывающими волнообразное колебание провода, при этом гололедные образования ломаются и осыпаются. Наиболее легко осыпаются (на длине пролета и более) кристаллическая изморозь и мокрый еще не смерзшийся снег. Наиболее трудно осыпается стекловидный гололед при низкой температуре воздуха (скол только в месте удара). Однако при температуре около 0° С такие отложения при ударах осыпаются кусками длиной до одного метра, а иногда и более.

Химические средства борьбы с гололедом в виде противогололедных смазок, обладающих водоотталкивающими свойствами, используются там, где применение электрических и механических способов ограничено. Это относится в первую очередь к разъединителям контактной сети и воздушных линий электроснабжения, а также к токоприемникам электроподвижного состава.

Профилактический подогрев проводов и (или) плавка гололеда на контактной сети должны быть предусмотрены для всех районов, где возможно образование гололедно-изморозевых отложений на контактных проводах.

Профилактический подогрев проводов и (или) плавка гололеда на ЛЭП (линии ДПР, ПЭ, АБ) должны быть предусмотрены в районах с толщиной стенки гололеда 25 мм и более, а также с частым образованием гололеда или изморози в сочетании с сильными ветрами и в районах с частой и интенсивной пляской проводов.

Плавку гололеда на контактной сети и ЛЭП рекомендуется начинать при увеличении толщины стенки гололеда свыше:

- 3 мм – на участках, подверженных пляске проводов;
- 5 мм – на участках, не подверженных пляске проводов.

Сборка схем профилактического подогрева и плавки гололеда должны быть отработаны заранее путем проведения тренировок. Время сборки схем должно быть доведено до минимального (не более 30 мин).

Для сборки схем профилактического подогрева и плавки гололеда должны использоваться коммутационные аппараты с дистанционным управлением. Применение ручных приводов допускается лишь в отдельных случаях. Временные соединения, собираемые на болтах, шлейфы, накладки, закоротки и т. п., не допускаются.

Плавку гололеда следует производить возможно большими токами, что позволяет быстрее восстановить нормальную схему работы. Для каждой линии должны быть составлены таблицы или диаграммы времени плавки в зависимости от погодных условий и толщины гололедных отложений.

Действительное время плавки гололеда следует увеличивать по сравнению с расчетным на 25-30 %. После полного отпадения гололедного образования на всем протяжении участка, на котором осуществляется плавка гололеда, время плавки следует продолжить от 10 до 15 минут для подсушивания проводов.

При расположении над проводами контактной сети или ЛЭП других высоковольтных линий плавка гололеда в первую очередь должна осуществляться на

верхней ВЛ во избежание опасного сближения проводов. Порядок и очередность плавки на обеих линиях устанавливается местной инструкцией с учетом фактического расстояния между проводами этих линий и принадлежности ВЛ.

При организации плавки гололеда выводятся из действия все защиты, предусмотренные для нормального режима, и вводятся в работу специальные комплекты защит. Допускается использование защит, предусмотренных для нормального режима, содержащие устройства для ручного или автоматического по телеуправлению изменения уставок срабатывания.

На контактной сети и ЛЭП, на которых предусматривается профилактический подогрев или плавка гололеда, до начала гололедного сезона должны быть проведены осмотр, ревизия и опробование всех элементов плавки. Не допускаются обрывы проводов в проводах, дефектные стыковки проводов, слабые контактные нажатия в коммутационных аппаратах и т. п. Провода на всем протяжении, входящем в цепь профилактического подогрева или плавки гололеда, должны быть одной марки одинакового материала и сечения). На поврежденные провода накладываются бандажки, подтягиваются болтовые соединения, регулируются контактные нажатия выключателей и разъединителей. После ревизии в плановом порядке необходимо осуществить опробование схем профилактического подогрева и плавки гололеда с учетом значений допустимых токов для тех климатических условий, при которых осуществляется опробование.

На участках, где линия ДПР или ПЭ используются в качестве волновода для поездной радиосвязи, следует проверить возможность пропуска установленного тока подогрева или плавки через высокочастотные заградители, включенные в провода на обходах тяговых подстанций.

Допустимый длительный ток контура СК-6 равен 180 А. При больших токах подогрева или плавки должны применяться специальные контуры.

В период гололедного сезона, а особенно при угрозе возникновения и плавке гололеда, необходимо организовать наблюдение на специально смонтированных гололедных постах и опытных пролетах или на трассе контактной сети и ЛЭП в местах, подвергающихся наибольшему обледенению (обычно на наиболее возвышенных местах трассы или на открытой местности) и связь между наблюдающими и энергодиспетчером.

При проектировании электрификации железных дорог в гололедных районах выше IV необходимо:

- длину межподстанционных зон, а, следовательно, и число тяговых подстанций на участке, определять с учетом принимаемого способа борьбы с гололедом, согласовав с энергоснабжающими организациями значения отпускаемых мощностей на время работы противогололедных схем;
- для усиливающих и экранирующих проводов, а также линий ДПР, ПЭ и АБ применять провода только марки АС.

3. Профилактический подогрев и плавка гололеда на проводах контактной сети постоянного тока

3.1. Схемы профилактического подогрева

Для профилактического подогрева применяют, как правило, петлевые схемы с созданием петли из цепных подвесок двух путей: петля в одну сторону от подстанции до поста секционирования или соседней подстанции; петля в обе стороны от подстанции до постов секционирования или соседних подстанций.

При выборе схемы и расчете ее параметров следует руководствоваться следующими критериями:

- схемы профилактического подогрева следует выбирать в зависимости от местных условий, чтобы подогревать более протяженные участки контактной подвески;
- схема подогрева проводов рассчитывается на ток, значение которого не должно быть меньше вычисленного для нормативных значений скорости ветра и температуры окружающей среды. Ток схемы подогрева суммарно с током тяги не должен превышать максимального допустимого значения. Если ток подогрева проводов суммарно с током тяги превышает максимальное допустимое значение, необходимо на период проведения профилактического подогрева ввести ограничение движения поездов;
- потенциал контактной сети путей, на которых предполагается движения электроподвижного состава в период профилактического подогрева, должен быть не более 4,0 кВ и не менее 2,7 кВ относительно рельсов. В отдельных случаях по разрешению руководства железной дороги допускается ололёд напряжения не менее 2,4 кВ;
- при выборе схем подогрева следует стремиться, чтобы напряжение на ветвях воздушных промежутков, разделяющих межподстанционные зоны, было одинаковым.

Наиболее часто применяемые схемы профилактического подогрева проводов представлены на рисунках 3.1 – 3.5.

На рисунке 3.1 приведена схема «Петля в одну сторону от подстанции до соседней подстанции при отсутствии тяговых нагрузок».

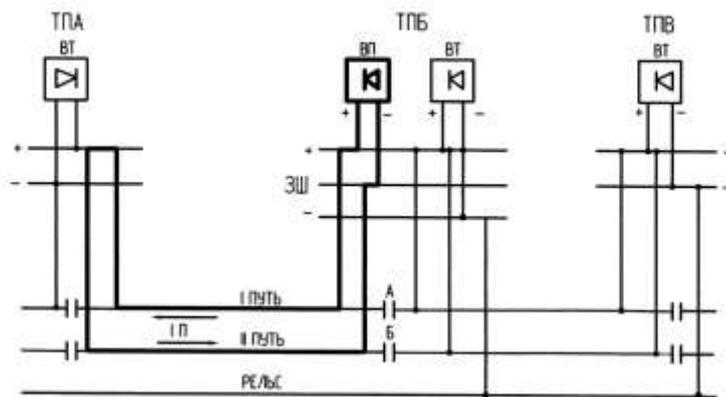


Рис. 3.1

Эта схема имеет следующие недостатки.

- повышение потенциала на «+» шинах приводит к запертию выпрямителей на подстанциях ТПБ и ТПВ. Если это напряжение превысит допустимое по ПТЭ железных дорог – 4000 В, то электровозы могут отключаться от защиты максимального напряжения;
- при запертых выпрямителях на подстанции ТПВ питание ЭПС на обоих путях межподстанционной зоны ТПБ – ТПВ осуществляется только от подстанции ТПА. Это может привести к перегрузке выпрямителя подогрева через который будет проходить ток;
- обратная ветвь петли подогрева также имеет одностороннее питание от подстанции ТПА;
- напряжение конца петли не должно быть ниже уставки защиты минимального напряжения на электровозе;

- открытый воздушный промежуток в конце петли подогрева ЭПС должен проходить с опущенными токоприемниками, замыкание ветвей промежутка приведет к короткому замыканию выпрямителя, работающего в режиме подогрева;
- шунтирование постов секционирования на подогреваемой зоне осложняет защиту контактной сети от токов КЗ.

Схема «Петля в обе стороны от подстанции до подстанции при отсутствии тяговых нагрузок» показана на рисунке 3.2.

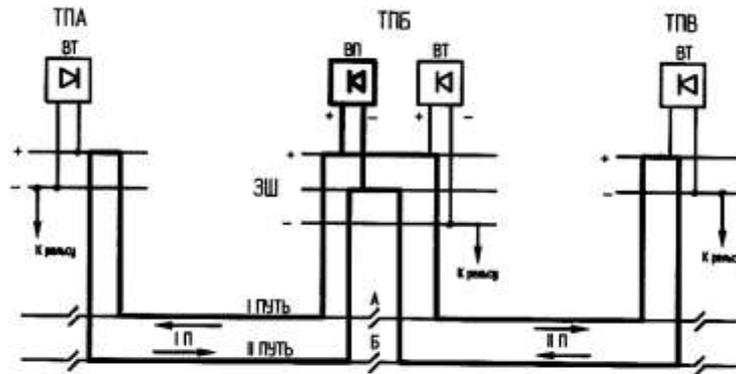


Рис. 3.2

В этой схеме повышение напряжения имеет место только на подстанции ТПБ. При отсутствии и малых нагрузках запираются только выпрямители этой подстанции. Питание ЭПС на межподстанционных зонах ТПА – ТПБ и ТПБ – ТПВ осуществляется выпрямителями подстанций ТПА и ТПВ соответственно.

Ветви воздушных промежутков на четном и нечетном путях равнопотенциальны, проход по ним ЭПС возможен без опускания токоприемников.

Схема «Петля в обе стороны от подстанции до поста секционирования» приведена на рисунке 3.3.

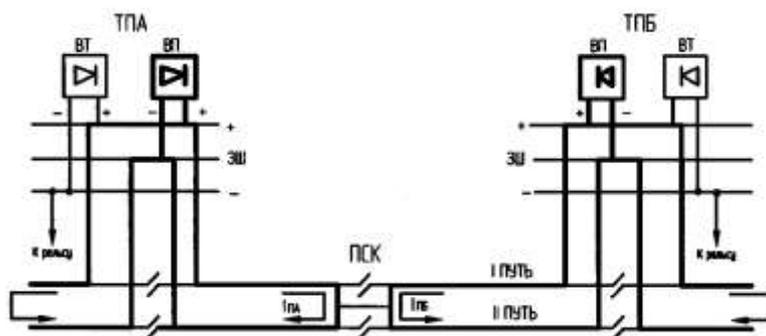


Рис. 3.3

Эту схему целесообразно применять, когда предполагается использовать подогрев на нескольких межподстанционных зонах одновременно. Тяговые выпрямители на подстанциях не запираются, однако напряжение в конце петли имеет низкий ололёд.

В случае, когда по условию нагрузок профиля и др. Необходимо поддерживать нормативный уровень напряжения на каком-либо пути, возможно применение варианта по схеме, приведенной на рисунке 3.4.

Схема «Двухсторонняя петля при отсутствии тяговых нагрузок» приведена на рисунке 3.5.

Эта схема применяется, если сопротивление контактной подвески мало и использование других схем невозможно из-за превышения максимально допустимого тока. Напряжение на ололё воздушного промежутка «А» велико и его следует проезжать с опущенным токоприемником.

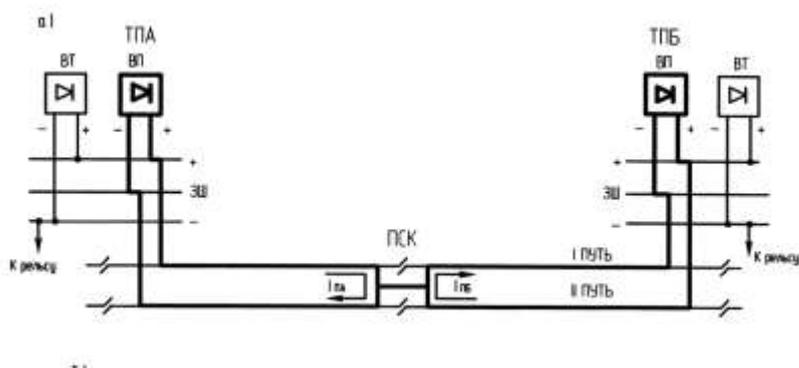


Рис. 3.4

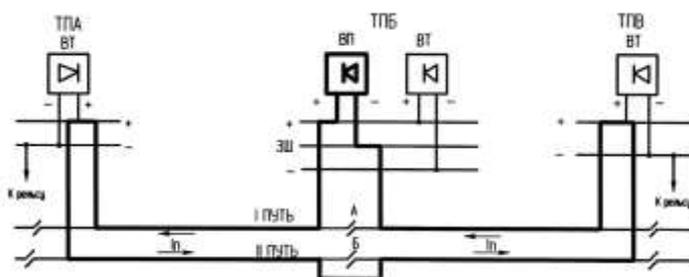


Рис. 3.5

Следует обратить внимание, что во всех петлевых схемах после переключения в режим подогрева, выпрямители оказываются под потенциалом контактной сети. Поэтому все цепи, подключенные к минусовому выводу преобразователю (измерительные приборы и т. д.), должны иметь изоляцию на рабочее напряжение 3,3 кВ.

В некоторых режимах ток выпрямителя, работающего в режиме тяги, проходит через выпрямитель подогрева. Мощность выпрямителя подогрева должна рассчитываться с учетом этого тока.

3.2. Схемы плавки

На контактной сети постоянного тока для борьбы с гололедом применяют способ короткого замыкания. В этом случае начало зоны плавки гололеда подключается к плюсовой рабочей шине подстанции, а конец к рельсовой цепи.

Плавка гололеда является довольно эффективной мерой борьбы с гололедом, но имеет два существенных недостатка — требует прекращения движения поездов и не исключает возможности пережога проводов, если ток и схема плавки не корректируются по фактическим климатическим условиям (скорости ветра V и температуре окружающей среды $t_{окр}$).

Плавка способом короткого замыкания в зависимости от местных условий имеет несколько схемных вариантов. Для плавки ололёда на однопутных участках, как правило, применяют консольные схемы, на двухпутных — петлевые.

Для сборки схемы «петли» для плавки гололеда на тяговых подстанциях смонтированы разъединители плавки гололеда (РПГ), соединяющие запасную шину с минусовой шиной (рисунок 3.6). Для плавки гололеда применяют схему «петли» в одну сторону от подстанции до соседней подстанции или поста секционирования.

Для сборки схемы плавки гололеда на двухпутном участке (рисунок 3.7) на тяговой подстанции ТПА, от которой будет подаваться напряжение в цепь короткого замыкания (последовательно соединенные контактные подвески двух главных путей), включают разъединитель плавки гололеда, и обходной разъединитель выключателя фидера конца петли. У поста секционирования включают продольные разъединители, шунтирующие изолирующие сопряжения обоих главных путей. На соседней тяговой подстанции ТПВ включают обходные разъединители фидеров, встречно питающих контактную сеть с подстанцией ТПА, подающей напряжение в цепь короткого замыкания. Включением быстродействующего выключателя начала петли подстанции ТПА подают напряжение в цепь короткого замыкания. Ток короткого замыкания, пройдя по первому главному пути, запасной шине тяговой подстанции ТПВ, подвеске второго пути, через запасную шину тяговой подстанции ТПА и разъединитель РПГ, попадает на минус шину и возвращается к источнику питания.

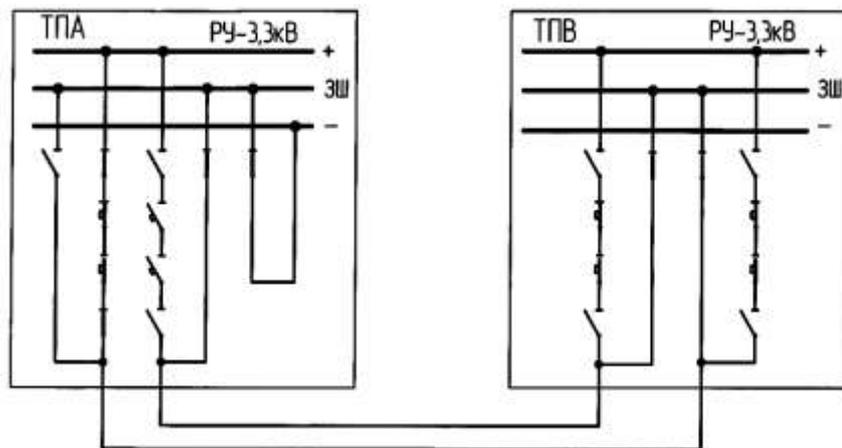


Рис. 3.6

В случае применения схемы плавки гололеда от подстанции до поста секционирования необходимо смонтировать разъединители, соединяющие контактные подвески двух главных путей (рисунок 3.8).

При плавке гололеда на однопутном или на одном из путей двухпутного участка (от подстанции до подстанции) на подстанции ТПВ (рисунок 3.9) включают разъединитель плавки гололеда РПГ и обходной разъединитель фидера пути, на котором будет производиться плавка гололеда. У поста секционирования ПСА включают продольный разъединитель. На подстанции ТПВ, питающей цепь короткого замыкания, включают фидерный выключатель в сторону соседней подстанции ТПА. Ток короткого замыкания, пройдя по контактной подвеске, через разъединитель РПГ соседней подстанции ТПА попадает на минус шину и по рельсовой цепи возвращается на подстанцию ТПВ, питающую цепь короткого замыкания.

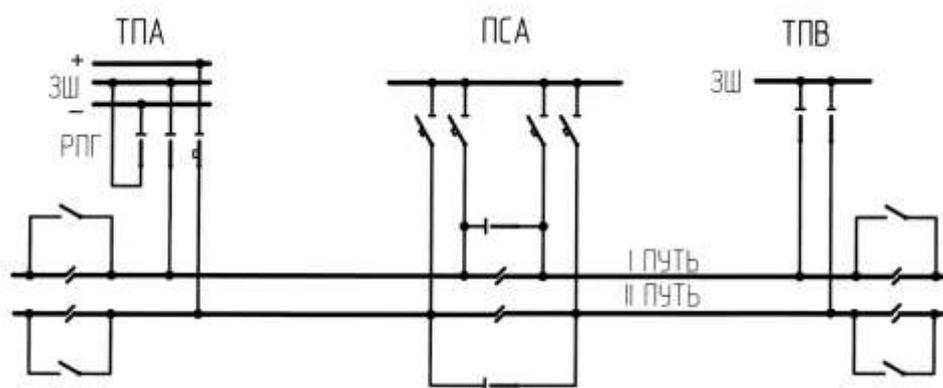


Рис. 3.7

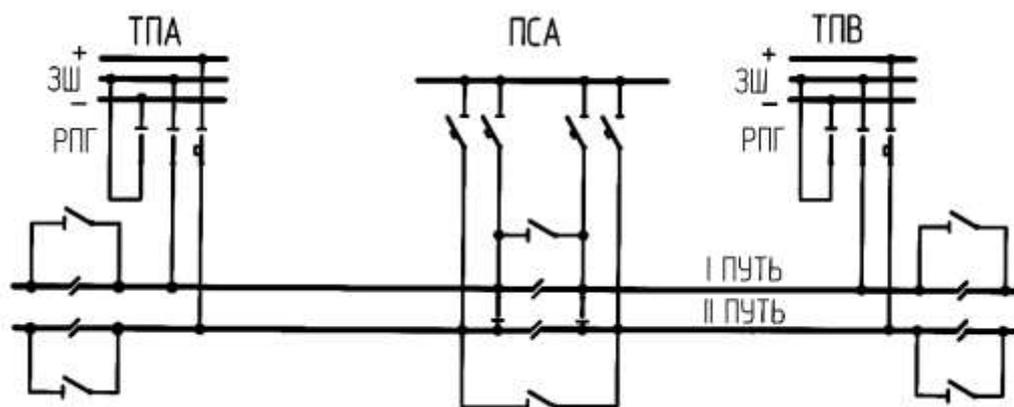


Рис. 3.8

Для плавки гололеда на однопутном участке от подстанции до поста секционирования применяют консольную схему (рисунок 3.10). В этом случае у поста секционирования необходимо установить разъединитель, заземляющий контактную сеть на рельс.

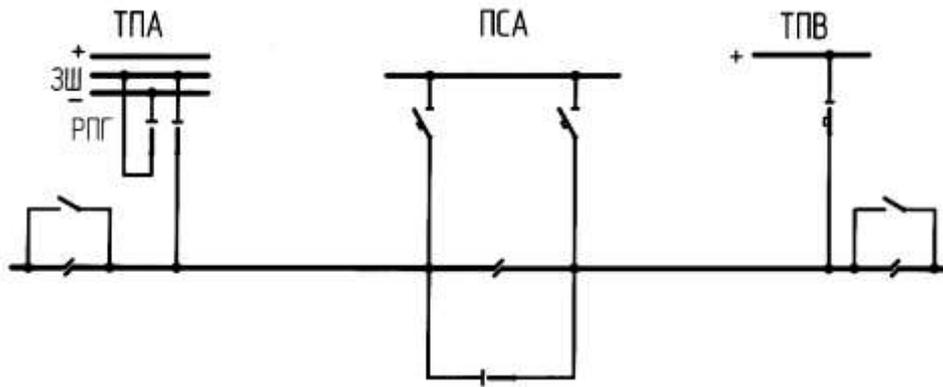


Рис. 3.9

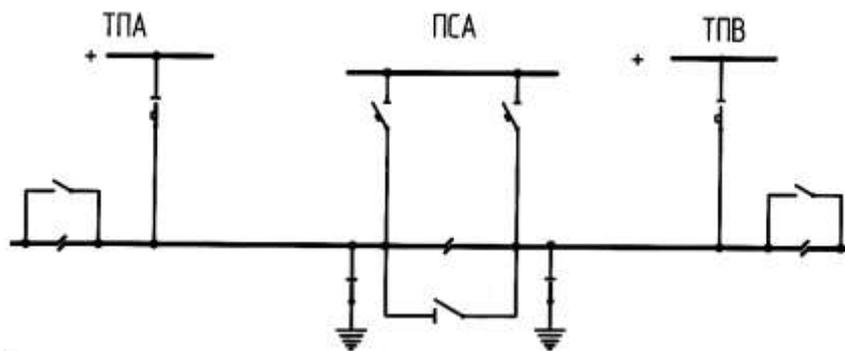


Рис. 3.10

4. Профилактический подогрев и плавка гололеда на проводах контактной сети переменного тока

4.1. Основные схемы электрических способов борьбы с гололёдом на контактной сети переменного тока

Плавка гололёда или профилактический подогрев контактного провода при системе переменного тока 27,5 кВ осуществляются двумя основными способами:

- током искусственного короткого замыкания (к.з.) тяговой сети на рельсы (рисунки 4.1, 4.2 и 4.3);
- уравнительным током при питании тяговой сети от разных фаз понижающего трансформатора одной или двух соседних подстанций (рисунки 4.4, 4.5).

Первый способ связан с прекращением движения поездов на участке протекания тока к. з., поэтому его используют только для плавки гололёда в возможно кратчайший период времени (как правило, не более чем от 40 до 60 мин). Место к. з. выбирают исходя из необходимости создать требуемый ток в контактном проводе, а также обеспечить плавку гололёда на всей межподстанционной зоне при поочерёдном включении схемы к. з. на разных участках тяговой сети.

При втором способе, в зависимости от величины уравнительного тока, разнофазные схемы питания тяговой сети позволяют осуществлять как плавку гололёда, так и профилактический подогрев проводов. Эти схемы не исключают возможности пропуска поездов по участку борьбы с гололёдом, однако вследствие протекания

уравнительного тока снижается располагаемая нагрузочная способность тяговой сети, силовых трансформаторов и уменьшается напряжение холостого хода на удалённом от подстанции участке контактной сети.

Схемы на рисунках 4.1, 4.2 и 4.5 применяют на межподстанционных зонах при любом количестве электрифицированных путей, а петлевые — на двухпутных и многопутных зонах. На ряде существующих однопутных участков с двухпутными вставками для организации петлевых схем борьбы с гололёдом, а также для повышения нагрузочной способности системы, однопутные перегоны оборудованы шунтирующей линией, проложенной на отдельных опорах параллельно тяговой сети.

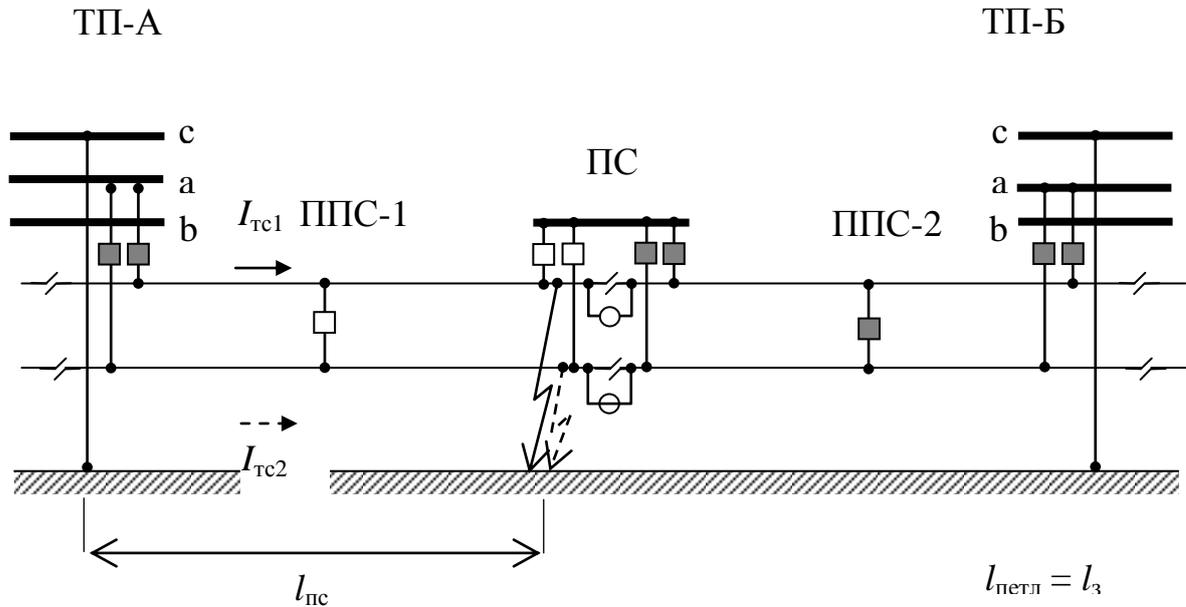


Рисунок 4.1 — Схема плавки гололёда на одном или обоих путях при коротком замыкании у поста секционирования.

Затемнённые выключатели и разъединители – включены

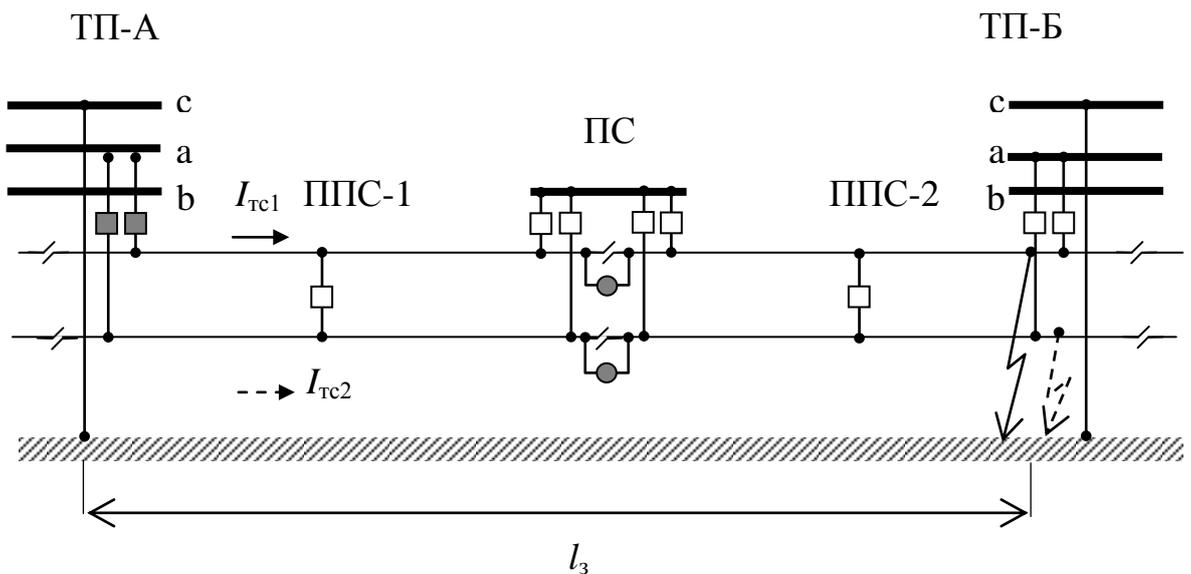


Рисунок 4.2 — То же, что на рисунке 4.1, при к.з. у соседней тяговой подстанции

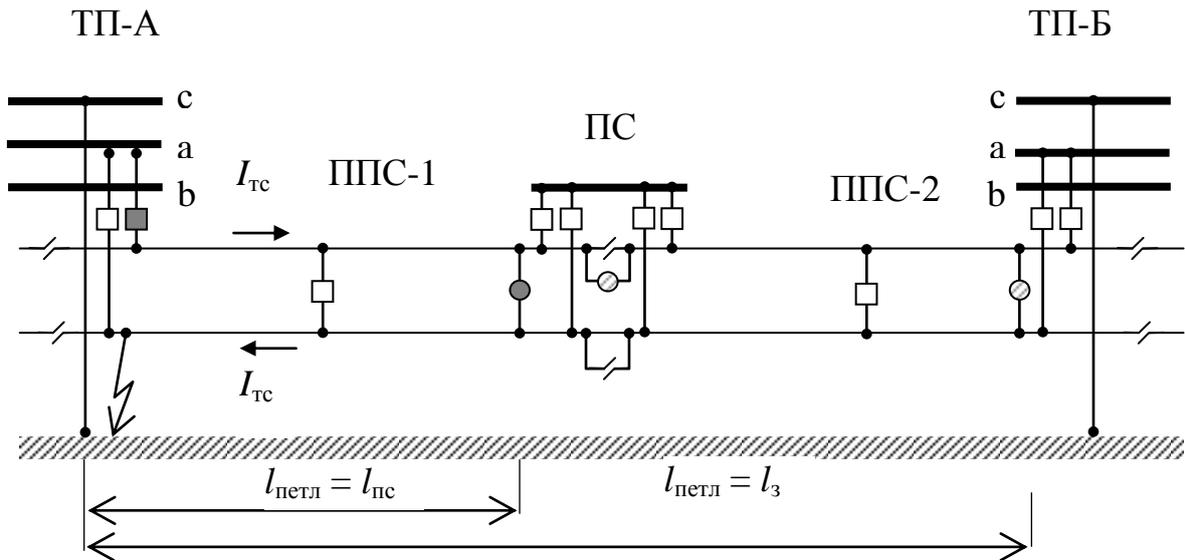


Рисунок 4.3 — Плавка гололёда коротким замыканием тяговой сети у питающей подстанции при петлевой схеме до поста секционирования (включён разъединитель PPI) или до смежной подстанции (PPI отключён, PA , $PБ$, $PPI2$ включены)

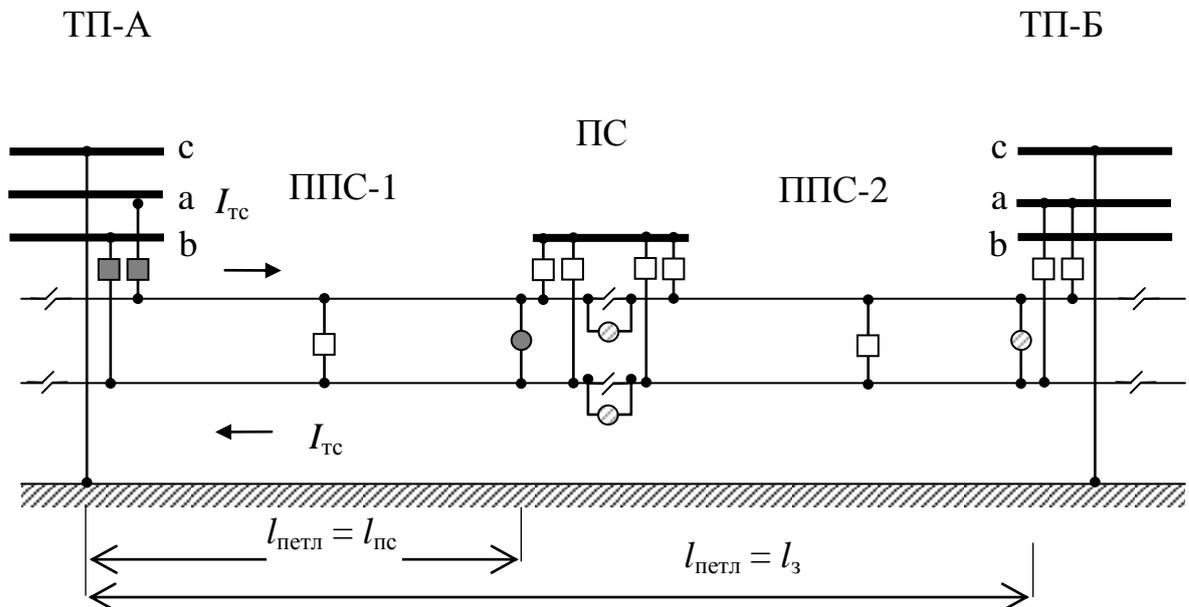


Рисунок 4.4 — Петлевая схема питания тяговой сети от разных фаз одной подстанции.

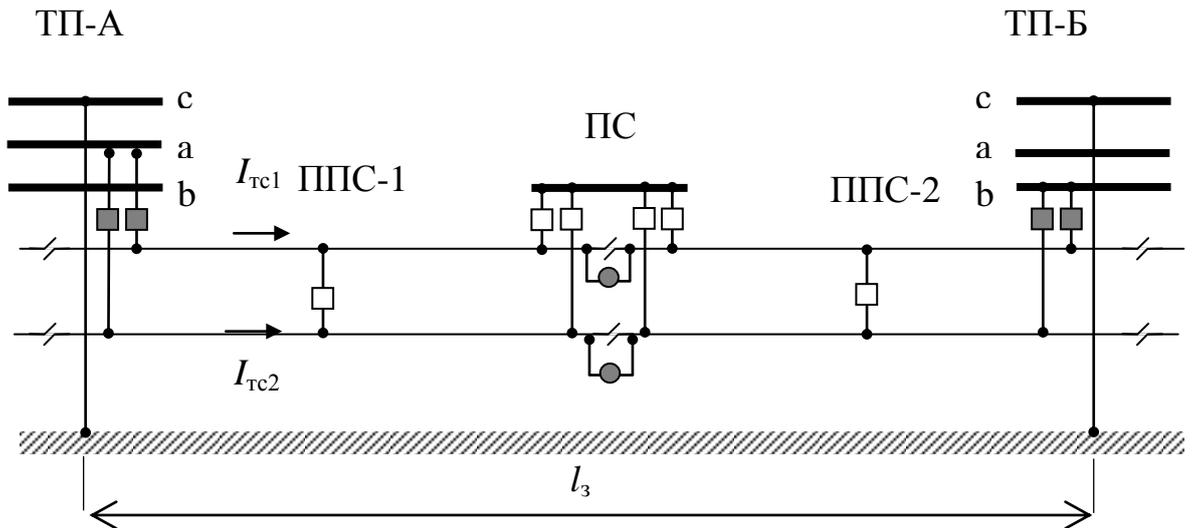


Рисунок 4.5 — Разнофазная схема питания тяговой сети от смежных подстанций

На участке зоны борьбы с гололёдом должны быть отключены все ППС и незадействованные в петлевой схеме поперечные разъединители между контактными сетями главных путей. Во избежание повреждения контактной сети должно быть также запрещено движение с поднятыми токоприёмниками по съездам между главными путями, подвески которых находятся под разным напряжением, и по воздушным промежуткам, отделяющим участок борьбы с гололёдом от остальной части межподстанционной зоны.

Дистанционные защиты фидеров контактной сети, входящих в схему борьбы с гололёдом, следует выводить из работы. Уставку максимальной токовой защиты этих фидеров на период работы схемы необходимо устанавливать выше чем от 15 до 20 % от расчётного значения тока тяговой сети.

Выбор схемы борьбы с гололёдом для каждого пути и участка межподстанционной зоны производится на основе результатов расчёта токов в тяговой сети.

При плавке гололёда ток в тяговой сети должен обеспечивать освобождение контактного провода от гололёдного осадка за минимально возможный отрезок времени. Если при существующих параметрах системы электроснабжения или по метеорологическим условиям плавка гололёда невозможна, то выполняются расчёты для режима профилактического подогрева проводов. В этом случае ток тяговой сети должен быть не меньше величины, при которой поддерживается положительная температура контактного провода.

Во всех режимах работы противогололёдных схем ток тяговой сети не должен превышать максимального значения, соответствующего длительно допустимой температуре нагрева проводов подвески при заданных метеоусловиях образования гололёда.

Силовое оборудование подстанций, понижающие трансформаторы, выключатели и разъединители в схеме борьбы с гололёдом должны быть рассчитаны на пропуск заданных токов тяговой сети. Выбор параметров устройств осуществляется с учётом их нагрузочной способности в условиях работы при нулевой и отрицательных температурах окружающего воздуха.

При проектировании электрификации железнодорожных участков в гололёдных районах следует учитывать, что при наличии усиливающего провода в тяговой сети (а также в сети с ЭУП) доля тока в контактном проводе от 1,7 до 1,9 раза меньше, чем в обычной двухпроводной подвеске. Для реализации плавки гололёда или профилактического подогрева контактного провода необходимо иметь во столько же раз больший ток тяговой сети. На межподстанционных зонах длиной свыше чем от 60 до 70 км, оборудованных усиленной контактной подвеской, осуществить плавку гололёда практически невозможно из-за недостаточной величины тока короткого замыкания. Для обеспечения профподогрева проводов на таких зонах требуется, как правило, установка дополнительного (третьего) трансформатора на тяговой подстанции и применение оборудования повышенной нагрузочной способности.

4.2. Схемы питания тяговой сети 2×25 кВ при электрических способах борьбы с гололёдом

Борьба с гололёдом в тяговой сети 2×25 кВ осуществляется теми же способами, что и при обычной системе переменного тока. Вследствие малого эквивалентного сопротивления тяговой сети с автотрансформаторами (АТ) необходимые токи для плавки гололёда и профилактического подогрева контактного провода реализуются при разнофазных и петлевых схемах на межподстанционных зонах длиной до 100 км и более. Такие схемы не требуют полного прекращения движения поездов. Кроме того, в разнофазной схеме уравнительные токи между подстанциями протекают по контактной подвеске и по питающему проводу (в противоположном направлении), что, в отличие от системы 27,5 кВ, не приводит к возрастанию магнитного влияния тяговой сети на смежные коммуникации.

Петлевая схема борьбы с гололёдом применяется только на двухпутных участках (рисунок 4.6). Контактные сети К1, К2 и питающие провода П1, П2 соответственно первого и второго путей соединяются попарно между собой поперечными разъединителями РпК и РпП. В зависимости от длины межподстанционной зоны и требуемой величины тока эти разъединители устанавливаются у поста секционирования (ПС), как показано на рисунке 4.6, либо аналогично у соседней подстанции. Во втором случае ПС полностью выводится из работы и включаются продольные разъединители на воздушных промежутках. На подстанции с однофазными трансформаторами тяговая сеть одного из путей (например, К2, П2) запитывается от трансформатора смежного плеча через соответствующую систему шин РУ 55 кВ ($b_K, b_{П}$).

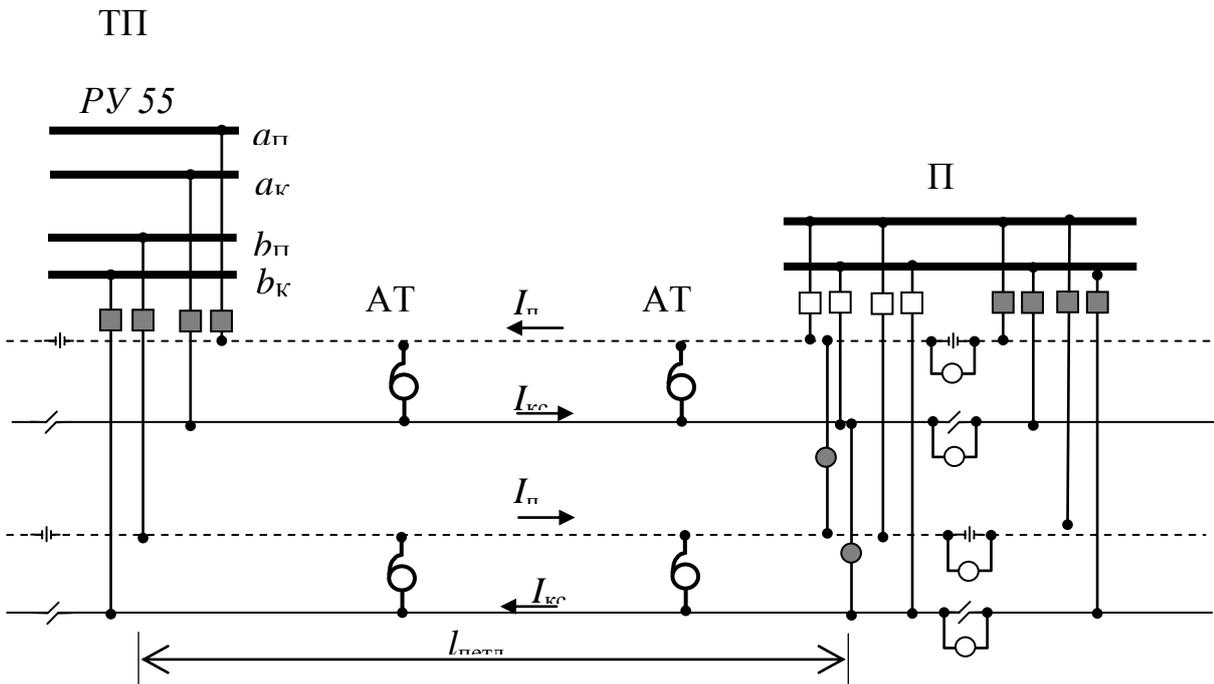


Рисунок 4.6. — Петлевая схема питания тяговой сети 2x25 кВ до поста секционирования

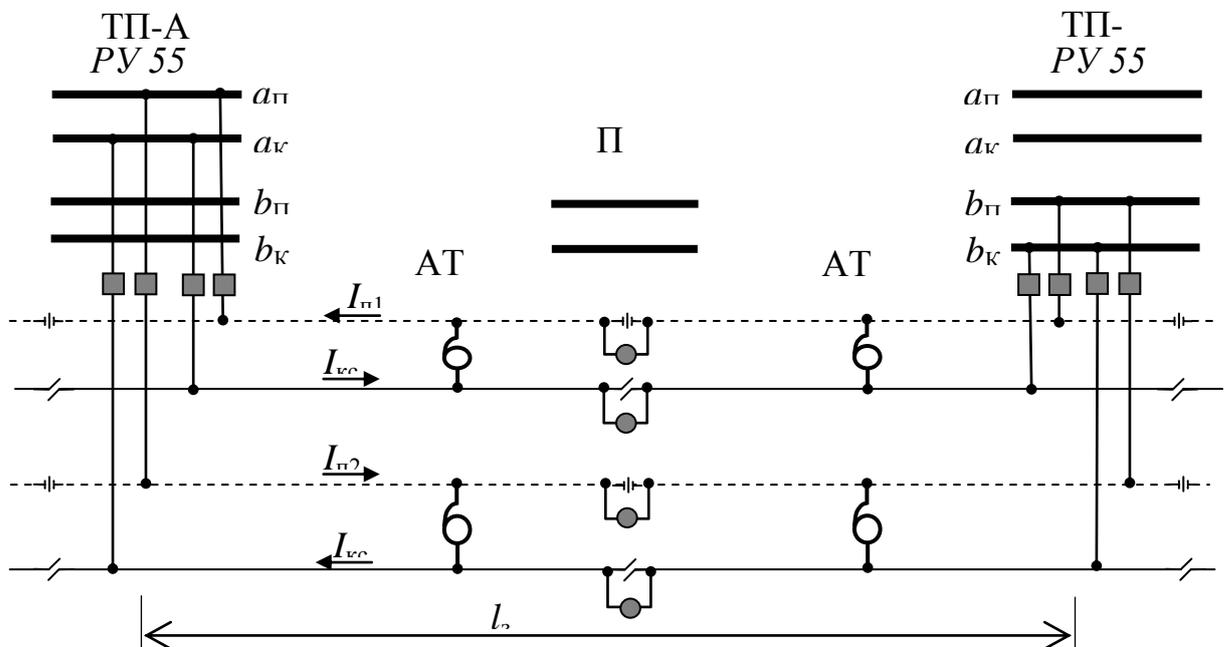


Рисунок 4.7 — Разнофазная схема борьбы с гололёдом при системе 2x25 кВ

При разнофазной схеме (рисунок 4.7) тяговая сеть одного или обоих путей на соседней подстанции (например, ТП-Б) подключается к шинам смежного плеча (b_K , $b_{П}$).

Уравнительные токи, возникающие в тяговой сети обеих указанных схем за счёт разности векторов напряжений (при угле 60°) вторичных обмоток двух однофазных трансформаторов, являются транзитными, и через линейные АТ практически не протекают. Поэтому при таких способах борьбы с гололёдом автотрансформаторы не отключают.

На тяговых подстанциях системы 2×25 кВ с обычными трёхфазными трансформаторами и повышающими автотрансформаторами питание фидеров контактной сети в петлевой и разнофазной схемах осуществляется так же, как на подстанциях системы 27,5 кВ (см. рисунки 4.4, 4.5). Пример реализации разнофазного питания тяговой сети с повышающими АТ представлен на рисунке 4.8.

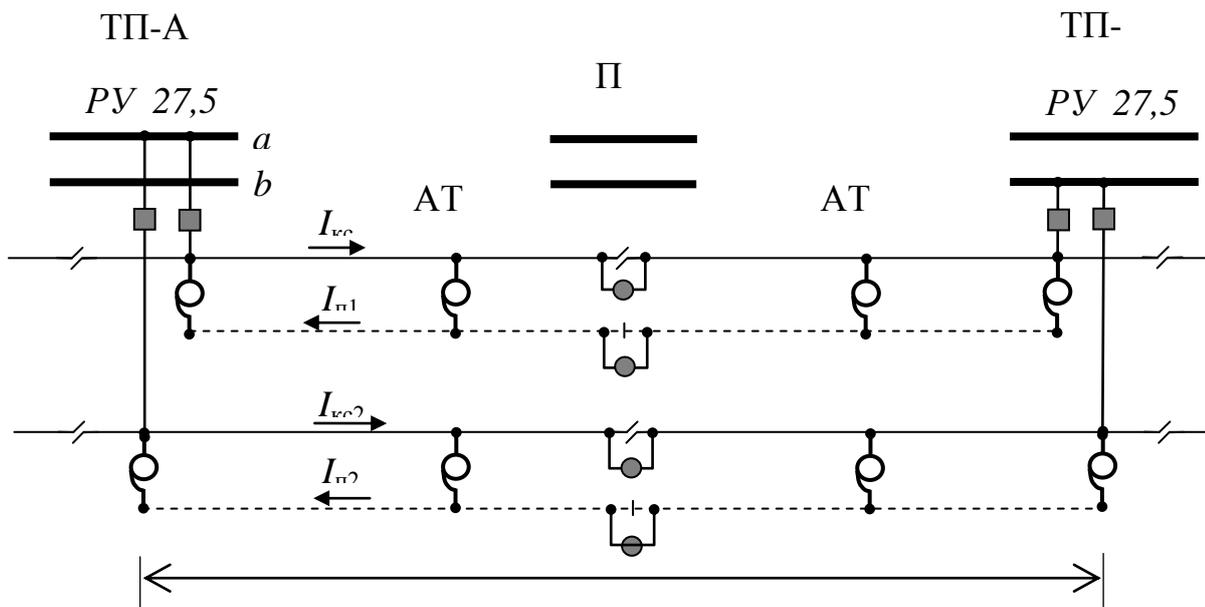


Рисунок 4.8 — Разнофазная схема при системе 2×25 кВ с трёхфазными трансформаторами подстанций и повышающими АТ на фидерах контактной сети

В случаях, не связанных с требованиями ограничения магнитного влияния тяговой сети 2×25 кВ на смежные коммуникации, может применяться схема плавки гололёда коротким замыканием контактной сети на землю при отключённых автотрансформаторах и фидерах питающего провода (см. рисунки 4.1, 4.2).

5. Борьба с гололедом на проводах линий электропередачи «два проводарельсы» железной дороги (ЛЭП ДПР), линий электропередачи продольного электроснабжения железной дороги (ЛЭП ПЭ) и линий электропередачи автоблокировки железной дороги (ЛЭП АБ).

5.1. Подогрев проводов ЛЭП ДПР

Схемы питания при подогреве проводов должны обеспечить протекание тока $I_{сп}$. Схемы питания ЛЭП ДПР при подогреве проводов приведены на рисунках 5.1.

Ток подогрева для этих схем вычисляют по формуле

$$I_{\text{сп}} = \frac{U_{\text{ип},0}}{2Z_{\text{ип}} + Z_{\text{сп}}}, \quad (5.1)$$

где $U_{\text{ип},0}$ — напряжение холостого хода источника питания, В;
 $Z_{\text{ип}}$ — сопротивление одной фазы источника питания, Ом;
 $Z_{\text{сп}}$ — входное сопротивление схемы подогрева проводов, Ом.

Петлевая схема подогрева в одну сторону от подстанции (рисунок 5.1, а) образуется при замыкании разъединителя QS, размещенного на смежной подстанции. В качестве источника питания $U_{\text{ип}}$ могут использоваться шины 6, 10 и 27,5 кВ в зависимости от расстояния L и необходимого значения тока. Входное сопротивление схемы подогрева вычисляют по формуле

$$Z_{\text{сп}} = 2 z_{-2,1} L, \quad (5.2)$$

где L — длина зоны подогрева, км;
 $z_{-2,1}$ — сопротивление 1 км одного провода двухпроводной линии при одинаковых и противоположно направленных токах в обоих проводах, Ом/км.

При напряжениях источника питания ниже 27,5 кВ используются укороченные петлевые схемы с питанием от двух смежных подстанций (рисунок 5.1, б). Как правило, вначале гололед оплавляется на одном участке, например L_1 , а затем на другом. Если напряжения источников $U_{\text{ип}1}$ и $U_{\text{ип}2}$ одинаковы и сфазированы, а номинальный ток разъединителя QS достаточен, то плавку на участках L_1 и L_2 допускается осуществлять одновременно. Значения входных сопротивлений схем подогрева вычисляют по формулам

$$Z_{\text{сп}1} = 2 z_{-2,1} L_1, \quad Z_{\text{сп}2} = 2 z_{-2,1} L_2. \quad (5.3)$$

Петлевая схема подогрева проводов ДПП в обе стороны от подстанции приведена на рисунке 5.1, в.

Разъединители QS1 и QS2 должны быть разомкнуты, а разъединители QS3, QS4 и QS5 — замкнуты. Разъединители QS4 и QS5 устанавливаются на смежных подстанциях, расстояния до которых равны соответственно L_1 и L_2 . Значение входного сопротивления схемы подогрева вычисляют по формуле

$$Z_{\text{сп}} = 2 z_{-2,1} (L_1 + L_2). \quad (5.4)$$

В петлевых схемах ток подогрева каждого из проводов $I_{\text{п}}$ равен току схемы ($I_{\text{п}} = I_{\text{сп}}$).

При использовании петлевых схем трехфазные нагрузки следует отключить. Напряжение проводов линии ДПП при петлевых схемах, приведенных на рисунках 5.1, а, б, в, относительно рельсовой цепи снижается в наиболее удаленной точке примерно на 15 % от уровня напряжения источника питания. Если в качестве источника питания используются шины 27,5 кВ, то при подогреве проводов следует отключать только те однофазные нагрузки, для которых такое снижение напряжения недопустимо. При использовании более низких напряжений источника питания следует отключать все трехфазные и однофазные нагрузки.

Схема питания для подогрева проводов, использующая в качестве обратного провода рельсовую цепь и землю, приведена на рисунке 5.1, г. В зависимости от напряжения $U_{\text{ип}}$ источника питания расстояние L может достигать до смежной подстанции или быть более коротким. В последнем случае подогрев проводов следует осуществлять от двух смежных подстанций подобно тому, как показано на рисунке 5.1, б.

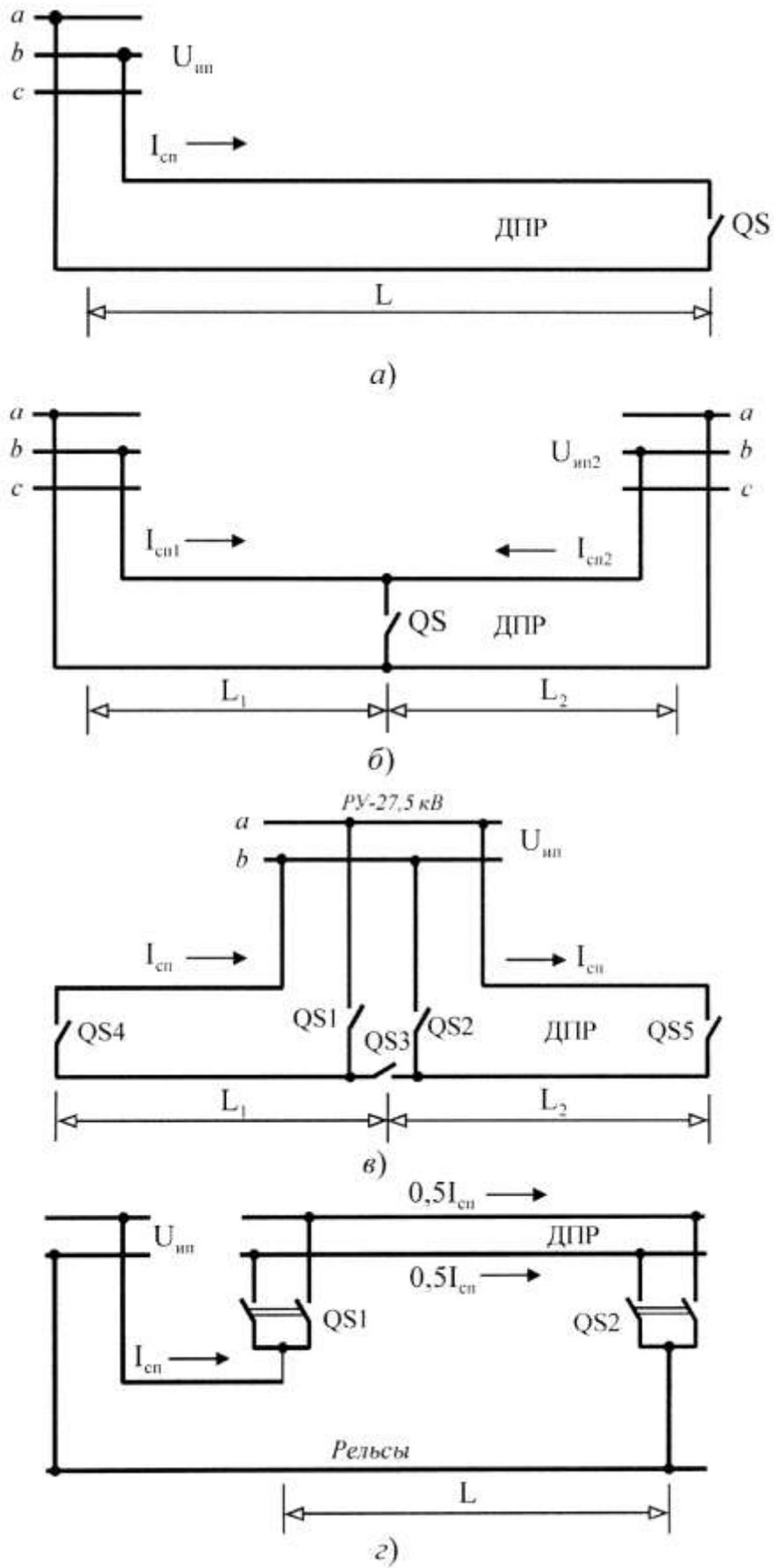


Рисунок 5.1 Схемы подогрева проводов линии ДПР

Двухполюсные разъединители QS1 и QS2, установленные в начале и конце линии, соединяют провода параллельно. Одна из фаз источника питания $U_{ин}$ подключается к общей точке разъединителя QS1, другая — к цепи отсоса. Общая точка разъединителя QS2 подключается к контуру заземления и цепям отсоса на смежной подстанции. Если разъединитель QS2 расположен в середине межподстанционной зоны, то его общая точка заземляется на собственный контур заземления и присоединяется к средней точке дроссель-трансформатора рельсовой цепи.

При подогреве проводов все нагрузки следует отключать. Поскольку в данной схеме в качестве обратного провода используются рельсовая цепь и земля, то следует произвести проверку индуктивного влияния на линии связи.

Значение входного сопротивления петли подогрева проводов для схемы, приведенной на рисунке 5.1, з, на однопутном участке при размещении проводов ДПР на одном кронштейне вычисляют по формуле

$$Z_{сп} = z_{12} L, \quad (5.5)$$

где z_{12} — сопротивление 1 км контура, состоящего из параллельно соединенных двух проводов линии ДПР и рельсовой цепи однопутного участка, Ом/км.

На двухпутном участке при размещении проводов ДПР по одному на кронштейнах опор разных путей используют формулу

$$Z_{сп} = z_{22} L, \quad (5.6)$$

где z_{22} — сопротивление 1 км контура, состоящего из параллельно соединенных двух проводов линии ДПР и рельсовой цепи двухпутного участка, Ом/км.

Ток подогрева каждого из проводов I_n в этой схеме равен $I_n = 0,5 I_{сп}$.

5.2. Подогрев проводов трехфазных ЛЭП ПЭ и АБ

Схемы питания линии ЛЭП ПЭ и ЛЭП АБ при подогреве проводов приведены на рисунке 5.2. При всех схемах питания нагрузки линии, не допускающие снижение напряжения, следует отключить. Во всех схемах осуществляется одновременный подогрев проводов трех фаз одинаковыми токами.

В схеме, приведенной на рисунке 5.2, а, подогрев проводов осуществляется токами трехфазного короткого замыкания при одностороннем питании, а в схеме, приведенной на рисунке 5.2, б — при двухстороннем питании. Ток провода $I_{сп}$, равный току фазы $I_{ф}$, вычисляют по формуле, А

$$I_{сп} = I_{ф} \frac{U_{ин,0}}{\sqrt{3}(Z_{ин} + Z_{сп})}, \quad (5.7)$$

где $U_{ин,0}$ — линейное напряжение холостого хода источника питания, В;

$Z_{ин}$ — сопротивление одной фазы источника питания, Ом;

$Z_{сп}$ — входное сопротивление схемы подогрева проводов, Ом.

Входное сопротивление схемы подогрева для трехфазного короткого замыкания равно

$$Z_{сп} = z_1 L, \quad (5.8)$$

где z_1 — сопротивление 1 км прямой последовательности (сопротивление фазы) линии электропередачи, Ом/км;

L — длина зоны подогрева, км.

В схеме, приведенной на рисунке 5.2, б, вычисление тока $I_{сп}$ производят отдельно для каждой из подстанций (каждого из источников питания).

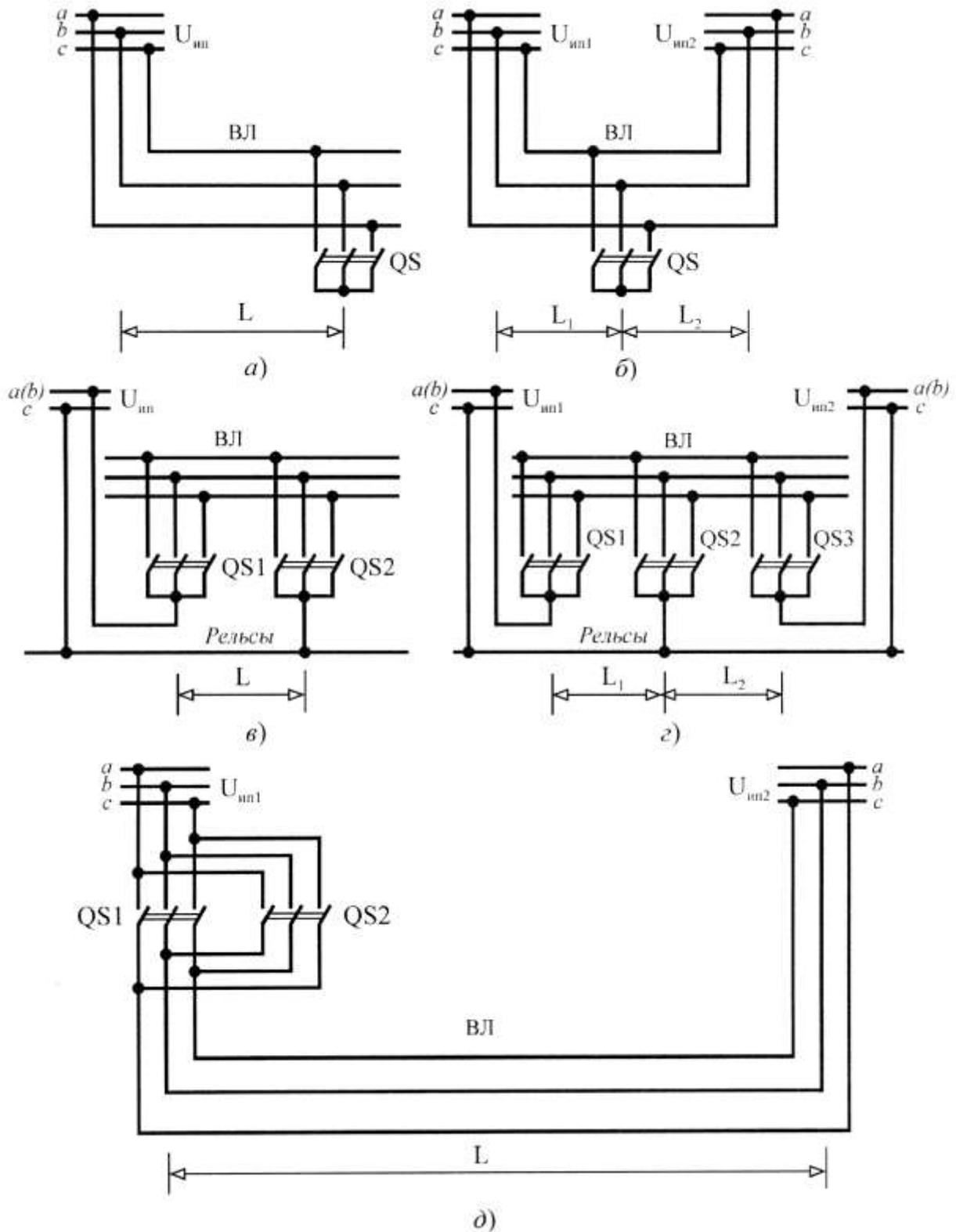


Рисунок 5.2 Схемы подогрева проводов ЛЭП

Для левой подстанции принимают $U_{ин,0} = U_{ин}$, $L = L_1$, для правой подстанции принимают $U_{ин,0} = U_{ин2,0}$, $L = L_2$.

В схеме, приведенной на рисунке 5.2, в, подогрев осуществляется однофазным током при параллельном соединении проводов трех фаз линии с использованием рельсовой цепи и земли в качестве обратного провода при одностороннем питании. Одна из фаз источника питания $U_{ин}$ присоединяется к общей точке разъединителя QS1, а другая — к цепи отсоса на смежной подстанции. При двухстороннем питании (рисунок 5.2, г) общие точки разъединителей QS1 и QS2 подсоединяются к цепям отсоса

соответствующих подстанций, а общая точка разъединителя QS3, расположенного в зоне подогрева между подстанциями, заземляется на собственный контур заземления и присоединяется к средней точке дроссель-трансформатора рельсовой цепи.

Линейное напряжение между проводами линии в схемах, приведенных на рисунках 5.2, в и з, равно нулю, что позволяет не отключать подключенные к ней нагрузки. Однако при обрыве одного из проводов или его замыкании на землю на высоковольтную обмотку линейных трехфазных трансформаторов подается несимметричная система напряжений, что не допустимо. Поэтому в тех случаях, когда при подогреве проводов нагрузку линии не отключают, на ее питающих концах необходимо устанавливать дифференциальную защиту, действующую на отключение линии, если равенство токов в проводах нарушается.

Поскольку в этих схемах в качестве обратного провода используются рельсовая цепь и земля, то при их использовании следует произвести проверку индуктивного влияния на линии связи.

Значение тока подогрева каждого из проводов I_{Π} в схемах, приведенных на рисунках 5.2, в и з, равен $I_{\Pi} = I_{\text{сп}} / 3$.

Значение входного сопротивления $Z_{\text{сп}}$ схемы подогрева проводов при этом вычисляют по формулам, Ом:

- для воздушной линии, расположенной на отдельных опорах

$$Z_{\text{сп}} = z_{03} L + R_3; \quad (5.9)$$

- для воздушной линии, расположенной на опорах контактной сети однопутного участка

$$Z_{\text{сп}} = z_{13} L; \quad (5.10)$$

- для воздушной линии, расположенной на опорах контактной сети двухпутного участка

$$Z_{\text{сп}} = z_{23} L. \quad (5.11)$$

В этих формулах:

z_{03} — сопротивление 1 км контура, состоящего из соединенных параллельно трех проводов воздушной линии и земли, Ом/км;

z_{13} — сопротивление 1 км контура, состоящего из соединенных параллельно трех проводов воздушной линии и рельсовой цепи однопутного участка, Ом/км;

z_{23} — сопротивление 1 км контура, состоящего из соединенных параллельно трех проводов воздушной линии и рельсовой цепи двухпутного участка, Ом/км;

R_3 — сумма сопротивлений контуров заземлений на подстанции и у разъединителя QS3 (см. рисунки 5.2, в и з).

Активное r_{03} , индуктивное x_{03} и полное z_{03} сопротивления вычисляют по формулам, Ом/км

$$r_{03} = \frac{r_1}{3} + 0,150, \quad x_{03} = \frac{x_{\text{внт}}}{3} + 0,0628 \ln \frac{16600}{\sqrt[3]{d_{\text{пр}} D_{\text{ст}}^2}}, \quad z_{03} = \sqrt{r_{03}^2 + x_{03}^2}, \quad (5.12)$$

где r_1 — активное сопротивление прямой последовательности (сопротивление одной фазы), Ом/км;

$x_{\text{внт}}$ — внутреннее индуктивное сопротивление провода, Ом/км;

$d_{\text{пр}}$ — диаметр провода, мм;

$D_{\text{ст}}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами линии, м.

Для проводов из известного материала, в том числе для витых проводов со стальной сердцевинкой и наружным повивом из проволок цветного металла (например, проводов марки АС) принимают $x_{\text{внт}} = 0,016$ Ом/км. Для стальных проводов и тросов (марки ПСО, ПС, ПСМ) значение $x_{\text{внт}}$ принимают по таблице А.10.

Среднее геометрическое расстояние между проводами вычисляют по формуле, м

$$D_{\text{ср}} = \sqrt[3]{D_{12} D_{13} D_{23}}, \quad (5.13)$$

где D_{12} , D_{13} , D_{23} — расстояния соответственно между первым и вторым, первым и третьим, вторым и третьим проводами линии, м.

Активное r_{13} , индуктивное x_{13} и полное z_{13} сопротивления вычисляют по формулам, Ом/км

$$r_{13} = \frac{r_1}{3} + 0,146, \quad x_{13} = \frac{x_{\text{внг}}}{3} + 0,0628 \ln \frac{1200}{\sqrt[3]{d_{\text{пр}} D_{\text{ср}}^2}}, \quad z_{13} = \sqrt{r_{13}^2 + x_{13}^2}. \quad (5.14)$$

Активное r_{23} , индуктивное x_{23} и полное z_{23} сопротивления вычисляют по формулам, Ом/км

$$r_{23} = \frac{r_1}{3} + 0,127, \quad x_{23} = \frac{x_{\text{внг}}}{3} + 0,0628 \ln \frac{790}{\sqrt[3]{d_{\text{пр}} D_{\text{ср}}^2}}, \quad z_{23} = \sqrt{r_{23}^2 + x_{23}^2}. \quad (5.15)$$

Если смежные подстанции имеют достаточно мощные линии связи по линиям высокого напряжения (по питающим линиям), то подогрев проводов линии продольного электроснабжения можно осуществить по методу встречного включения источников питания. При этом ток подогрева обеспечивается за счет взаимного углового сдвига между векторами напряжений одноименных фаз. Наиболее просто реализуется схема встречного включения источников питания при угловом сдвиге 120° (рисунок (5.2, д)). Подогрев проводов осуществляется при отключенном разъединителе QS1 и включенном разъединителе QS2.

При подогреве нагрузки отключаются. Ток провода $I_{\text{п}}$ равен току схемы питания ($I_{\text{п}} = I_{\text{сп}}$). Ток схемы питания определяют по формуле, А

$$I_{\text{сп}} = \frac{\sqrt{U_{\text{ип1,0}}^2 + U_{\text{ип2,0}}^2 + U_{\text{ип1,0}} U_{\text{ип2,0}}}}{\sqrt{3}(Z_{\text{ип1}} + Z_{\text{ип2}} + Z_{\text{сп}})}, \quad (5.16)$$

где $U_{\text{ип1,0}}$, $U_{\text{ип2,0}}$ — линейные напряжения холостого хода источников питания смежных подстанций, В;

$Z_{\text{ип1}}$, $Z_{\text{ип2}}$ — сопротивления одной фазы источников питания смежных подстанций, Ом.

Сопротивления схемы подогрева проводов равно

$$Z_{\text{сп}} = z_1 L, \quad (5.17)$$

где z_1 — сопротивление прямой последовательности (сопротивление одной фазы) линии, Ом/км;

L — расстояние между смежными подстанциями.

Перетоки активной P , кВт, и реактивной Q , ВАр, мощности между источниками питания и обогреваемой линией вычисляют по формулам

— для левого источника питания

$$\begin{aligned} P_{\text{ип1}} &= \sqrt{3}(U_{\text{ип1,0}} - I_{\text{сп}} Z_{\text{ип1}}) I_{\text{сп}} \cos(\varphi - 30^\circ) \cdot 10^{-3}, \\ Q_{\text{ип1}} &= \sqrt{3}(U_{\text{ип1,0}} - I_{\text{сп}} Z_{\text{ип1}}) I_{\text{сп}} \sin(\varphi - 30^\circ) \cdot 10^{-3}, \end{aligned} \quad (5.18)$$

— для правого источника питания

$$\begin{aligned} P_{\text{ип2}} &= \sqrt{3}(U_{\text{ип2,0}} - I_{\text{сп}} Z_{\text{ип2}}) I_{\text{сп}} \cos(150^\circ - \varphi) \cdot 10^{-3}, \\ Q_{\text{ип2}} &= \sqrt{3}(U_{\text{ип2,0}} - I_{\text{сп}} Z_{\text{ип2}}) I_{\text{сп}} \sin(150^\circ - \varphi) \cdot 10^{-3}, \end{aligned} \quad (5.19)$$

В этих формулах фазовый угол φ между током подогрева и напряжением питания вычисляют по формуле, градусы

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x_1}{r_1}, \quad (5.20)$$

где r_1 , x_1 — активное при температуре 0°C и индуктивное сопротивления прямой последовательности линии, Ом/км.

Подстанция, имеющая резервы активной и реактивной мощности, должна подключаться к линии с опережающим углом φ (опережающим вектором напряжения).

Подогрев проводов ЛЭП может представляться выпрямленным током. На участках железных дорог, электрифицированных по системе постоянного тока, в качестве источников питания используют выделенные преобразовательные агрегаты. На участках железных дорог, электрифицированных по системам однофазного переменного тока, используют специальные выпрямительные установки.

Подогрев проводов осуществляют по схемам, приведенным на рисунках 5.2, в и г. Ток подогрева провода I_n равен $I_n = I_{\text{сп}}/3$. Значение тока подогрева схемы определяют по формуле, А

$$I_{\text{сп}} = \frac{U_{\text{ип},0}}{R_{\text{ип}} + R_{\text{сп}}}, \quad (5.21)$$

Сопротивление схемы подогрева равно

$$R_{\text{сп}} = \frac{r_1 L}{3} + R_3, \quad (5.22)$$

где r_1 — сопротивление одного провода при температуре 0°C , Ом/км;

R_3 — сумма сопротивлений контуров заземления в начале и конце подогреваемой линии, Ом;

L — длина зоны подогрева, км.

Подключение источников питания к цепям отсоса, рельсовой цепи и подогреваемой линии (рисунки 5.2, в и г) осуществляется так же, как для системы подогрева переменным током. Для схемы, приведенной на рисунке 5.2, в, отрицательный полюс источника питания $U_{\text{ип}}$ подключается к отсосу, положительный полюс — к общей точке разъединителя QS1. Так же подключается источник питания $U_{\text{ип}1}$ в схеме, приведенной на рисунке 5.2, г. Источник питания $U_{\text{ип}2}$ в этой схеме может подключаться к цепи отсоса и проводам подогреваемой линии с такой же полярностью, как источник питания $U_{\text{ип}1}$, или с противоположной полярностью (положительный полюс — к отсосу, отрицательный полюс — к подогреваемой линии). В последнем случае облегчается работа разъединителя QS2, так как через него (при разных полярностях источников $U_{\text{ип}1}$ и $U_{\text{ип}2}$) протекает не сумма, а разность токов подогрева левого и правого источников питания.

При разной полярности источников питания $U_{\text{ип}1}$ и $U_{\text{ип}2}$ в схеме, приведенной на рисунке 5.2, г, допускается подогрев проводов при разомкнутом разъединителе QS2 (или его отсутствии). При этом ток подогрева схемы определяют по формуле, А

$$I_{\text{сп}} = \frac{U_{\text{ип}1}}{R_{\text{ип}1} + R_{\text{ип}2} + R_{\text{сп}}}, \quad (5.23)$$

где $R_{\text{ип}1}$, $R_{\text{ип}2}$ — сопротивления первого и второго источников питания, Ом.

Напряжения каждого из источников питания не должно превышать допустимого для фазовой изоляции линии.

В схемах плавки гололеда выпрямленным током необходимо отключать на подстанциях трансформаторы напряжения или отсоединять от контура заземления их нулевые точки. Необходимо отсоединять также все линейные трансформаторы,

поскольку при обрыве одного из проводов подогреваемой линии, замыкании его на землю или замыкании двух проводов между собой, по высоковольтной обмотке трансформаторов проходит выпрямленный ток, вызывающий недопустимый их нагрев.

Линейные трансформаторы можно не отключать при использовании специальной дифференциальной защиты, воздействующей на отключение быстродействующего выключателя при нарушении равенства токов в проводах линии.