

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНИИПРОЕКТ
СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Часть I

**РД 34.20.511
(МУ 34-70-027-82)**

УДК 621.313.315.1

Срок действия установлен
с 01.01.83 г.
до 01.01.90 г.
продлен до 31.12.99 г.

РАЗРАБОТАНО Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ) и Львовским ордена Ленина политехническим институтом

СОСТАВИТЕЛИ В.В. Бургсдорф, Л.Г. Никитина (ВНИИЭ), Л.А. Никонец, П.Р. Хрущ (ЛПИ)

УТВЕРЖДЕНО Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем
Заместитель начальника К.М. Антипов
Главниипроект Главнй инженер В.К. Гусев

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Отложение гололеда, изморози и мокрого снега* представляет большую опасность для нормальной эксплуатации воздушных: линий электропередачи (ВЛ).

* В дальнейшем все виды гололедно-изморозевых образований именуются гололедом.

1.2. Отложения гололеда могут вызвать:

- а) разрегулировку проводов и тросов и их сближение между собой;
- б) сближение проводов и тросов при их подскоке вследствие одновременного сброса гололеда;
- в) пляску проводов;
- г) обрыв проводов и тросов;
- д) разрушение опор;
- е) перекрытие линейной изоляции ВЛ при таянии вследствие значительного снижения льдоразрядных характеристик изоляторов по сравнению с влагоразрядными характеристиками, по которым обычно выбирается необходимый уровень линейной изоляции.

1.3. Наиболее эффективным средством борьбы с гололедом является плавка гололеда. Она позволяет в короткий срок удалить гололед.

1.4. При проектировании ВЛ, трассы которых приходят в районах гололедности, а также в районах интенсивной и частой пляски проводов, плавку гололеда рекомендуется предусматривать на проводах линий напряжением до 220 кВ включительно. Плавка гололеда на тросах должна предусматриваться в тех случаях, когда возможно опасное приближение освободившихся от гололеда проводов к тросам, покрытым гололедом.

На линиях 330 и 500 кВ в указанных районах, а также на ВЛ 35-220 кВ в III районе гололедности вопрос об организации плавки гололеда должен решаться на основе технико-экономического анализа целесообразности ее применения с учетом аварийного недоотпуска энергии потребителям, а также значения линии в энергосистеме.

Плавка гололеда должна быть предусмотрена для ВЛ, построенных по нормам, которые не соответствуют требованиям действующих нормативных документов.

1.5. Источники питания схем плавки гололеда должны быть размещены на наиболее крупных узловых подстанциях энергосистемы из числа расположенных в сильно гололедных районах. Разработка проектов установок плавки гололеда (УПГ) и схем плавки должна производиться одновременно.

1.6. Плавку гололеда следует начинать при достижении нормативных гололедно-ветровых нагрузок на проводах. Чтобы обеспечить это требование на всех линиях, взаимосвязанных по

режиму плавки гололеда, следует учитывать реальные нагрузки и направление гололедонесущего потока по отношению к трассе ВЛ, поэтому на части линий плавку гололеда следует начинать заблаговременно. Очередность плавки определяется с учетом ответственности потребителей и наличия резервного питания.

1.7. Минимально необходимое количество УПГ в электрической сети должно быть достаточным для выполнения плавки гололеда на всех ВЛ за 12 ч для сети 110 кВ и выше и за 8 ч для сети 35 кВ.

1.8. Если отключение ВЛ 110-220 кВ приводит к перерыву электроснабжения, плавку гололеда рекомендуется проводить с по фазным выводом ВЛ из работы. При несоответствии качества напряжения на шинах нагрузки требованиям ГОСТ 13109-69 целесообразно предусматривать мероприятия по симметрированию неполно фазных режимов работы сети.

1.9. Для снижения затрат на организацию плавки гололеда на ВЛ с расщепленными проводами целесообразно сооружать их с изолирующими дистанционными распорками. Расстояние между распорками должно быть таким, чтобы предотвратить схлестывание между проводами фазы при одновременном сбросе гололеда.

1.10. Для своевременного предупреждения об опасных нагрузках от гололеда должны проводиться специальные наблюдения. С этой целью заранее должны быть определены контрольные точки на линии, подвергающиеся сильному обледенению (обычно в наиболее возвышенных местах трассы), по которым можно судить об опасности гололедообразования. Наблюдения могут проводиться непосредственно на линии электропередачи или на специально смонтированных гололедных постах.

При организации наблюдений за гололедообразованием на ответственных линиях, где может быть гололед с толщиной стенки 15 мм и более, рекомендуется устанавливать автоматические сигнализаторы, которые передают на подстанцию сигнал о появлении гололеда определенного веса в пролетах, подверженных сильному обледенению. Исправность и правильная работа сигнализаторов должны проверяться непосредственно перед гололедным сезоном.

1.11. Как правило, схема плавки гололеда должна вводиться в работу не позднее, чем за 1,0 ч после команды диспетчера о применении плавки.

С этой целью должна быть заранее проработана последовательность всех операций по сборке схемы плавки и выполнение мероприятий, обеспечивающих их быстрое завершение. Для сборки схемы плавки гололеда должны использоваться коммутационные аппараты (выключатели, разъединители, отделители) с дистанционным управлением и лишь в отдельных случаях - с применением ручных приводов. Временные соединения, собираемые на болтах, шлейфы, накладки, закоротки и т.п., не допускаются.

1.12. Сборка и разборка схем плавки гололеда производится по специальным программам, предусматривающим выдачу диспетчером комплексных оперативных заданий с учетом максимально возможной одновременности производства операций, включая необходимые изменения в релейной защите. Во всех случаях необходимо предусмотреть блокировки от ошибок при сборке схем плавки.

1.13. Релейная защита устройств плавки гололеда и электроустановок, питающих эти устройства, должна соответствовать требованиям действующих ПУЭ и Руководящих указаний по проектированию устройств плавки гололеда. Выполнение релейной защиты устройств плавки гололеда, как правило, не должно обуславливать изменений в схемах и функционировании защит смежных элементов и сети в целом.

2. РАСЧЕТНЫЙ ТОК И ВРЕМЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ И ТРОСАХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

2.1. При определении токов и времени плавки необходимо учитывать энергию на расплавление льда, на теплоотдачу в окружающую среду и на нагрев провода до температуры, при которой может начаться плавление льда (перед включением тока плавки температура провода может быть близка к температуре воздуха).

2.2. Плавку гололеда следует производить возможно большими токами, что позволяет быстрее завершить ее и восстановить нормальную схему работы сети. Одновременно это способствует уменьшению затрат электроэнергии на плавку, поскольку энергия, отдаваемая в окружающую среду, непосредственно зависит от длительности обогрева.

2.3. Режим плавки гололеда должен выбираться по наиболее обледенелому участку линии, поэтому плавка будет продолжаться и тогда когда в местах с меньшей толщиной стенки гололед освободит провода, и они начнут интенсивно нагреваться. При неравномерном обледенении линии могут встречаться участки, на которых гололед вообще не образовался. Поэтому предельный ток плавки гололеда должен выбираться с учетом нагрева провода (троса), на котором не было гололеда.

Допустимая температура нагрева провода определяется двумя условиями:

- сохранением механической прочности провода (табл. 2.1);
- приближением во время плавки провода к земле или пересекаемым объектам.

Таблица 2.1

Допустимая температура нагрева проводов при плавке гололеда по условию механической прочности проводов

Провода	Допустимая температура нагрева проводов, °С	
	Длительный режим	Повторно-кратковременный режим
Алюминиевые	90	120
Медные	90	120
Сталеалюминиевые	100	130
Из алюминиевого сплава АЖ, АН	80	100

На время плавки гололеда с учетом ее кратковременности допускаемые расстояния между проводами и землей или пересекаемым объектом приведены в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

Наименьшие расстояния между проводами ВЛ и землей или пересекаемым объектом, допустимые на время плавки

Объект, пересекаемый ВЛ	Расстояние до объекта, м, для ВЛ напряжением, кВ			
	35-110	220	330	500
Поверхность земли:				
ненаселенная местность	5	6	7	7
населенная местность	6	7	6,5	7
Провода линии связи	2	3	4	4
Железные дороги широкой колеи	6,5	7,5	8	8,5
Автомобильные дороги	6,0	7	7,5	8
Провода трамвайных и троллейбусных линий	2	3	4	4

Таблица 2.3

Наименьшие расстояния между проводами или между проводами и тросами пересекающихся ВЛ, допускаемые на время плавки

Длина пролета ВЛ, м	Расстояние между проводами, проводами и тросами (м) при расстоянии от места пересечения до ближайшей опоры ВЛ, м					
	30	50	70	100	120	150
При пересечении ВЛ 330-500 кВ между собой и с ВЛ более низкого напряжения						
До 200	4	4	4	4,5	-	-
300	4	4	4,5	5	5,5	6
450	4	4,5	5	6	6,5	7
При пересечении ВЛ 150-220 кВ между собой и с ВЛ более низкого напряжения						
До 200	3	3	3	3	-	-
300	3	3	3	3,5	4	4,5
450	3	3	4	5	5,5	6
При пересечении ВЛ 20-110 кВ между собой и с ВЛ более низкого напряжения						
До 200	2	2	2	3	-	-
300	2	2	3	3,5	4	-
При пересечении ВЛ 10 кВ между собой и с ВЛ более низкого напряжения						
До 100	1	1	-	-	-	-
150	1	1,5	1,5	-	-	-

По допустимым на время плавки расстояниям между проводом и землей или пересекаемым объектом определяется стрела провеса, соответствующее ей механическое напряжение в проводе и допустимая температура нагрева провода.

2.4. При определении наибольших допустимых токов плавки температуру воздуха и скорость ветра принимают по наблюдениям метеорологических станций или гололедных постов на участках со слабым гололедом или в местах, где он не образуется в момент проведения плавки гололеда.

Определение наибольших допустимых токов плавки может быть произведено по формуле:

$$I_{\text{мд}}^2 R_{t_{\text{доп}}} = \left\{ 7,24 \left[\frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{100} \right]^3 \varepsilon d + 0,16d^{0,75} (t_{\text{доп}} - t)^{0,3} \right\} (t_{\text{доп}} - t) \quad (2.1)$$

$$I_{\text{мд}}^2 R_{t_{\text{доп}}} = \left\{ 7,24 \left[\frac{273 + 0,5(t_{\text{доп}} + t)}{100} \right]^3 \varepsilon d + 1,1\sqrt{vd} \right\} (t_{\text{доп}} - t), \quad (2.2)$$

где $I_{\text{мд}}$ - наибольший допустимый ток плавки, А;

$R_{t_{\text{доп}}}$ - сопротивление 1 м провода или троса при допустимой температуре провода, Ом (см. табл. П1.1);

d - диаметр провода или троса, см;

ε - постоянная лучеиспускания (для медных и алюминиевых проводов имеет значение порядка 0,6, для стальных тросов - порядка 0,3);

$t_{\text{доп}}$ - допустимая температура нагрева провода, °С;

t - температура воздуха, °С;

v - скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погоды со скоростью ветра менее 1,0 м/с; вторая - со скоростью ветра более 1,0 м/с, В табл. П1.2 приведены наибольшие токи плавки для характерных погодных условий.

2.5. Время плавки гололеда зависит от значения тока, размеров и плотности гололедно-изморозевых образований, их формы, скорости ветра и температуры воздуха.

Расчет требуемого тока и времени плавки в длительном режиме может быть произведен по формуле:

$$I_{\text{п}}^2 R \tau = \frac{\Delta t}{R_{\text{то}} + R_{\text{т1}}} \tau + 10 \gamma_{\text{аб}} b + \frac{0,045 \gamma_{\text{г}} D^2}{R_{\text{то}} + R_{\text{т1}}} (R_{\text{т1}} + 0,22 \frac{R_{\text{то}}}{\lg \frac{D}{b}}) \Delta t + \sum C \gamma_{\text{п}} S \Delta t, \quad (2.3)$$

где $I_{\text{п}}$ - ток плавки, А;

R - сопротивление 1 м провода или троса при 0 °С, Ом;

τ - время плавки, ч;

Δt - разность между температурой провода и воздуха, °С;

$\gamma_{\text{г}}$ - объемный вес гололеда, г/см³;

b - толщина стенки гололеда, см;

d - диаметр провода, см;

D - внешний диаметр провода с гололедом, см;

$R_{\text{то}}$ - тепловое сопротивление 1 м гололедного цилиндра при переходе от внутренней к наружной поверхности, $\frac{\text{м}^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$;

$$R_{\text{то}} = \frac{\lg \frac{D}{b}}{273 \lambda}, \quad (2.4)$$

$R_{\text{т1}}$ - тепловое сопротивление при переходе с 1м длины наружной поверхности обледенелого провода в воздухе, $\frac{\text{м}^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$;

$$R_{\text{то}} = \frac{1}{0,09D + 1,1\sqrt{UD}} \text{ для гололеда}, \quad (2.5)$$

$$R_{\text{то}} = \frac{1}{0,04D + 1,1\sqrt{UD}} \text{ для изморози}, \quad (2.6)$$

λ - коэффициент теплопроводности, для льда принимается равным $2,27 \cdot 10^{-2}$, а для изморози по дочитывается по формуле:

$$\lambda = (2,1 + 42 \gamma_{\text{г}} + 216 \gamma_{\text{г}}^2) 10^{-4}, \text{ Вт/см}^\circ\text{С}, \quad (2.7)$$

C - теплоемкость материала провода Вт · с/(г · °С) для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38;

$\gamma_{\text{п}}$ - объемный вес материала провода, г/см³;

S - сечение провода, см².

В приложении 2 приведены графики зависимости тока и времени плавки гололеда, пользуясь которыми можно определить требуемые значения токов при различной длительности плавки для характеристик практических случаев.

2.6. Плавка гололеда токами, превосходящими длительно допустимые по условию нагрева проводов, может проводиться в повторно-кратковременном режиме. Методика расчета режима плавки в повторно-кратковременном режиме КЗ приведена в приложении 3.

2.7. Учитывая возможное изменение погодных условий и погрешности в определении размеров, плотности гололеда и сопротивления проводов для обеспечения надежной плавки ее продолжительность следует увеличивать на 25-30% по сравнению с расчетной.

2.8. Значение тока и времени плавки одностороннего гололеда с толщиной стенки 10 мм характерной для возникновения плавки примерно соответствует времени плавки цилиндрического гололеда с толщиной стенки 5 мм. В приложении 4 приведены значения требуемых токов и время плавки, полученные экспериментальным путем.

2.9. При профилактическом нагреве проводов повышают токовую нагрузку линии до значения, при котором отложение гололеда на проводах не происходит. Для этого необходимо, чтобы температура провода при гололедообразовании была выше 0°C . При температуре воздуха около нуля и ветрах со скоростью 1-2 м/с, характерных для целого ряда случаев обледенения, профилактический нагрев может применяться успешно. При скоростях ветра более 3-4 м/с и температурах ниже -5°C профилактический нагрев требует больших токов. Профилактический нагрев проводов применяется в случае, когда гололед захватывает ограниченную часть сети, где могут быть повышены токи до требуемого значения.

2.10. Ток профилактического нагрева может быть рассчитан по формулам, приведенным в п. 2.4, с учетом температуры провода, равной $+1^{\circ}\text{C}$.

В приложении 5 приведены кривые токов для профилактического нагрева проводов при различных температурах воздуха и скоростях ветра.

3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Выбор источника питания схем плавки гололеда определяется протяженностью прогреваемых ВЛ, сечением их проводов, главной схемой соединения и мощностью оборудования электрических станций и подстанций, от которых проводится плавка.

Подстанции с регулированием напряжения посредством изменения коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов

3.1. В качестве источника питания на подстанциях используются специально выделенный трансформатор или системы шин (СШ) 6-35 кВ, питающиеся от трансформатора Т, подключенного к СШ через выключатель 1В (рис. 1).

В схемах подстанций должна предусматриваться перемычка (П), подключаемая с одной стороны к линии или к обходной системе шин (ОСШ) через разъединитель РПГ соответствующего класса напряжения, а с другой стороны - через выключатель 2В к источнику питания.

3.2. Для сокращения времени сборки схем плавки гололеда и повышения надежности электроснабжения потребителей целесообразно автоматизировать процесс сборки схем плавки и ввода ВЛ в работу после окончания плавки.

Возможные варианты схемы подключения установки для плавки гололеда (УПГ) расположенной на подстанции с ОСШ приведены на рис. 2 и 3, которые обеспечивают автоматизацию плавки гололеда на ВЛ, соединяющей эту подстанцию с подстанцией без ОСШ. В этом случае подвод напряжения от УПГ к обогреваемой ВЛ необходимо производить через обходной выключатель ОВ (см. рис. 2). На противоположном конце ВЛ целесообразно предусмотреть короткозамкатель и отделитель, соединенные по схеме рис. 3.

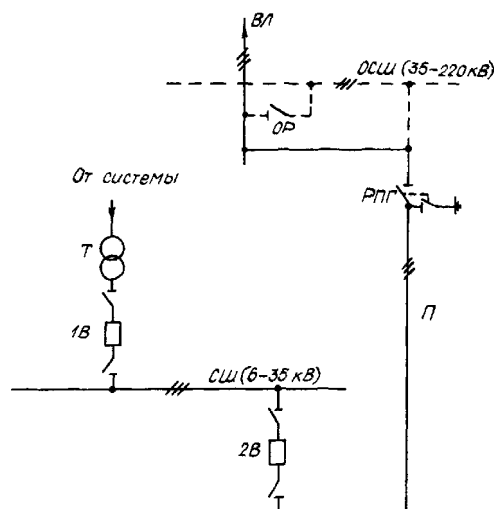


Рис. 1. Схема источника питания для плавки гололеда переменным током с переключкой между ячейкой плавки гололеда (2В) и обогреваемой ВЛ. Пунктиром показано подключение ячейки плавки при наличии ОСШ.

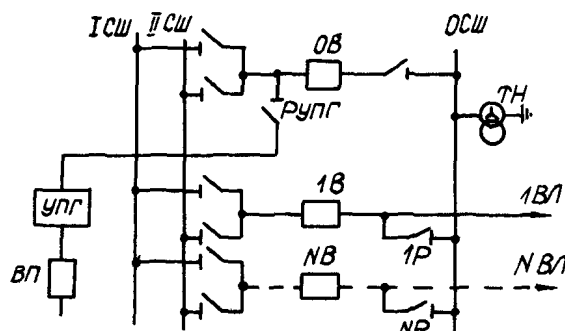


Рис. 2. Принципиальная схема подключения УПГ к прогреваемой ВЛ через обходной выключатель

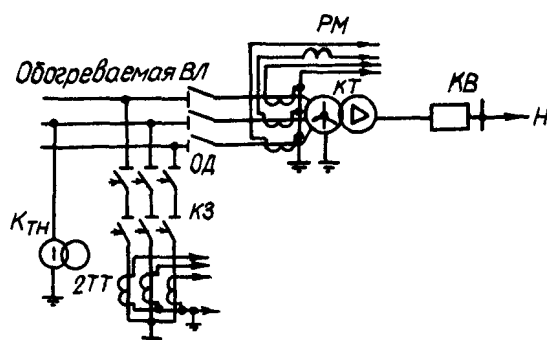


Рис. 3. Принципиальная схема закорачивающего пункта на ВЛ с автоматическим управлением режима плавки

Схемы автоматизации приведены в приложении 6 (рис. П6.1 и П6.2). При наличии в конце линии подстанции с входным выключателем схемы управления и автоматизации плавки гололеда могут быть выполнены без установки дополнительных коммутационных аппаратов.

Подстанции с регулированием напряжения посредством линейных регулировочных трансформаторов

3.3. Наличие на подстанции линейного регулировочного трансформатора (ЛРТ) позволяет использовать его в качестве источника плавки гололеда. Если уровень напряжения на шинах НН подстанции без ЛРТ допустим для местной нагрузки, рекомендуется всю нагрузку сети низкого напряжения подключить непосредственно к обмотке низкого напряжения автотрансформатора. Принципиальная схема приведена на рис. 4.

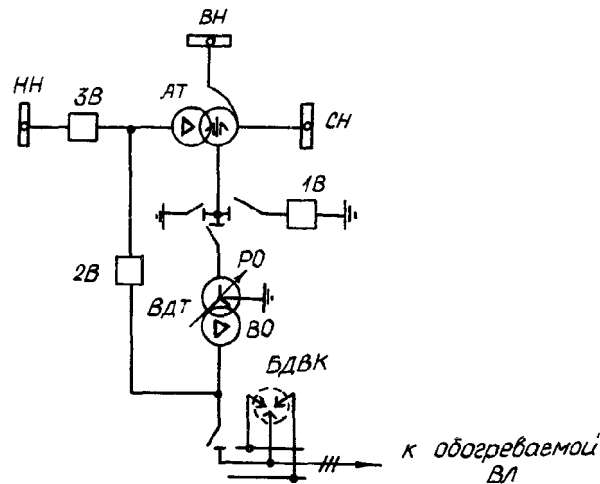


Рис. 5. Схема подстанции с вольтодобавочным трансформатором (ВДТ) со стороны нейтрали общей части обмотки автотрансформатора (АТ) используемый для плавки гололеда переменным током:

1В - шунтирующий выключатель; БДВК - быстродействующий дуговой высоковольтный короткозамыкатель; РО - регулировочная обмотка ВДТ; ВО - возбуждающая обмотка ВДТ.

Подстанции с шунтирующими реакторами

3.6. Для обогрева проводов и тросов могут использоваться шунтирующие реакторы.

4. СХЕМЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ЗОНЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ НА ПРОВОДАХ

Плавка гололеда коротким замыканием

4.1. При плавке гололеда коротким замыканием обогреваемую линию следует закорачивать с одного конца, а с другого к ней необходимо подвести напряжение, достаточное, чтобы обеспечить протекание по проводам требуемого для плавки тока (рис. 6).

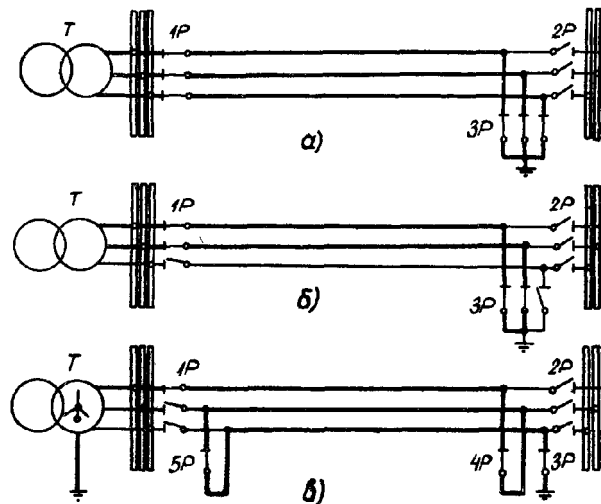


Рис. 6. Схема плавки гололеда способом короткого замыкания:

а - трехфазное короткое замыкание; б - двухфазное короткое замыкание; в - схема "змейка".

Плавка гололеда может проводиться путем:

- трехфазного короткого замыкания;
 - двухфазного короткого замыкания;
 - однофазного короткого замыкания при последовательном соединении проводов всех фаз.
- Ток плавки для вышеперечисленных схем соответственно определяется по формулам:

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(Z + Z_{\text{с}})} \quad (4.1)$$

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{л}}}{2Z + Z_{\text{с}}} \quad (4.2)$$

$$I_{\text{п}} = \frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}(Z_0 + Z_{\text{с}} + R_{\text{ззз}})} \quad (4.3)$$

где $U_{\text{л}}$ - линейное напряжение, кВ;

Z - сопротивление фазы обогреваемой линии, Ом/км;

Z_0 - сопротивление обогреваемой линии, провода которой собраны в "змейку", Ом/км;

$Z_{\text{с}}$ - сопротивление системы, приведенное к шинам НН питающего трансформатора, Ом;

l - длина линии, км;

$R_{\text{ззз}}$ - сопротивление заземления, Ом.

$$Z_0 = 3r_{\text{п}} + r_{\text{з}} + j0,145 \lg \frac{D_3 D^2}{\rho^3}, \quad (4.4)$$

$r_{\text{п}}$ - сопротивление провода, Ом/км;

$r_{\text{з}}$ - сопротивление земли, принимается равным 0,05 Ом/км;

D - среднее геометрическое расстояние между осями проводов ВЛ, м;

ρ - расчетный диаметр провода, м;

D_3 - глубина залегания обратного провода в земле ≈ 1000 м.

Метод трехфазного короткого замыкания является простым и удобным, поскольку плавка гололеда производится сразу на всех фазах.

4.2. При применении способа двухфазного короткого замыкания плавку гололеда на линии следует производить сначала на двух фазах, а затем на третьей в сочетании с одним из освободившихся от гололеда проводов. Схему "змейка" следует применять на коротких линиях, когда имеющиеся напряжения слишком велики для плавки по методу трехфазного короткого замыкания.

Если плавка производится от шин системы, то напряжение, а, следовательно, и длина обогреваемой линии могут изменяться в ограниченных пределах.

4.3. При плавке гололеда на ВЛ 35-110 кВ по методу трехфазного и двухфазного КЗ допускается закорачивание проводов заземляющими ножами, если их спуск к контуру заземления проверен на термическую устойчивость. Если допускает схема подстанции, целесообразно параллельное включение нескольких заземляющих ножей (например, заземляющих ножей линейного и обходного разъединителей).

4.4. Большие возможности регулирования режима плавки достигаются при выделении для плавки одного или нескольких генераторов.

При выделении для плавки отдельного трансформатора возможно произвести регулирование напряжения во всем диапазоне имеющихся ответвлений, т.е. в пределах $\pm 2,5\%$ для обычных трансформаторов (автотрансформаторов) и $\pm 16\%$ для трансформаторов, снабженных устройствами для регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой.

Области применения переменного тока для плавки гололеда по способу трехфазного короткого замыкания от трансформаторов различной мощности со стандартными напряжениями приведены на рис. 7. Максимальные длины обогреваемых участков определены при минимальном (часовом) токе плавки, минимальные - при максимально допустимом токе для проводов различных сечений. Расчетные условия приняты по IV климатическому району при температуре окружающего воздуха -5°C и скорости ветра 5 м/с.

4.5. Для регулирования тока плавки можно включить последовательно с обогреваемой линией дополнительные участки линии (не требующие обогрева) или реакторы.

4.6. Для ВЛ с изолированными расцепленными проводами в фазе для снижения требуемой для плавки мощности целесообразны схемы плавки гололеда, в которых контур протекания тока плавки создается из проводов расцепленной фазы с помощью коммутационных аппаратов (рис. 8). Значения реактивных сопротивлений при плавке гололеда по схемам рис. 8 для ВЛ с изолированными расцепленными проводами в фазе при расстоянии между проводами $\delta 40$ см приведены в табл. 4.1. Допустимые длины участков плавки и требуемые значения реактивной мощности при плавке гололеда по схемам рис. 8 (время плавки 1 ч, температура воздуха -5°C , диаметр гололедной муфты - 5 см) приведены в табл. 4.2. При необходимости плавки гололеда на участках меньшей длины рабочее напряжение плавки должно быть снижено.

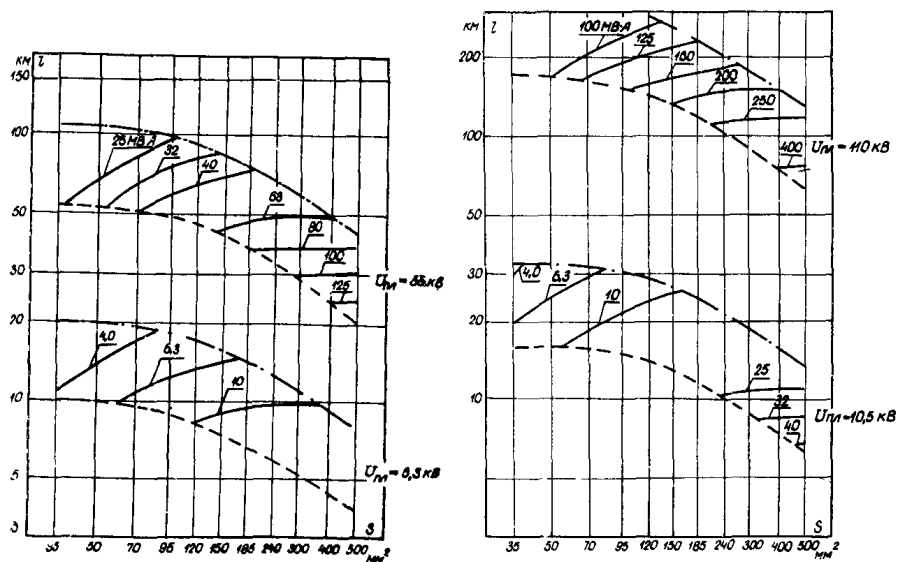
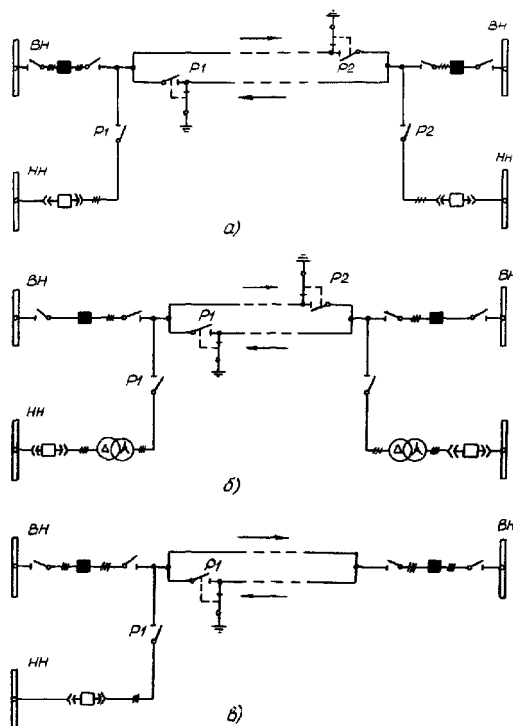


Рис. 7. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ со сталеалюминиевыми проводами сечений 35-500 мм² - при плавке гололеда переменным током:
 - - - - - огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от источника неограниченной мощности;
 - - огибающая максимальных длин ВЛ;
 — — — — огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от источника мощностью 4-153 мВ · А;
 а - при питании от источника мощностью 4-125 МВ · А; б - при питании от источника мощностью 4-400 МВ · А



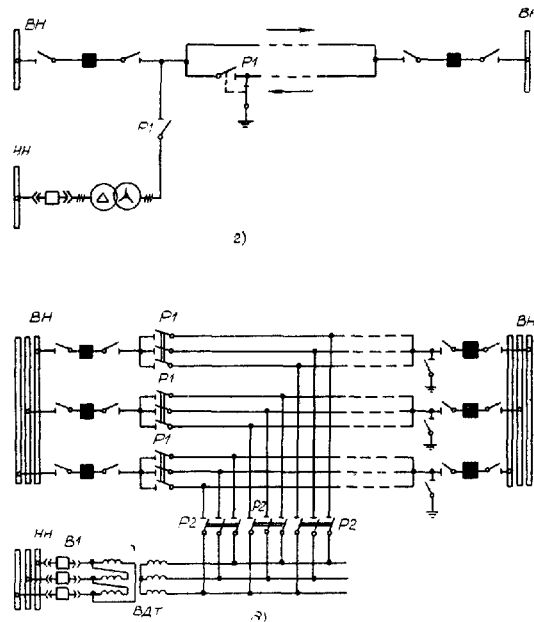


Рис. 8. Схемы плавки гололеда для ВЛ с расщепленными проводами:
а, б, в, г - расщепление на два провода; д - расщепление на три провода.

4.7. В случае использования источника с регулированием тока (на подстанции с блоками АТ-ВДТ по схеме рис. 5) плавка гололеда проводится трехфазным коротким замыканием (см. рис. 6).

4.8. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ со сталеалюминиевыми проводами сечений $35 \div 500 \text{ мм}^2$ при плавке от блока АТ-ВДТ существующих типов ВДТ приведены на рис. 9.

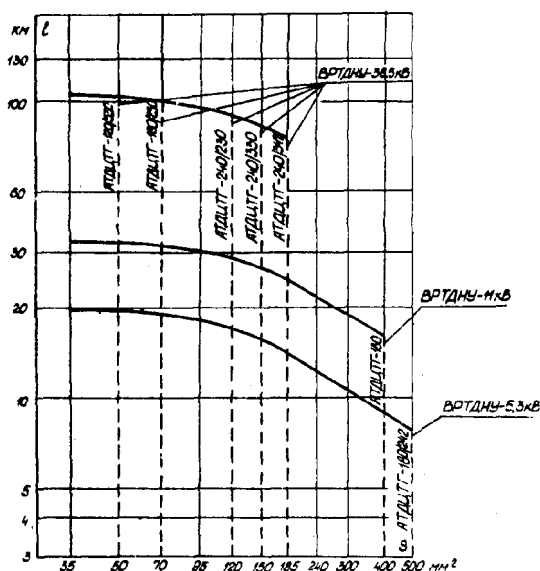


Рис. 9. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ с проводами сечений $35 \div 500 \text{ мм}^2$ при плавке гололеда переменным током от блока АТ-ВДТ:
— — ограничения по допустимому напряжению ВДТ;
- - - - ограничения по допустимому току ВДТ.

Плавка гололеда уравнительными токами

4.9. Способ плавки уравнительными токами за счет встречного включения фаз заключается в том, что на одном конце провода обогреваемые линии присоединение к фазам А, В и С на другом - соответственно к фазам В, С и А (рис. 10).

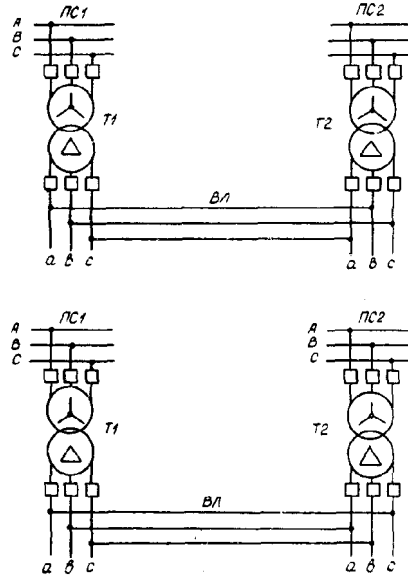


Рис. 10. Схема плавки гололеда по способу встречного включения

Таким образом, на обогреваемую линию подается не фазное напряжение источника тока плавки гололеда, как при способе короткого замыкания, а линейное. Это позволяет увеличить длину линий, на которых производится плавка гололеда, на 73% или увеличить ток плавки. Ток плавки подсчитывается по формуле:

$$I_{\text{п}} = \frac{\dot{U}_{\text{л}}}{Z_{\text{к}}}, \quad (4.5)$$

где $\dot{U}_{\text{л}}$ - линейное напряжение источника плавки;

$Z_{\text{к}}$ - полное сопротивление цепи плавки.

4.10. При встречном включении фаз полная мощность и токи, в начале и конце обогреваемой линии одинаковы, если равны напряжения источников (рис. 11).

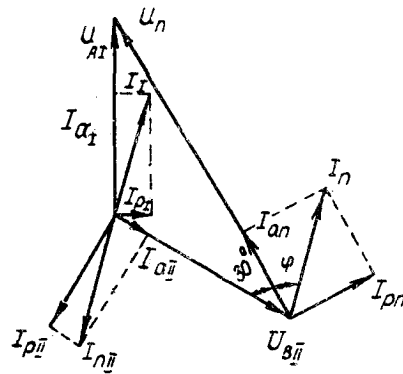


Рис. 11. Векторная диаграмма при обогреве линии по способу встречного включения.

4.11. Перетоки активной и реактивной мощностей между подстанцией I и обогреваемой линии могут быть определены по формулам:

$$P_{\text{I}} = \sqrt{3} UI \cos(\varphi - 30^\circ); \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{I}} = \sqrt{3} UI \sin(\varphi - 30^\circ). \quad (4.7)$$

Соответственно для подстанций II и обогреваемой линии перетоки активной и реактивной мощностей определяются выражениями:

$$P_{\text{II}} = \sqrt{3} UI \cos(150^\circ - \varphi); \quad (4.8)$$

$$Q_{\text{II}} = \sqrt{3} UI \sin(150^\circ - \varphi). \quad (4.9)$$

Подстанция, имеющая резервы активной и реактивной мощности, должна подключаться к

линии с опережающим углом φ .

4.12. Плавка гололеда уравнительными токами может применяться для линии, расположенных между соседними подстанциями, имеющими связи по линиям высокого напряжения (наиболее распространенный случай), при параллельных линиях, а также в кольце. При этом по условию качества напряжения в работе могут оставаться потребители, подключенные к питающим шинам или удаленные от них на расстояние до 100% длины обогреваемой линии.

4.13. С целью сохранения питания потребителей, подключенных к обогреваемой линии по всей ее длине, может быть применена схема встречного включения фаз, векторы напряжения которых сдвинуты на 60 эл. град. Для этого в кольцевой сети (рис. 12) устанавливается секционирующий выключатель (B5), нормально отключенный.

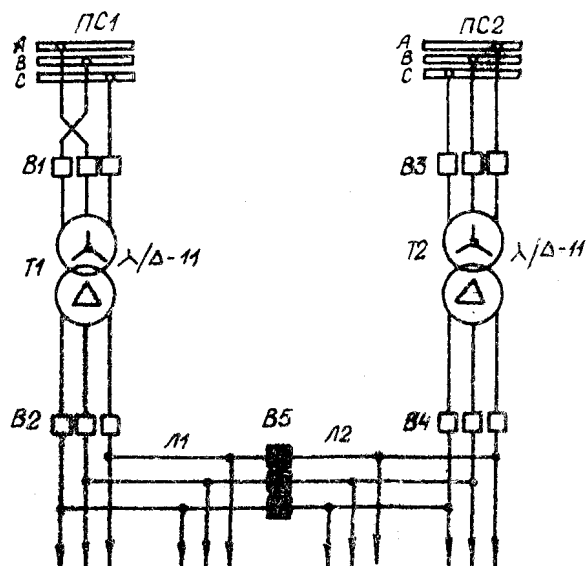


Рис. 12. Схема плавки гололеда по способу встречного включения без отключения нагрузки: Л1, Л2 - обогреваемые ВЛ.

Таблица 4.1.

Расчетные параметры ВЛ 330-500 кВ с изолирующими дистанционными распорками

Количество и тип проводов в фазе	Реактивное сопротивление одного провода фазы ВЛ (рис. 8), Ом/км	Полное сопротивление одного провода фазы ВЛ, Ом/км	Реактивное сопротивление прямой последовательности (всех проводов одной фазы), Ом/км	Кратность уменьшения потребляемой реактивной мощности при плавке на трех фазах	Кратность уменьшения потребляемой реактивной мощности при плавке на одной фазе
2×АС300/39	0,237	0,26	0,328	2,5	-
2×АС400/22	0,226	0,24	0,325	2,7	-
2×АС500/27	0,22	0,22	0,312	2,7	-
3×АС400/22	0,228	0,241	0,28	3,5	10,5
3×АС500/27	0,221	0,23	0,278	3,65	10,9

Таблица 4.2

Зона и мощность плавки гололеда на ВЛ 330-500 кВ с изолирующими дистанционными распорками

Количество и тип проводов в	Вариант схемы плавки (номер рисунка)	Допустимая длина участка при	Требуемая мощность	Требуемая мощность по	Требуемое напряжение
-----------------------------	--------------------------------------	------------------------------	--------------------	-----------------------	----------------------

фазе		напряжении на распорке 40 кВ, км	плавки, МВ · А	способу трехфазного КЗ, МВ · А	по способу трехфазного КЗ, кВ
2×АС300/39	Рис. 8, а, б, в, г	212	173	485	173
2×АС400/22	Рис. 8, а, б, в, г	194	206	555	189
2×АС500/27	Рис. 8, а, б, в, г	185	242	655	194
3×АС400/22	Рис. 8, д	111	103	360	139
3×АС500/27	(плавка на трех фазах)	102	116	423	144
3×АС400/22	Рис. 8, д	111	34	396	139
3×АС500/27	(плавка на одной фазе)	103	39	423	144

Линии сети подключаются к независимым источникам с указанным сдвигом фаз векторов напряжения. При плавке гололеда выключатель В5 включается. При этом на рабочий ток накладывается дополнительный ток, обусловленный разностью напряжений двух независимых источников питания, значение которого определяется из выражения:

$$I_{ур} = \frac{U_{\phi}}{Z_{к}}. \quad (4.10)$$

В качестве независимых источников питания могут использоваться либо шины разных подстанций, либо разные секции или системы шин одной подстанции.

Схема релейной защиты кольцевой сети для случая питания от разных секций одной подстанции приведена на рис. П7.1, а для случая питания от разных подстанций - на рис. П7.2, П7.3. На линии с отпайками при плавке на магистральной ее части при повреждениях на отпайках значения токов КЗ могут быть недостаточны для работы релейной защиты. В этом случае необходимо установить на отпайке дополнительный выключатель. Дополнительный коммутационный аппарат на отпайке от магистрали необходим, если результирующее электрическое сопротивление отпайки совместно с электрическим сопротивлением участка кольцевой сети от места подключения отпайки до ближайшей питающей подстанции превышает сопротивление контура плавки.

Плавка гололеда перераспределением нагрузок

4.14. Токовая нагрузка обогреваемой линии повышается путем перераспределения нагрузки в сети до требуемого (для осуществления плавки) значения. Перераспределение нагрузки достигается путем:

- а) повышения нагрузки станций, передающих энергию через обогреваемую линию;
- б) повышения нагрузки подстанции, питаемых по обогреваемой линии путем переключений в сети более низкого напряжения;
- в) отключения части линий, в результате которого повышается передаваемая мощность по обогреваемой линии. Практически с этой целью отключают параллельную с обогреваемой линией или прибегают к разрезанию колец.

4.15. С целью сохранения надежности работы системы при плавке гололеда отключаемые линии должны быть оборудованы устройствами для немедленного автоматического включения их при исчезновении напряжения на шинах нагрузки. Обогреваемую линию следует стремиться загружать активной мощностью, поскольку при этом в меньшей степени нарушается режим напряжений в сети.

4.16. Для коротких двух цепных ВЛ либо кольцевых сетей целесообразна плавка гололеда уравнильным током, полученным в результате изменения коэффициента трансформации питающих трансформаторов. Причем, если на одной из шин напряжение увеличивается на величину $\Delta \dot{U}_1$ то на другой системе шин (например, на обходной) его следует уменьшить на $\Delta \dot{U}_2$.

Величину $\dot{I}_{ур}$ можно определить из выражения:

$$I_{ур} = \frac{\Delta \dot{U}_1 + \Delta \dot{U}_2}{Z_{к}}. \quad (4.11)$$

Результирующий ток в проводах определяется как векторная сумма уравнильного и рабочего тока нагрузки.

Плавка гололеда наложением токов

4.17. При этом способе на рабочий ток накладывается дополнительный ток, создаваемый в контуре, частью которого является обогреваемая линия. Для этого в контур включается источник ЭДС, значение и фаза которой подбирается таким образом, чтобы увеличить ток до требуемого значения.

4.18. Для наложения токов могут быть использованы кольцевые участки и параллельные линии (рис. 13).

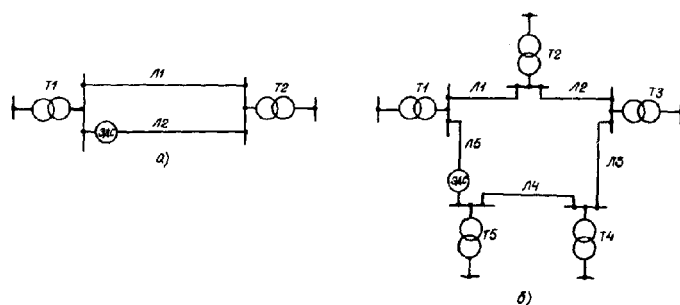


Рис. 13. Схемы плавки гололеда по способу включения ЭДС в контур:
а - при параллельных линиях; б - при кольцевой сети.

4.19. При параллельных линиях и в кольцевых сетях для наложения тока следует использовать вольтодобавочные трансформаторы с соответствующим уровнем изоляции, включая их в рассечку кольцевой сети (рис. 14). Вольтодобавочные трансформаторы позволяют регулировать значения продольной и поперечной ЭДС и тем самым обеспечить оптимальный режим плавки.

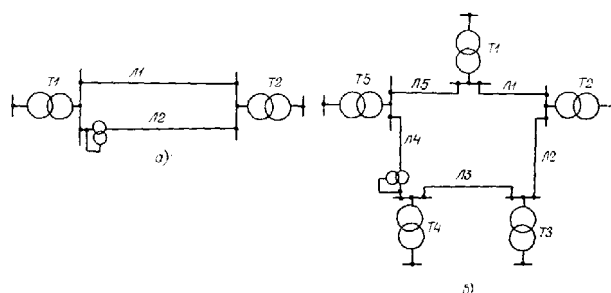


Рис. 14. Включение вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) в рассечку кольцевой сети:
а - при параллельных линиях; б - при кольцевой сети.

4.20. Пофазная плавка токами наложения может применяться в сетях, работающих с незаземленной нейтралью (рис. 15). При использовании схем с пофазной плавкой гололеда необходимо проверить электромагнитное влияние на каналы связи.

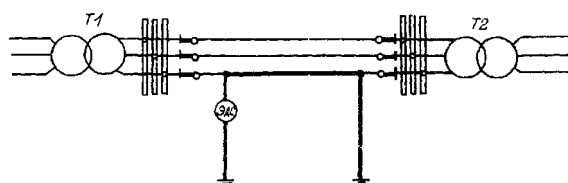


Рис. 15. Схема пофазной плавки токами наложения.

4.21. Ток наложения подсчитывается по формуле:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_д}{Z_k}, \quad (4.12)$$

где $\dot{U}_д$ - дополнительное напряжение, созданное в контуре, кВ;

Z_k - полное сопротивление контура, Ом.

Ток наложения складывается с рабочим током линии геометрически.

4.22. Для повышения эффективности плавки гололеда способ наложения токов можно сочетать с перераспределением нагрузок.

4.23. Схемы наложения токов при наличии вольтодобавочного трансформатора и трансформаторов с РПН позволяют быстро собрать схему для обогрева линии и восстановить нормальную работу сети после проведения плавки.

5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СХЕМ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Подстанции с регулированием напряжения посредством изменения коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов

5.1. В тех случаях, когда плавка гололеда переменным током неосуществима при данной мощности трансформаторов подстанции и заданных номинальных напряжениях, следует предусматривать плавку гололеда постоянным током. Для этих целей могут использоваться преобразователи ВУКН-1200-14000; ВУКН-1600-14000; ВУКН-1200-8000.

Преобразователи выполняются на неуправляемых вентилях по трехфазной мостовой схеме.

В зависимости от параметров обогреваемых ВЛ может быть применено параллельное включение нескольких преобразователей (до трех) и последовательное (до двух), а также их последовательно-параллельное соединение.

5.2. Подключение преобразователей к шинам 6-10 кВ обуславливает некоторые особенности в работе электрической сети, работающей параллельно с преобразователем.

Нормальные и аварийные режимы работы сети характеризуются такими факторами, как наложение постоянной составляющей напряжения на изоляцию сети, появление постоянных составляющих в токах аварийных режимов и др. Это может привести к отказу выключателя, а также к ложной работе релейной защиты. Необходимы устройства защиты, ограничивающие воздействия, вызванные наличием преобразователя.

Пониженный уровень изоляции преобразователей для плавки гололеда по сравнению с уровнями изоляции оборудования электрической сети, от которой он питается, требует специальной защиты установки плавки гололеда от перенапряжений.

Для ограничения токов короткого замыкания преобразователей УПГ следует применять токоограничивающие реакторы, уменьшающие мощность короткого замыкания источника питания.

5.3. Трансформаторы напряжения НТМИ и НКФ, подключенные к шинам питания преобразователя и к линии, на которой предусматривается плавка гололеда, должны быть подключены по специальным схемам.

5.4. Совместная работа УПГ с синхронными компенсаторами и конденсаторными батареями ограничена воздействием высших гармонических, генерируемых преобразователями УПГ.

5.5. Допускается использование контура заземления подстанции в качестве рабочего заземлителя при плавке гололеда током до 1200 А. Должна быть предусмотрена защита контура от термического поражения.

5.6. Наличие на контуре заземления подстанции постоянного тока при его использовании в качестве рабочего заземлителя приводит к протеканию части постоянного тока плавки через глухозаземленные нейтрали трансформаторов, установленных на этой подстанции. Это приводит к некоторому увеличению тока холостого хода и потерь в стали трансформаторов (автотрансформаторов). Для устранения указанного явления в нейтрали трансформаторов (автотрансформаторов) следует включить специальные устройства.

5.7. С целью обеспечения высокочастотной связи по обогреваемой ВЛ целесообразно выполнить подвод постоянного тока к проводам ВЛ таким образом, чтобы он протекал через ВЧ заградители или установить в цепи преобразователя на стороне постоянного тока дополнительный заградитель.

Подстанции с блоками автотрансформатор – вольтодобавочный трансформатор

5.8. На подстанциях с блоками автотрансформатор - вольтодобавочный трансформатор (АТ-ВДТ) и при использовании выпрямителя можно обеспечить регулирование тока плавки и тем самым обеспечить обогрев ВЛ в широком диапазоне длин и сечений проводов. Для этого собирается схема АТ-ВДТ, описанная в п. 3.3 и отличающаяся от нее тем, что к возбуждающей обмотке ВДТ присоединен выпрямитель. Подключение выпрямителя вызывает ряд особенностей в работе основного оборудования подстанции и требует принятия специальных мер. Допускается совместное включение преобразователей, питаемых от ВДТ, с преобразователями, питаемыми от шин низкого напряжения подстанций.

Подстанции с шунтирующими конденсаторными батареями

5.9. На подстанции с шунтирующей конденсаторной батареей 35-110 кВ может быть выполнена установка для плавки гололеда с регулируемым током. Ее элементы могут использоваться также для регулирования реактивной мощности.

5.10. Рекомендации по выбору схем присоединения УПГ, выбору параметров отдельных элементов УПГ, схем релейной защиты, автоматики и управления источников питания схем плавки гололеда постоянным током приведены в части 2 настоящих Методических указаний,

которые издаются отдельно.

6. СХЕМЫ, РАСЧЕТ РЕЖИМОВ И ЗОНЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Плавка от преобразователя, подключенного к шинам 6-10 кВ или к трансформатору

6.1. При плавке гололеда постоянным током возможен дискретный выбор тока изменением схем соединения проводов отдельных фаз линии. Выбор рациональной схемы плавки зависит от параметров ВЛ, электрической сети и источников питания. Некоторые из рекомендуемых схем плавки от УПГ с одним преобразователем приведены на рис. 16-20. Примерный диапазон обогреваемых участков показан на рис. 21.

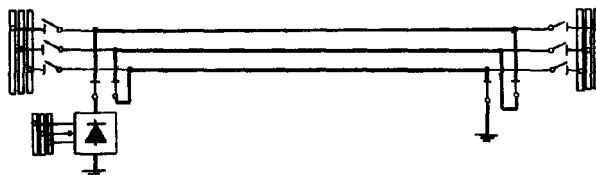


Рис. 16. Схема "змейка".

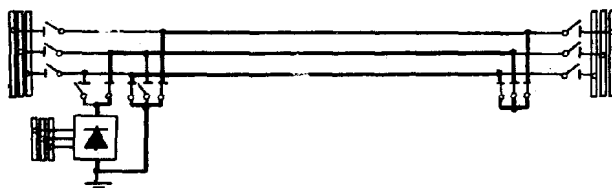


Рис. 17. Схема "провод-два провода".

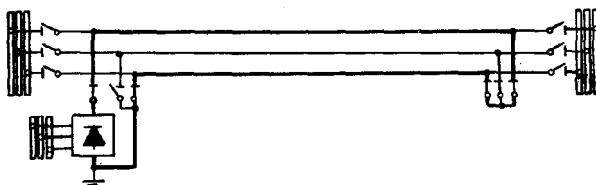


Рис. 18. Схема "провод-провод".

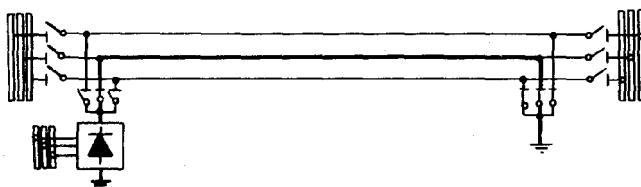


Рис. 19. Схема "провод-земля".

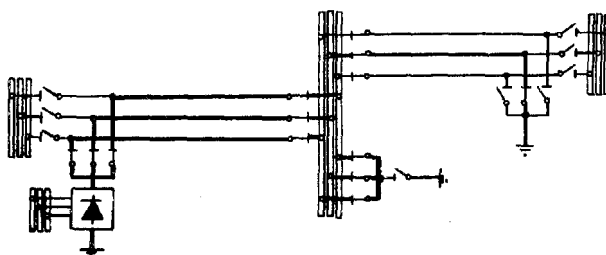


Рис. 20. Схема "три провода - провод - земля".

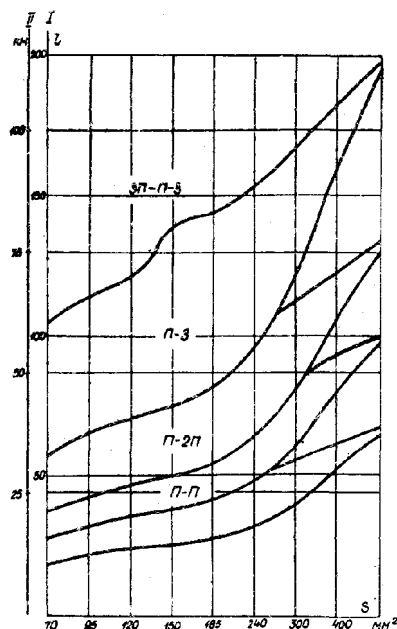


Рис. 21. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УПГ (источник напряжения):
I - ВУКН-1200-14000; II - ВУКН-1200-8000.

6.2. Если применение одного преобразователя не позволяет получить необходимый ток плавки, следует увеличить количество преобразователей, включенных последовательно в обогреваемый контур.

6.3. При необходимости можно сочетать плавку гололеда на одной фазе с передачей мощности по оставшимся двум фазам в неполнофазном режиме. С целью улучшения качества напряжения на шинах нагрузки и увеличения пропускной способности ВЛ в неполнофазном режиме следует применять специальные устройства.

6.4. Расчет тока плавки от преобразователя, подключенного к шинам 6-10 кВ, должен проводиться по формуле:

$$I_{\text{п}} = \frac{1,35 E_{\text{л}}}{\frac{3}{\pi} X_{\text{к}} + R_{\text{к.п}}}, \quad (6.1)$$

где $E_{\text{л}}$ - линейное напряжение на шинах питания, кВ;

$X_{\text{к}}$ - индуктивное сопротивление контура коммутации преобразователя, Ом;

$R_{\text{к.п}}$ - омическое сопротивление контура плавки, Ом.

Плавка от установок с блоком автотрансформатор – вольтдобавочный трансформатор

Применение ВДТ в качестве источника плавки позволяет существенно расширить зоны обслуживания УПГ и сократить суммарное время плавки.

Комбинация регулируемого (с применением ВДТ) и нерегулируемого источников напряжения позволяет в ряде случаев существенно уменьшить суммарное время плавки. Примерные зоны применения источника с регулируемым напряжением приведены на рис. 22.

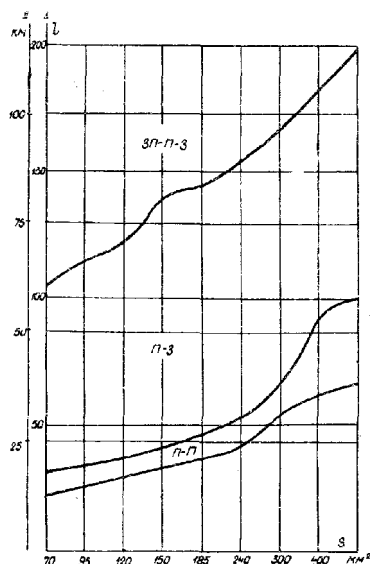


Рис. 22. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УПГ (источник тока):
I - ВУКН-1200-14000; II - ВУКН-1200-8000.

6.5. Схемы плавки гололеда на проводах ВЛ от УПГ с различным количеством преобразователей, рекомендации по проведению пофазной плавки гололеда, по расчету режимов регулируемых (с применением ВДГ) УПГ, а также другие сведения, касающиеся схем и расчета плавки гололеда постоянным током, приведены в части 2 настоящих Методических указаний, которые издаются отдельно.

7. СХЕМЫ, РАСЧЕТЫ РЕЖИМОВ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ТРОСАХ

7.1. Ток и время плавки гололеда на стальных тросах могут быть рассчитаны по формулам, приведенным в разд. 2. Кроме того, в приложении 2 приведены графики тока и времени плавки для характерных практических случаев.

Высокое сопротивление тросов позволяет существенно снизить требуемый ток плавки гололеда по сравнению с токами плавки гололеда на проводах. Поскольку включение тросов для плавки не влияет на передачу энергии по линии, их обогрев может проводиться заблаговременно и более длительно. Это позволяет увеличить практический диапазон токов плавки.

7.2. Простейшая схема плавки гололеда на тросе приведена на рис. 23.



Рис. 23. Схема "трос-земля".

Место заземления троса определяется номинальным напряжением источника плавки и длиной троса. С целью увеличения протяженности обогреваемых тросов можно подключить источники плавки с обоих концов троса (рис. 24). В тех случаях, когда на приемной подстанции нет необходимого напряжения для плавки гололеда, можно использовать провода отключенной линии для подачи напряжения плавки на обогреваемый трос. В ряде случаев целесообразно совмещать плавку на проводах с плавкой на тросах (рис. 25 и 26).

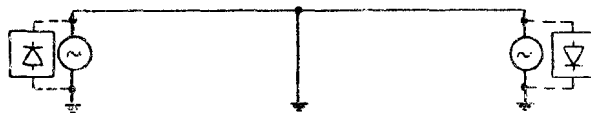


Рис. 24. Схема "трос-земля" при подключении источников плавки с двух концов троса.

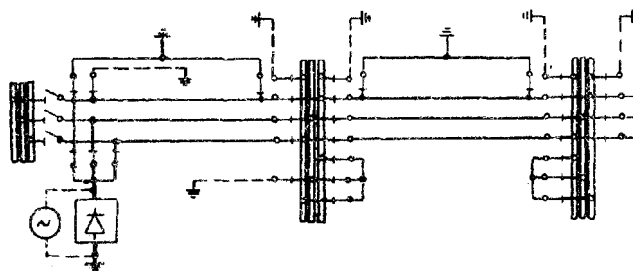


Рис. 25. Использование проводов отключенной ВЛ для подачи напряжения плавки на обогреваемый трос.

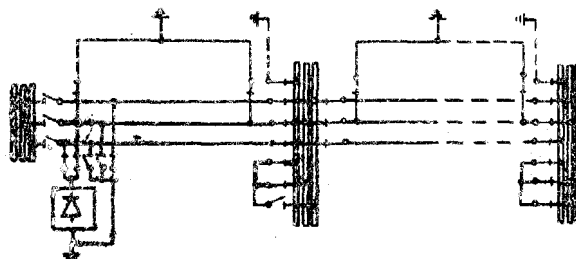


Рис. 26. Одновременная плавка гололеда на проводах и тросах.

7.3. Возможные схемы плавки на линии с двумя тросами приведены на рис. 27-31. В последнем случае (см. рис. 31) плавка на тросах проводится в два этапа.

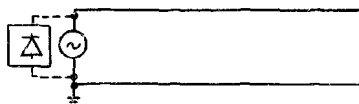


Рис. 27. Схема "трос-трос"

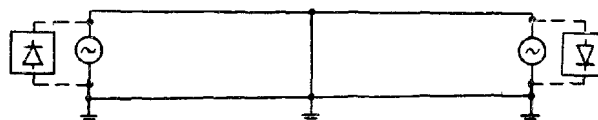


Рис. 28. Схема "трос-трос" при подключении источников плавки с двух концов троса

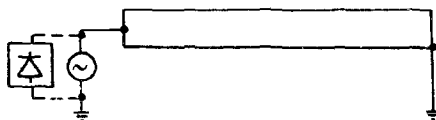


Рис. 29. Схема "два троса - земля".

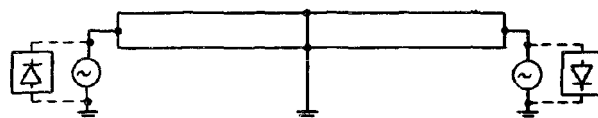


Рис. 30. Схема "два троса - земля" при подключении источников, плавки с двух концов троса.

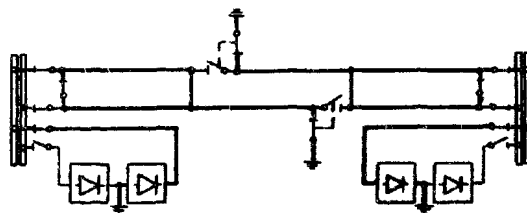


Рис. 31. Схема для плавки в два этапа: "трос-трос" и "два троса - трос - земля".

Плавить гололед на коротких тросовых подходах рекомендуется от шунтирующих реакторов, если такие установлены на подстанции. Возможно также применение специальных трансформаторов на напряжение 1-4 кВ с ответвлениями через 1 кВ. Такие трансформаторы могут быть изготовлены силами ремонтных заводов энергосистем. Для применения более высоких напряжений при плавке гололеда может быть использовано последовательное соединение тросов нескольких смежных линий. Возможность применения на питающих линиях электрифицированных железных дорог схем с использованием земли в качестве обратного провода требует экспериментальной проверки в отношении помех в линиях связи, сигнализации и автоблокировки железных дорог.

7.4. Сопротивление троса складывается из активного, внутреннего и внешнего индуктивных сопротивлений.

Значение активного и внутреннего индуктивного сопротивлений троса зависят от значения протекающего тока и принимаются в соответствии с данными рис. 32.

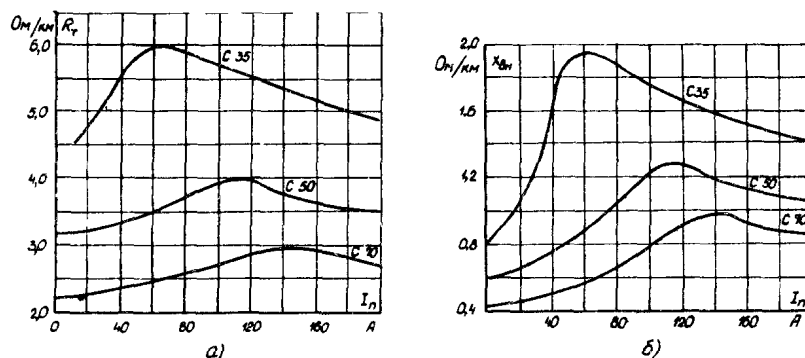


Рис. 32. Зависимости активного R_t (а) и внутреннего индуктивного $X_{вн}$ (б) сопротивлений стальных тросов от тока.

Средние значения внешнего индуктивного сопротивления троса могут быть приняты в соответствии с данными табл. 7.1.

Таблица 7.1

Средние значения внешнего индуктивного сопротивления троса

Схема плавки	Индуктивное сопротивление, Ом/км, троса сечением, мм		
	35	50	70
Трос - трос	0,9	0,85	0,95
Трос - земля	0,78	0,77	0,76
Два троса - земля	0,53	0,525	0,52

Пользуясь графиками рис. 32 и данными табл. 7.1, полное сопротивление троса может быть подсчитано по формуле:

$$Z = \sqrt{(R_t + R_3)^2 + (X_{вн} + X_n)^2}, \quad (7.1)$$

где R_t - активное сопротивление троса, Ом/км;

$R_3 = 0,05$ Ом/км (сопротивление земли);

$X_{вн}$ - внутреннее индуктивное сопротивление троса, Ом/км;

X_n - внешнее индуктивное сопротивление троса, Ом/км.

Для часто применяемой при плавке гололеда плотности тока 2 А/мм^2 в табл. 7.2 даны необходимые расчетные данные о сопротивлениях стальных тросов.

Таблица 7.2

Сопротивления стальных тросов (Ом) на километр линии

Схема плавки	Сечение троса, мм ²								
	35			50			70		
	<i>r</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>r</i>	<i>X</i>	<i>Z</i>	<i>r</i>	<i>K</i>	<i>Z</i>
Трос-трос	12,0	4,9	13,0	8,0	3,5	8,7	6,0	2,9	6,66
Трос-земля	6,05	2,78	6,65	4,05	2,07	4,55	3,05	1,76	3,52
Два троса-земля	3,05	1,53	3,42	2,05	1,18	2,36	1,55	1,02	1,85

7.5. Возможные длины участков линий, на которых может быть проведена плавка гололеда на тросах при различных напряжениях источника, приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Средние длины линий (км) при плавке гололеда на тросах сечением 35, 50, 70 мм² с плотностью тока 2 А/мм²

Напряжение плавки, кВ	Схема плавки		
	Трос-трос	Трос-земля	Два троса-земля
6	7,0	7,5/13	7,5/13
10	12,0	13/22	13,0/20
35	40	48/80	45/78
110	140	150	145

Примечание. Для схемы "трос-трос" и всех схем при напряжении 110 кВ расчет сделан для линейного напряжения; в остальных случаях в числителе - для фазного, в знаменателе - для линейного напряжений.

7.6. Переменный ток плавки определяется по формуле:

$$I_{\text{п}} = \frac{U}{\sqrt{(R_{\text{т}} + R_{\text{ззз}})^2 + (X_{\text{вн}} + X_{\text{н}})^2}}, \quad (7.2)$$

$$I_{\text{п}} = \frac{U}{R_{\text{т}} + R_{\text{ззз}}}, \quad (7.3)$$

где $R_{\text{ззз}}$ - сопротивление заземления троса, Ом.

Сопротивление заземления троса, по возможности, должно быть небольшим, особенно при плавке на коротких тросовых подходах от специальных однофазных трансформаторов, поэтому рекомендуется усиливать контур заземления опоры, на которой устанавливается закоротка, до значений, не превышающих 4 Ом.

Для обеспечения безопасности следует ограждать контур заземления опоры, если потенциал его превышает 100 В. Ограждаемая территория вокруг опоры определяется шаговым напряжением.

8. РАБОТА ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**Изоляция электрической сети**

8.1. Гололедные отложения на изоляции электрической сети способствуют существенному снижению разрядных характеристик изоляции, что должно учитываться как при эксплуатации, так и при проектировании электрических сетей. С целью повышения надежности работы должны быть оптимизированы уровни внешней изоляции тросов.

Необходимое число изоляторов N должно выбираться по формуле:

$$N = \frac{U \cdot \lambda_{\text{э}} \cdot K_{\text{д}}}{L}, \quad (8.1)$$

где U - напряжение, приложенное к изоляции, кВ;

$\lambda_{\text{э}}$ - нормированная удельная эффективная длина пути утечки, см;

L - геометрическая длина пути утечки принятого типа изолятора, см;

$K_{\text{д}}$ - поправочный коэффициент использования длины пути утечки изолятора принятого типа.

$$K_{\text{л}} = 0,9 \frac{L}{D_1} \left[0,85 + 0,15 \cdot e^{-(0,39\beta^2 - 0,5)} \left(\frac{L}{D_1} \cdot K_{\Phi} \right)^e 0,25 + \left(1,5 - \frac{L}{D_1} \right) 0,39\beta^2 - 0,055 \right] \times \\ \times \left[1 + \left(\frac{L}{D_1} \cdot K_{\Phi} \right)^2 (5\alpha - 5) 0,0033 \right], \quad (8.2)$$

где D - диаметр изолятора, см;
 β - номер района загрязненности;
 α - номер района гололедности;
 K_{Φ} - коэффициент формы изолятора.

При $\frac{L}{D} \leq 1$ коэффициент $K_{\text{л}} = 1$.

8.2. Уровень изоляции тросов, достаточный для успешного проведения плавки, зависит от способа его выполнения.

При неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке от источника переменного и постоянного тока следует принимать $\lambda_{\text{э}}$ по данным табл. 8.1.

Таблица 8.1

Рекомендуемые значения $\lambda_{\text{э}}$ (см/кВ) при неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке гололеда переменным и постоянным током

Район гололедности	Значения $\lambda_{\text{э}}$ для районов загрязнения атмосферы			
	I	II	III	IV
III	1,7/1,8	1,7/1,8	2,0/2,2	2,3/2,5
IV	1,7/1,8	1,8/1,9	2,1/2,3	2,4/2,6

Примечание. В числителе - при плавке гололеда переменным током, в знаменателе - постоянным током.

При изменении числа изоляторов в гирлянде, пропорциональном значению воздействующего напряжения, $\lambda_{\text{э}}$ следует принимать для переменного напряжения по табл. 8.2 и для постоянного напряжения - по табл. 8.3.

Таблица 8.2

Рекомендуемые значения $\lambda_{\text{э}}$ (см/кВ) при плавке переменным током и числе изоляторов в гирлянде, пропорциональном значению воздействующего напряжения

Район гололедности	Район загрязнения атмосферы			
	I	II	III	IV
III	2,0	2,0	2,3	2,5
IV	2,1	2,2	2,4	2,7

Таблица 8.3

Рекомендуемые значения $\lambda_{\text{э}}$ (см/кВ) при постоянном U и числе изоляторов, пропорциональном воздействию U .

Район гололедности	Район загрязнения атмосферы			
	I	II	III	IV
III	2,1	2,2	2,5	2,8
IV	2,2	2,4	2,7	3,0

При определении количества изоляторов N при плавке гололеда на тросах постоянным током необходимо в числитель формулы (8.1) внести поправочный коэффициент $\rho_{\text{л}}$, учитывающий отличие разрядных характеристик изоляции при постоянном напряжении от характеристик при переменном напряжении.

$$\rho_{\text{л}} = \left(0,907 + 0,093e^{-9,7\left(\frac{L}{D} - 0,97\right)} \right) \left[1 + 0,0464 \left(2,3 - \sqrt{0,39\beta^2} \right) \frac{L}{D} \cdot K_{\Phi} \right]. \quad (8.3)$$

Для изоляции тросов рекомендуется применение изоляторов из закаленного стекла.

8.3. Тросовые изоляторы должны шунтироваться искровыми промежутками для защиты от ожогов при грозовых перекрытиях. Значения искровых промежутков выбираются, исходя из следующих положений:

- искровые промежутки не должны пробиваться рабочим напряжением при плавке, а также при перенапряжениях, возникающих в процессе включения схемы плавки;
- искровой промежуток должен быть меньше разрядного напряжения гирлянд изоляторов как при импульсах, так и при промышленной частоте. Значения искровых промежутков для гирлянд из одного, двух и четырех изоляторов приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Характеристики искровых промежутков

Напряжение плавки, кВ	Количество изоляторов	Значение искрового промежутка, мм
3-20	1	60
35	2	100
110	4	150

Провода и тросы

8.4. Плавка гололеда на тросах должна проводиться до плавки гололеда на проводах. Если невозможно организовать плавку на всем протяжении троса, а на не обогреваемых участках возможно опасное сближение проводов и тросов, то с целью повышения надежности работы ВЛ на этих участках рекомендуется демонтаж тросов. На проектируемых линиях могут быть предусмотрены участки без тросов.

8.5. Перед гололедным сезоном необходимо произвести тщательный осмотр линий, на которых предусматривается плавка, произвести опробование всех элементов электрической схемы плавки и принять меры, обеспечивающие нормальную их работу в режиме плавки.

Перегрузочная способность оборудования

8.6. Для трансформаторов тока, высокочастотных заградителей, контактов выключателей и разъединителей на период плавки гололеда допускается перегрузка на 50%.

Более высокая перегрузка может быть допущена после специальных испытаний или согласования с заводом-изготовителем. Допустимые кратности перегрузки для некоторых типов выключателей, полученные экспериментальным путем, приведены в табл. 8.5.

Таблица 8.5

Допустимая кратность перегрузки выключателей

Тип выключателя	Допустимая кратность перегрузки выключателя при времени плавки, мин						
	10	15	20	30	40	50	60
ВМП-10-600	3,84	3,3	2,92	2,55	2,38	2,28	2,25
ВМП-10-100	3	2,5	2,1	1,89	1,7	1,59	1,5
У-35-2500-10	2,55	2,3	2,15	2,0	1,85	1,7	1,6
МКП-35-1000-25	4	3,85	3,75	3,7	3,6	3,5	3,4
С-35-630-10	5,3	4,8	4,45	3,9	3,55	3,35	3,18

8.7. Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ приведена в табл. 8.6.

Таблица 8.6

Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ, укомплектованных выключателями

Тип КРУ и выключателя	Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ при времени плавки, мин						
	10	15	20	30	40	50	60
КВЭ-10-13-630 ВМПЭ-630-20	5,5	4,8	4,4	3,8	3,18	2,95	2,75
КВП-10-15-15-600 ВМПП-10-630-20	4,1	3,9	3,75	3,4	3,1	2,8	2,5
КВП-10-07-1500 ВМПЭ-10-1600-20	2,65	2,17	1,82	1,55	1,4	1,25	1,2
КВП-10-0,5-1500 ВМПП-10-1500-20	2,4	2	1,75	1,5	1,3	1,25	1,2
ШВМЭ-10-19-1600 ВМПЭ-10-1600-31,5	4	3,35	3	2,5	2,25	2,1	1,9

8.8. Генераторы, выделенные для плавки, работают при низком $\cos\varphi$, что ограничивает их мощность по ротору. В табл. 8.7 приведены располагаемые мощности турбогенераторов при различных коэффициентах мощности.

Таблица 8.7

Мощности турбогенераторов (%) при различных значениях коэффициента мощности

Тип турбогенератора	Номинальная мощность, кВт	Коэффициент мощности											
		1,0	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
T2-6-2	6000	100	100	100	100	88	84	79	76	73	71	70	70
T2-12-2	12000	100	100	100	100	92	86	83	82	81	80	80	80
T2-25-2	25000	100	100	100	100	92	86	83	82	81	80	80	80
ТВ2-30-2	30000	100	100	100	100	93	89	85	82	81	80	80	80
T2-50-2	50000	100	100	100	95	88	84	81	78	76	75	75	75
ТВ-50-2	50000	100	100	100	100	90	87	84	81	78	76	75	75
ТВ-60-2	60000	100	100	100	100	90	87	84	81	78	76	75	75
ТВФ-60-2	60000	100	100	100	100	91	87	85	80	79	77	77	77
ТВ2-100-2	100000	100	100	100	95	88	84	81	78	76	75	75	75
ТВФ-100-2	100000	100	100	100	100	91	87	85	80	79	75	75	75
ТВ2-150-2	150000	100	100	95	90	83	79	76	73	72	70	70	70
ТВВ-200-2	200000	100	100	100	95	88	84	80	76	71	70	70	70
ТГВ-200	200000	100	100	100	90	87	84	81	78	76	75	75	75
ТВВ-300-2	300000	100	100	100	95	88	84	80	76	76	70	70	70

Для гидрогенераторов допустимый ток статора существенно изменяется в зависимости от конструкции машины. Располагаемая мощность при низких $\cos\varphi$ должна определяться для каждого гидрогенератора специальным расчетом на основе его электрических характеристик. При этом наибольший ток ротора может быть принят на 10% выше номинального.

Уточнение располагаемой мощности генераторов при работе с низким $\cos\varphi$ может быть сделано на основе специальных опытов.

8.9. Перегрузочная способность трансформаторов, запроектированных до 1960 г., должна определяться по данным завода-изготовителя.

Для трансформаторов, запроектированных после 1960 г., по ГОСТ 14209-69.

Значение допустимой мощности для плавки определяется предшествующей загрузкой источников, их допустимой перегрузкой и сечением прогреваемого, провода. Зависимости изменения предельной мощности плавки от сечения проводов и предшествующей загрузки трансформатора при $\cos\varphi_n =$ приведены на рис. 33.

8.10. Перегрузочная способность бетонных реакторов в первом приближении должна определяться, как для сухих трансформаторов по диаграмме нагрузочной способности Шницера.

8.11. Все элементы электрической схемы плавки должны быть рассчитаны на токи плавки с учетом допустимых перегрузок. Элементы оборудования, перегрузка которых превышает допустимую, должны быть заменены или зашунтированы на период плавки.

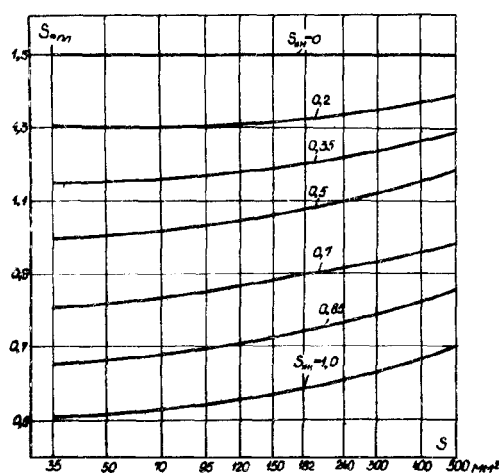


Рис. 33. Зависимость изменения предельной мощности плавки ($S_{пл}$), сечения проводов (F) и предшествующей загрузки трансформаторов ($S_{н}$).

Приложение 1

СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ И ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Таблица П1.1

Сопротивления проводов при различных температурах

Марка провода	Сопротивление провода (Ом) при температуре провода, °С								
	0	20	40	60	80	100	110	120	130
M25	0,667	0,720	0,771	0,823	0,875	0,927	0,960	0,988	-
M35	0,477	0,515	0,551	0,588	0,626	0,663	0,688	0,716	-
M50	0,334	0,361	0,386	0,412	0,439	0,455	0,481	0,494	-
M70	0,247	0,267	0,286	0,305	0,324	0,344	0,356	0,366	-
M95	0,177	0,191	0,204	0,218	0,232	0,246	0,255	0,262	-
M120	0,143	0,154	0,165	0,176	0,187	0,198	0,206	0,212	-
M150	0,113	0,122	0,131	0,139	0,148	0,157	0,16	0,167	-
A25	1,05	1,14	1,22	1,31	1,39	1,48	1,51	1,55	-
A35	0,769	0,830	0,891	0,953	1,014	1,076	1,106	1,136	-
A50	0,533	0,576	0,619	0,661	0,704	0,7	0,766	0,788	-
A70	0,381	0,412	0,443	0,473	0,504	0,534	0,549	0,564	-
A95	0,285	0,308	0,331	0,354	0,376	0,399	0,411	0,422	-
A120	0,228	0,246	0,264	0,282	0,301	0,319	0,328	0,337	-
AC10/1,8	2,495	2,695	2,895	3,094	3,294	3,494	3,689	3,695	3,795
AC16/2,7	1,641	1,772	1,903	2,035	2,166	2,297	2,364	2,426	2,495
AC25/4,2	1,061	1,146	1,231	1,316	1,401	1,486	1,528	1,570	1,614
AC35/6,2	0,715	0,773	0,830	0,888	0,945	1,002	1,029	1,058	1,086
AC50/8,0	0,548	0,592	0,636	0,7240	0,724	0,767	0,789	0,811	0,832
AC70/11	0,389	0,420	0,451	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591
AC70/72	0,389	0,420	0,451	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591
AC95/15	0,291	0,314	0,337	0,361	0,384	0,407	0,419	0,431	0,442
AC95/16	0,277	0,299	0,321	0,343	0,365	0,388	0,394	0,419	0,421
AC95/141	0,292	0,316	0,339	0,363	0,386	0,410	0,421	0,432	0,444
AC120/19	0,227	0,245	0,263	0,271	0,299	0,318	0,326	0,336	0,345
AC120/27	0,231	0,249	0,267	0,286	0,304	0,323	0,332	0,342	0,351
AC150/19	0,181	0,195	0,209	0,224	0,238	0,253	0,260	0,269	0,275
AC150/24	0,180	0,194	0,208	0,223	0,237	0,251	0,259	0,266	0,274
AC150/34	0,181	0,196	0,211	0,225	0,240	0,254	0,260	0,268	0,275
AC185/24	0,143	0,154	0,165	0,177	0,188	0,200	0,206	0,212	0,217
AC185/29	0,147	0,159	0,171	0,183	0,194	0,206	0,212	0,2176	0,223
AC185/43	0,144	0,156	0,168	0,179	0,191	0,202	0,207	0,213	0,219
AC185/128	0,144	0,155	0,166	0,178	0,189	0,201	0,207	0,213	0,219
AC205/27	0,130	0,140	0,150	0,161	0,171	0,181	0,187	0,192	0,198
AC240/32	0,109	0,118	0,127	0,135	0,144	0,153	0,157	0,161	0,166

AC240/39	0,113	0,122	0,131	0,140	0,149	0,158	0,163	0,167	0,172
AC240/56	0,111	0,120	0,129	0,138	0,147	0,156	0,160	0,164	0,168
AC300/39	0,089	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,128	0,131	0,135
AC300/48	0,091	0,098	0,105	0,113	0,120	0,127	0,131	0,134	0,138
AC300/66	0,093	0,100	0,107	0,115	0,122	0,130	0,134	0,137	0,141
AC300/204	0,090	0,097	0,104	0,111	0,119	0,126	0,129	0,133	0,137
AC330/27	0,082	0,089	0,096	0,102	0,109	0,115	0,117	0,121	0,124
AC330/43	0,081	0,087	0,093	0,100	0,106	0,113	0,116	0,120	0,123
AC400/22	0,068	0,073	0,08	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC400/51	0,068	0,073	0,08	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC400/64	0,069	0,074	0,079	0,085	0,0990,	0,096	0,099	0,1022	0,1049
AC400/93	0,066	0,071	0,076	0,082	0,087	0,092	0,095	0,098	0,1004
AC450/56	0,062	0,067	0,092	0,077	0,082	0,087	0,089	0,092	0,0942
AC500/27	0,055	0,060	0,064	0,069	0,073	0,078	0,079	0,081	0,084
AC500/64	0,055	0,059	0,063	0,068	0,072	0,076	0,079	0,081	0,084
AC500/336	0,055	0,059	0,063	0,068	0,072	0,076	0,079	0,081	0,084
AC550/71	0,049	0,053	0,057	0,061	0,065	0,069	0,0706	0,0726	0,0745
AC600/72	0,046	0,0570	0,054	0,057	0,061	0,065	0,066	0,068	0,070
AC650/79	0,043	0,046	0,049	0,053	0,0636	0,0636	0,062	0,06	0,0654
					0				
AC700/86	0,039	0,042	0,045	0,048	0,051	0,054	0,056	0,0577	0,059
AC750/93	0,036	0,039	0,042	0,045	0,048	0,051	0,0518	0,053	0,054
AC800/105	0,032	0,035	0,038	0,0470	0,043	0,045	0,046	0,047	0,0486
АЖ25	1,251	1,352	1,431	1,52	1,61	1,7	-	-	-
АЖ35	0,905	0,978	1,035	1,1	1,165	1,23	-	-	-
АЖ50	0,625	0,676	0,715	0,760	0,805	0,850	-	-	-
АЖ70	0,448	0,484	0,512	0,544	0,577	0,609	-	-	-
АЖ95	0,337	0,364	0,385	0,409	0,434	0,458	-	-	-
АЖ120	0,267	0,289	0,305	0,324	0,344	0,363	-	-	-
АН25	1,155	1,248	1,321	1,404	1,487	1,570	-	-	-
АН35	0,835	0,902	0,955	1,015	1,075	1,135	-	-	-
АН50	0,577	0,624	0,660	0,701	0,743	0,784	-	-	-
АН70	0,413	0,447	0,472	0,502	0,531	0,561	-	-	-
АН95	0,311	0,336	0,355	0,378	0,400	0,422	-	-	-
АН120	0,246	0,266	0,281	0,299	0,316	0,334	-	-	-

Таблица П1.2

Небольшие допустимые токи плавки для проводов при различных погодных условиях

Марка провода	Допустимый ток плавки (А) для скорости ветра (v) и температуры воздуха (t)					
	v = 2 м/с			v = 4 м/с		
	t = 0°	t = -5°	t = -10°	t = 0°	t = -5°	t = -10°
1	2	3	4	5	6	7
Температура провода 90 °С						
M25	265	275	280	310	320	330
M35	330	340	345	385	395	405
M50	415	425	435	480	495	510
M70	505	520	530	590	600	620
M95	630	645	660	730	745	765
M120	720	740	760	835	855	880
M150	840	860	880	970	995	1020
M185	960	985	1010	1110	1140	1165
M240	1130	1160	1185	1305	1340	1370
M300	1290	1320	1355	1485	1525	1560
M350	1460	1495	1530	1680	1720	1765
M400	1580	1620	1655	1815	1860	1905
A25	210	215	220	245	255	260
A35	260	265	270	300	310	320
A50	330	335	345	380	390	400
A70	405	420	430	475	485	495
A95	490	505	515	570	585	600

A120	570	585	600	660	675	695
A150	665	680	700	770	790	810
A185	760	780	800	880	905	925
A240	910	930	950	1045	1070	1100
A300	1025	1050	1075	1180	1210	1240
A350	1155	1185	1210	1330	1360	1395
A400	1245	1275	1305	1430	1465	1500
A450	1355	1390	1420	1555	1595	1635
A500	1460	1500	1535	1680	1720	1760
A550	1550	1585	1625	1780	1820	1864
A600	1630	1670	1710	1870	1915	1960
Температура провода 100 °C						
AC25/4,2	224	230	235	261	268	275
AC35/6,2	289	296	302	336	344	352
AC50/8	343	351	359	399	416	434
AC70/11	428	438	447	496	508	519
AC70/72	468	479	489	541	553	565
AC95/16	533	545	557	617	631	645
AC95/15	520	532	543	602	616	630
AC95/141	582	595	607	670	685	700
AC120/19	610	624	637	705	721	737
AC120/27	609	623	636	703	719	735
AC150/19	705	721	736	813	831	850
AC150/24	710	721	741	820	838	857
AC150/34	711	727	743	821	839	858
AC185/24	821	839	857	947	969	990
AC185/29	807	825	843	930	951	972
AC185/43	825	843	861	951	972	994
AC185/128	870	889	908	1000	1022	1045
AC205/27	874	893	912	1007	1030	1052
AC240/32	977	999	1020	1124	1150	1175
AC240/39	961	982	1003	1106	1130	1155
AC240/56	980	1001	1022	1127	1152	1177
AC300/39	1119	1143	1167	1285	1315	1343
AC300/48	1109	1133	1157	1274	1303	1331
AC300/66	1103	1182	1151	1267	1296	1324
AC300/204	1182	1208	1233	1355	1385	1415
AC330/27	1168	1193	1218	1342	1372	1402
AC330/43	1193	1219	1244	1370	1401	1431
AC400/22	1324	1353	1381	1215	1251	1587
AC400/51	1338	1367	1395	1534	1569	1603
AC400/64	1332	1361	1389	1527	1561	1595
AC400/93	1381	1411	1440	1582	1617	1652
AC450/56	1417	1447	1477	1623	1660	1696
AC500/27	1507	1539	1571	1726	1765	1803
AC500/64	1538	1571	1604	1762	1801	1840
AC500/336	1640	1675	1709	1872	1913	1954
AC550/71	1652	1688	1723	1891	1933	1974
AC600/72	1714	1751	1787	1961	2004	2047
AC650/79	1812	1851	1889	2071	2117	2163
AC700/86	1923	1964	2004	2196	2244	2292
AC750/93	1929	1975	2020	2199	2253	2306
AC800/105	2168	2214	2260	2473	2527	2581
Температура провода 80 °C						
AЖ25	185	190	195	215	225	230
AЖ35	230	235	240	265	275	280
AЖ50	290	300	305	335	345	355
AЖ70	360	370	380	415	430	440
AЖ95	430	440	455	500	515	530
AЖ120	500	515	530	580	600	615
АН25	195	200	205	225	230	240
АН35	240	245	250	275	285	295
АН50	300	310	320	350	360	370
АН70	375	385	395	435	445	460
АН95	450	460	475	520	535	550

АН120	520	535	550	605	625	640
-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Приложение 2

ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА И ИЗМОРОЗИ ОТ ЗНАЧЕНИЯ ТОКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ПРОВОДА

На графиках цифры около кривых означают: в числителе - температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$); в знаменателе - скорость ветра (м/с).

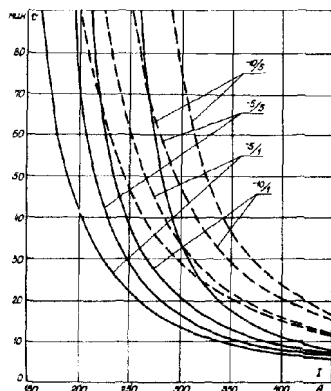


Рис. П2.1. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод М50: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

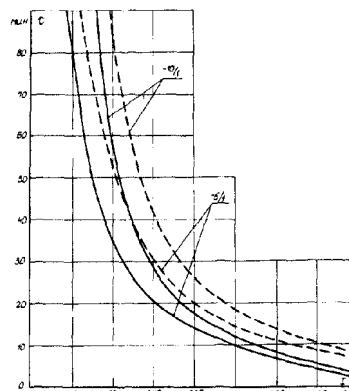


Рис. П2.2. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод М50: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

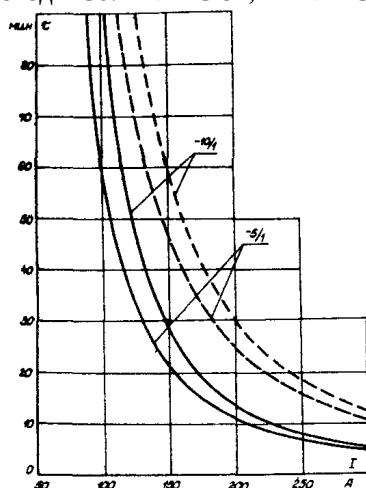


Рис. П2.3. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод М50: — $D = 5$ см; --- $D = 10$ см.

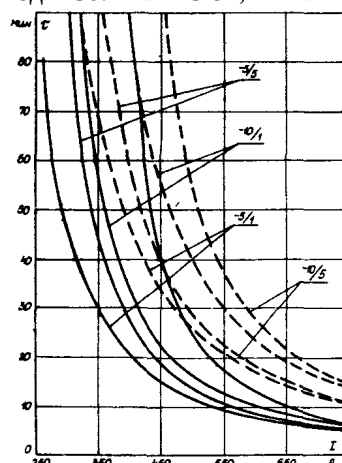


Рис. П2.4. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод М70: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

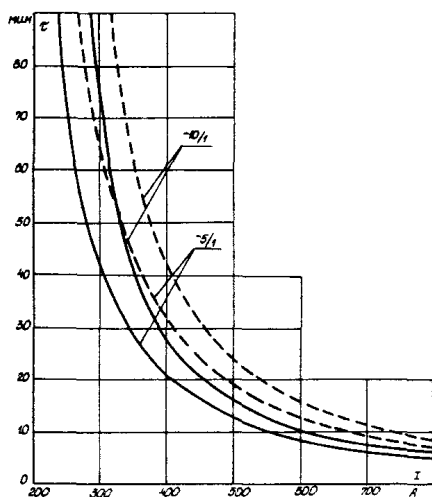


Рис. П2.5. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод М70: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

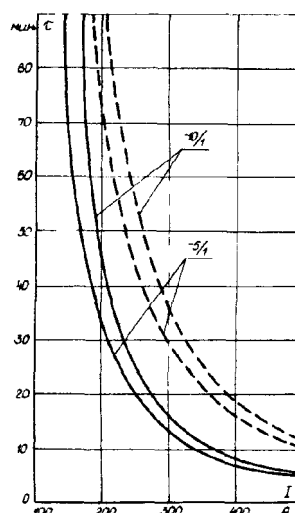


Рис. П2.6. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод М70: — $D = 5$ см; --- $D = 10$ см.

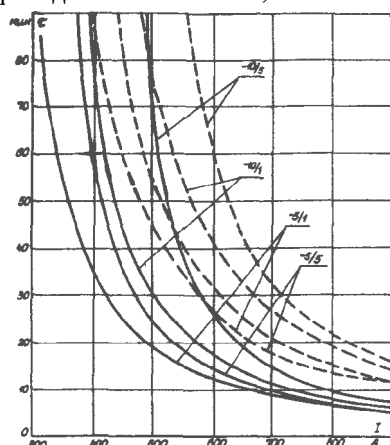


Рис. П2.7. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Привод М95: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

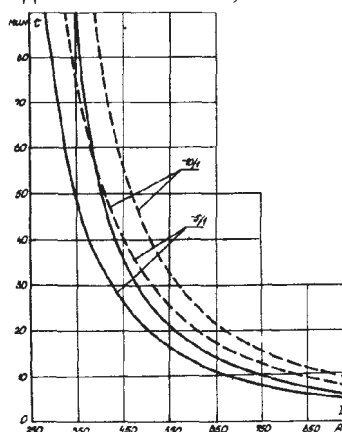


Рис. П2.8. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод М95: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

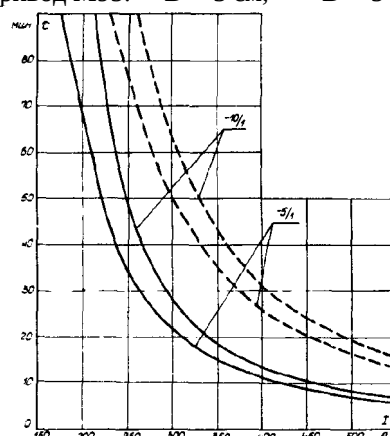


Рис. П2.9. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод М95: — $D = 5$ см; --- $D = 10$ см.

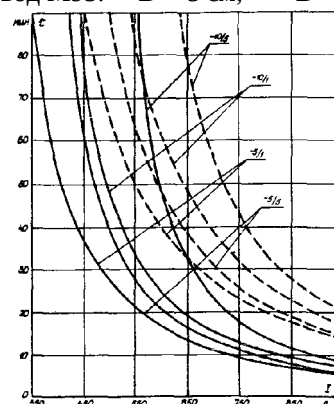


Рис. П2.10. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод М120: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

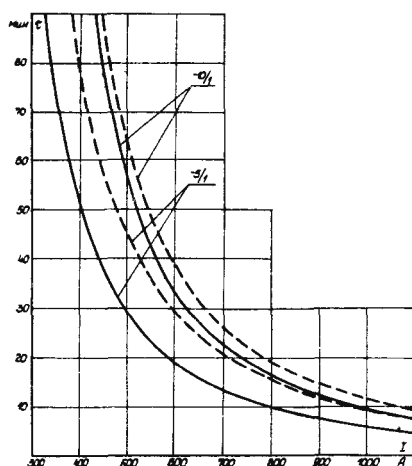


Рис. П2.11 Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Привод М120; — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

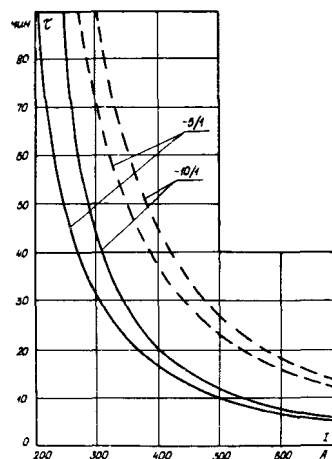


Рис. П2.12. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод М120; — $D = 5$ см; --- $D = 10$ см.

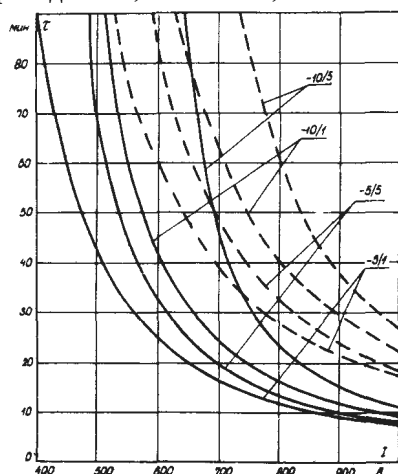


Рис. П2.13. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Привод М150; — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

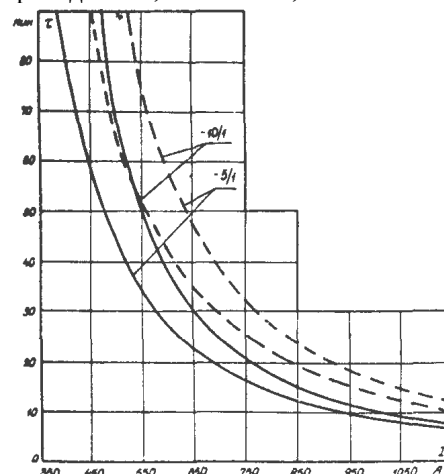


Рис. П2.14. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Привод М150; — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

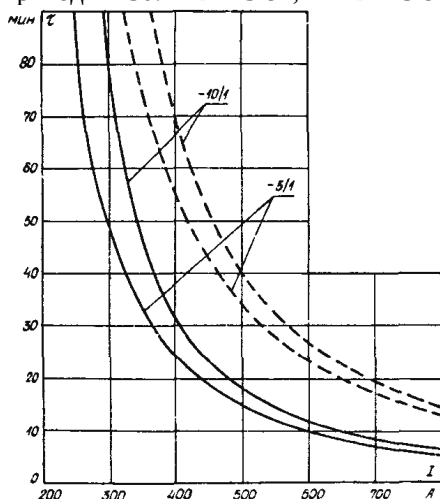


Рис. П2.15. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Привод М150; — $D = 5$ см; --- $D = 10$ см.

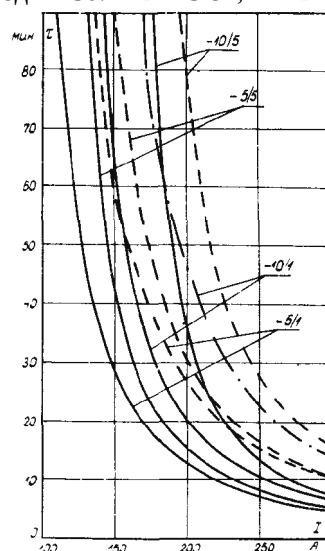


Рис. П2.16. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,9$) от тока.
Привод А25; — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

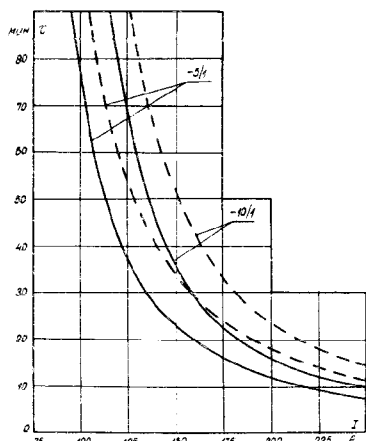


Рис. П2.17. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А25: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

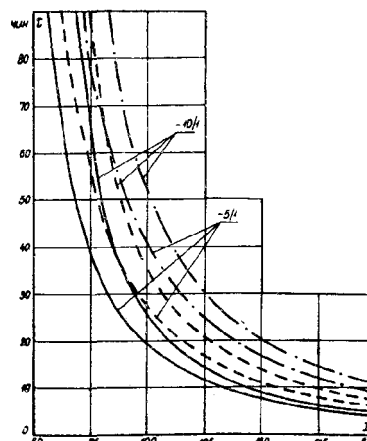


Рис. П2.18. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод А25: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см;
- · - · - $D = 10$ см.

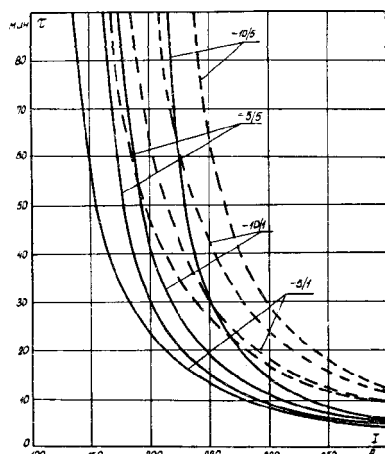


Рис. П2.19. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод А35: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

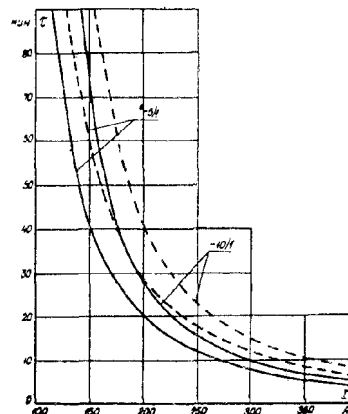


Рис. П2.20. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А35: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

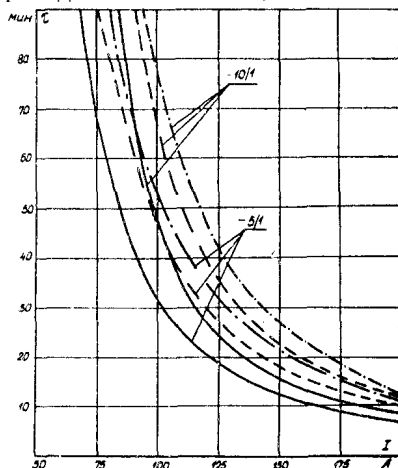


Рис. П2.21. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод А35: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см;
- · - · - $D = 10$ см.

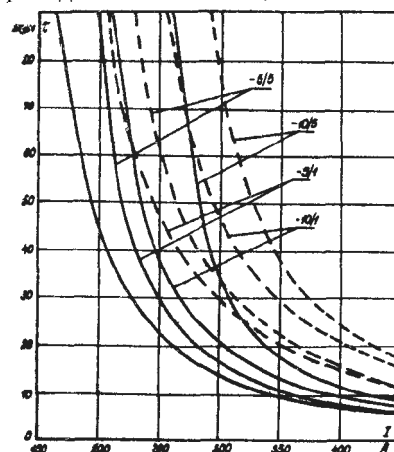


Рис. П2.22. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод А50: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

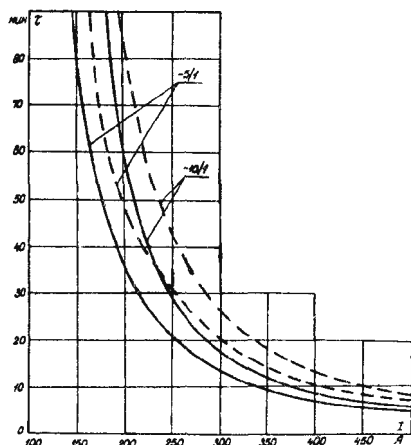


Рис. П2.23. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А50: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

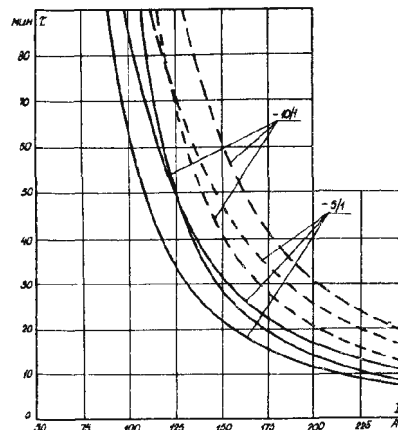


Рис. П2.24. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод А50: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см;
- · - · - $D = 10$ см.

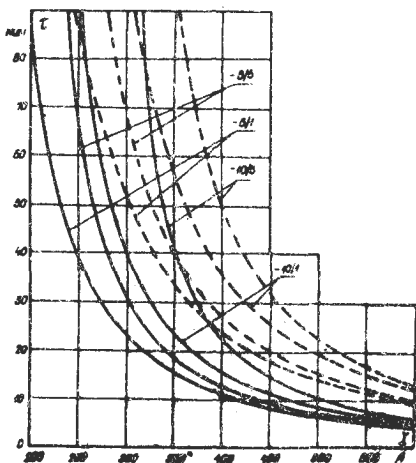


Рис. П2.25. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод А70: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

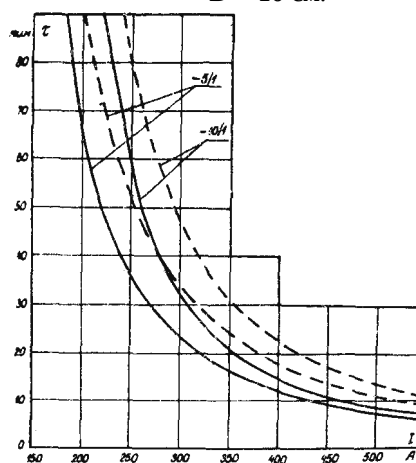


Рис. П2.26. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А70: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

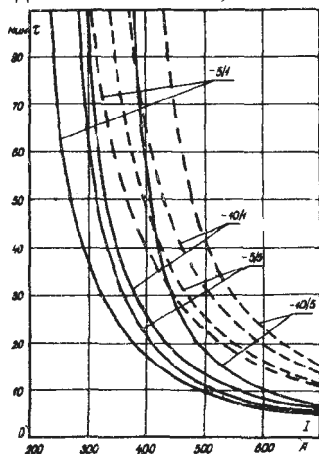


Рис. П2.27. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод А95: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

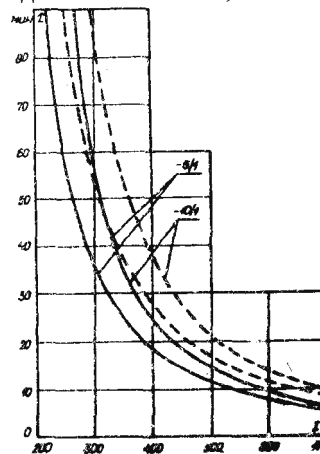


Рис. П2.28. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см.

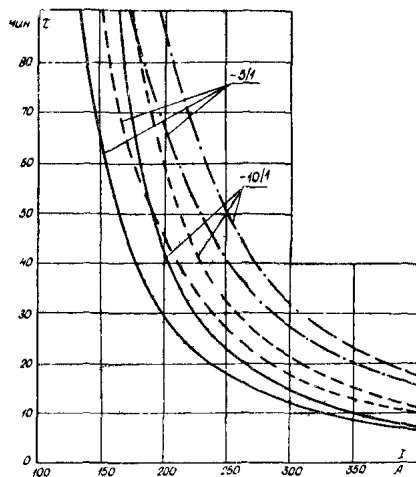


Рис. П2.29. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод А95: — $D = 5$ см; --- $D = 7$ см;
- · - · - $D = 10$ см.

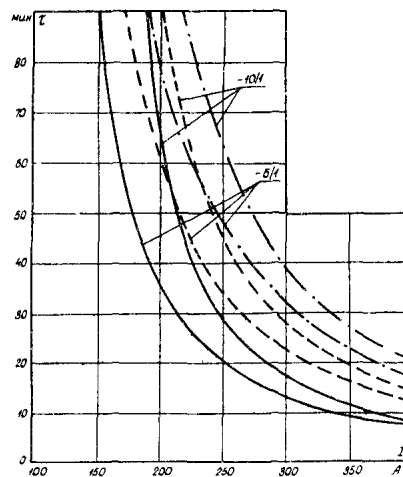


Рис. П2.30. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод А120: — $D = 4$ см; --- $D = 6$ см;
- · - · - $D = 8$ см.

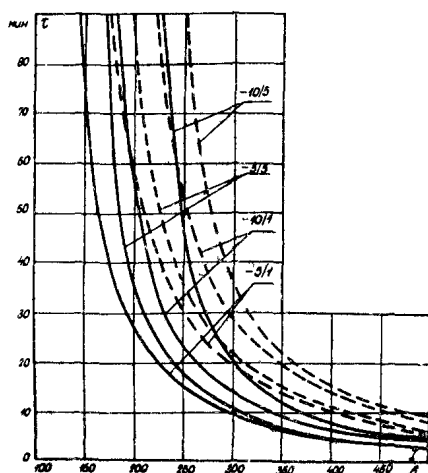


Рис. П2.31. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС35/6,2: — $D = 4$ см; --- $D = 5$ см.

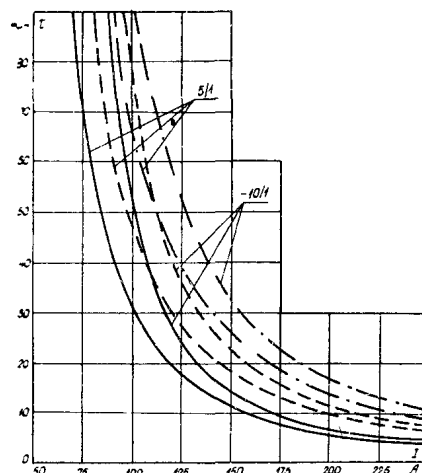


Рис. П2.32. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод АС35/6,2: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

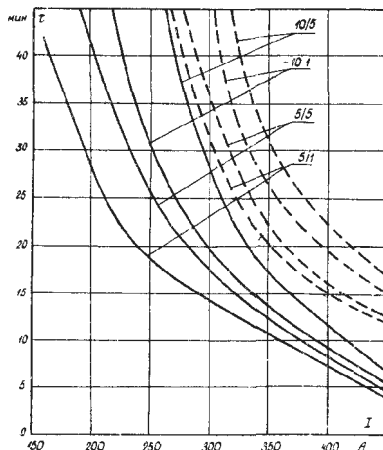


Рис. П2.33. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС50/8,0: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см.

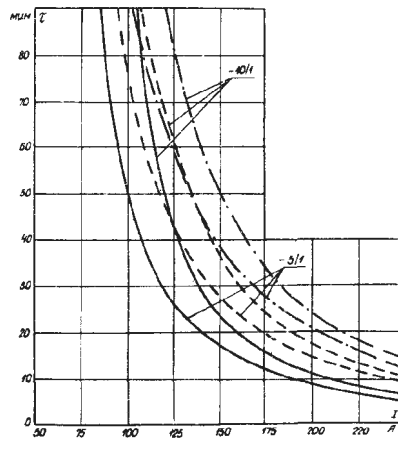


Рис. П2.34. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока/
Провод АС50/8,0: — $D = 4$ см; --- $D = 6$ см;
- · - · - $D = 8$ см.

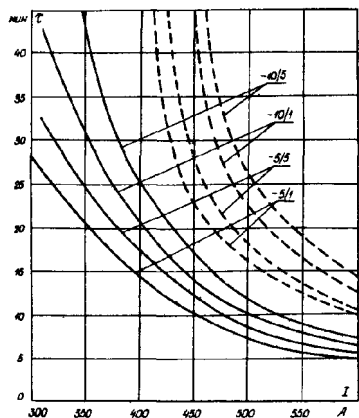


Рис. П2.35. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС70/11: — $D = 3$ см; --- $D = 5$ см

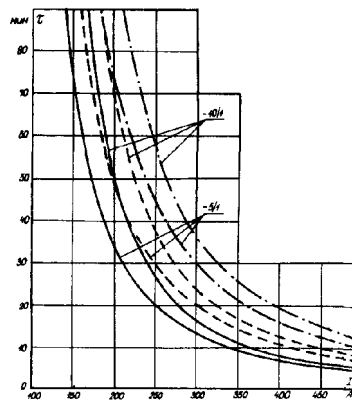


Рис. П2.36. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод АС70/11 : — $D = 4$ см; --- $D = 6$ см;
- - - - $D = 8$ см.

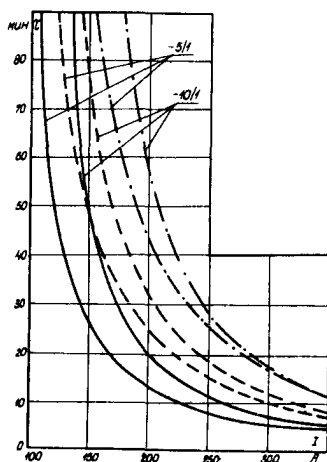


Рис. П2.37. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
Провод АС70/11 : — $D = 4$ см; --- $D = 6$ см;
- - - - $D = 8$ см.

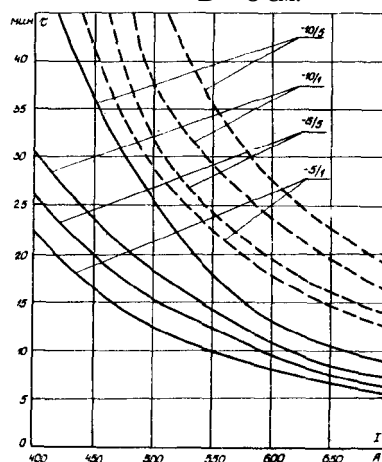


Рис. П2.38. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС95/16 : — $D = 3,5$ см; --- $D = 5$ см.

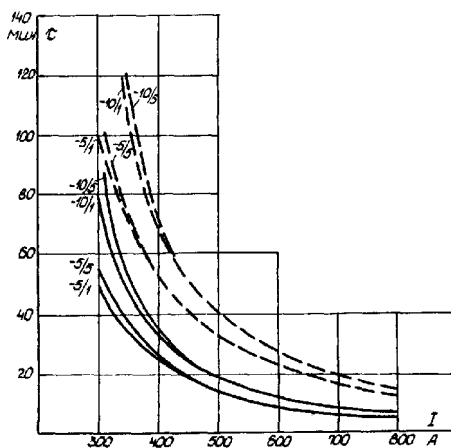


Рис. П2.39. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод АС95/16: — диаметр изморозевой муфты 5 см;
--- диаметр изморозевой муфты 10 см.
Знаменатель - скорость ветра м/с.

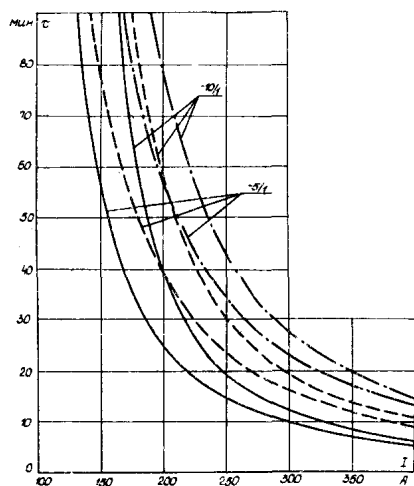


Рис. П2.40. Зависимость времени плавки изморози от тока ($\gamma = 0,2$).
Провод АС95/16: — $D = 4$ см; --- $D = 6$ см;
- · - · - $D = 8$ см.

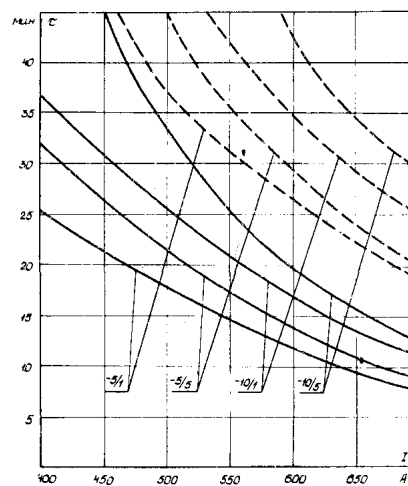


Рис. П2.41. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС120/19: — $D = 3,5$ см;
--- $D = 5,5$ см.

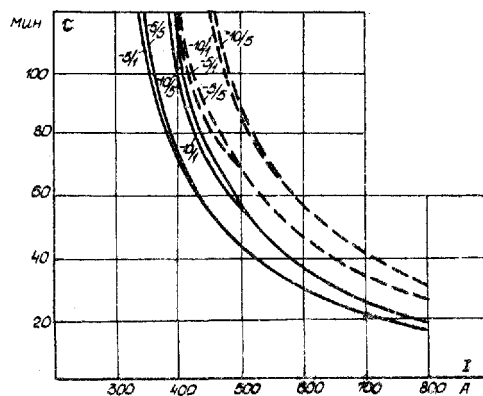


Рис. П2.42. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод АС120/19: — диаметр изморозевой муфты 10 см;
--- диаметр изморозевой муфты 15 см.

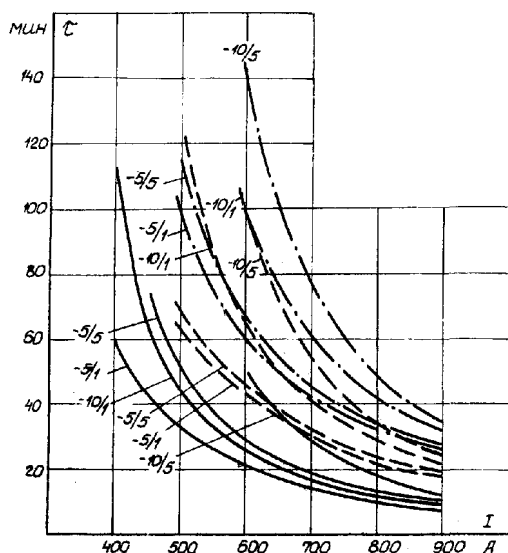


Рис. П2.43. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока. Провод АС150/24:
 — диаметр гололедной муфты 4 см;
 --- диаметр гололедной муфты 6 см;
 - · - диаметр гололедной муфты 8 см.

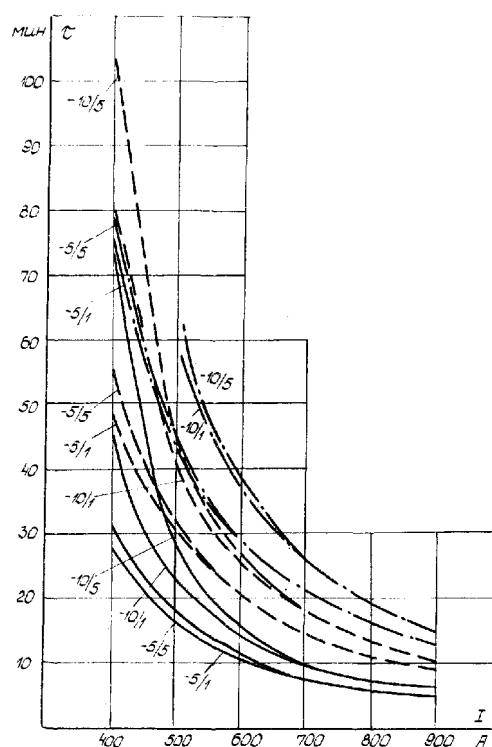


Рис. П2.44. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока. Провод АС150/24:
 — диаметр изморозевой муфты 4 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 6 см;
 - · - диаметр изморозевой муфты 8 см.

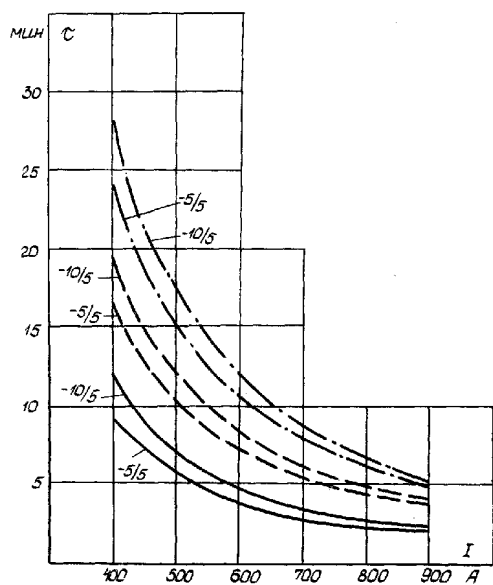


Рис. П2.45. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.
 Провод АС150/24:
 — диаметр изморозевой муфты 4 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 6 см;
 - · - диаметр изморозевой муфты 8 см.

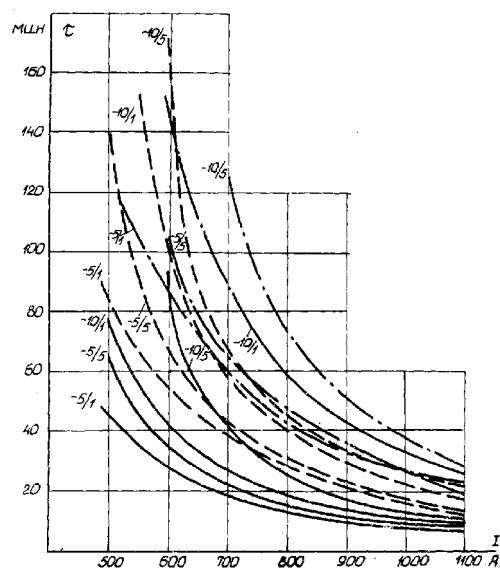


Рис. П2.46. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока плавки.
 Провод АС185/29:
 — диаметр муфты гололеда 4 см;
 --- диаметр муфты гололеда 6 см;
 - · - диаметр муфты гололеда 8 см.

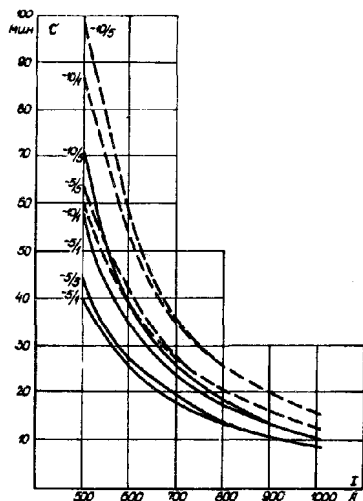


Рис. П2.47. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока плавки.
Провод АС185/29:
— диаметр изморозевой муфты 6 см;
--- диаметр изморозевой муфты 8 см.

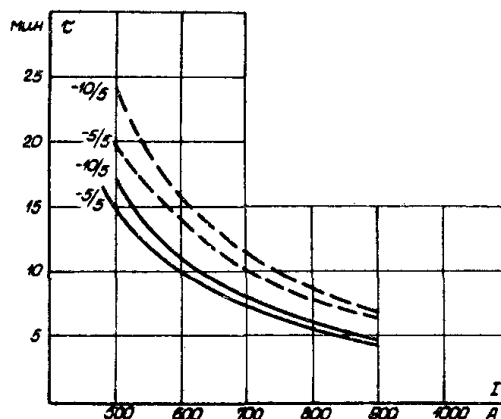


Рис. П2.48. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока плавки.
Провод АС185/29:
— диаметр изморозевой муфты 6 см;
--- диаметр изморозевой муфты 8 см.

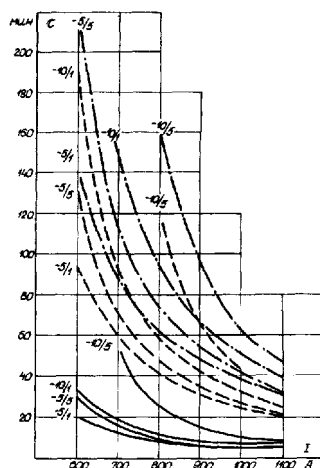


Рис. П2.49. Зависимости времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС240/39:
— диаметр гололедной муфты 3 см;
--- диаметр гололедной муфты 6 см;
- · - диаметр гололедной муфты 8 см.

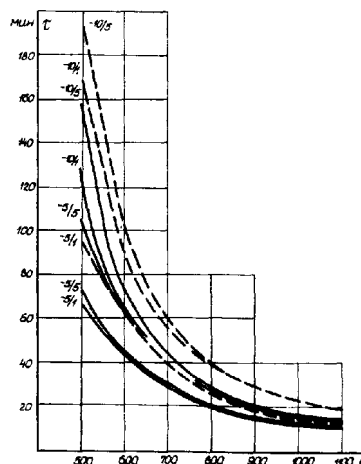


Рис. П2.50. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод АС240/39:
— диаметр изморозевой муфты 6 см;
--- диаметр изморозевой муфты 8 см.

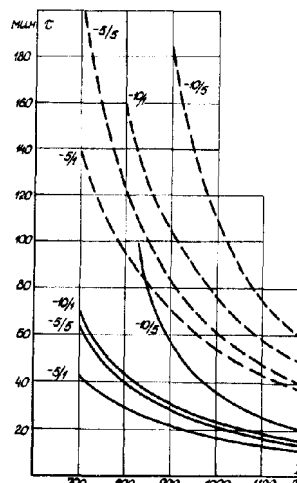
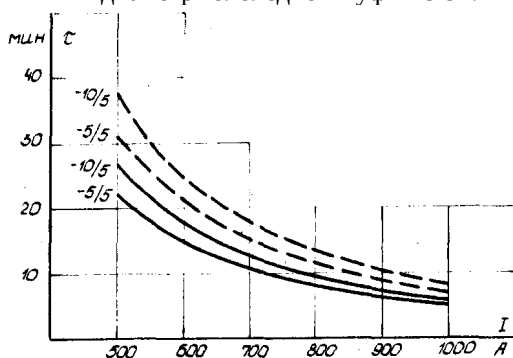


Рис. П2.51. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод АС240/39:

- диаметр изморозевой муфты 6 см;
- диаметр изморозевой муфты 8 см.

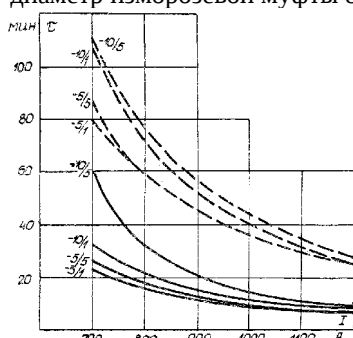


Рис. П2.52. Зависимость времени плавки гололеда от тока.

Провод АС300/48 ($\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$):

- диаметр гололедной муфты 5 см;
- диаметр гололедной муфты 9 см.

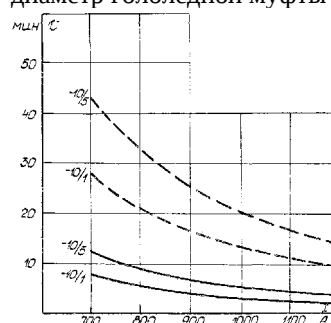


Рис. П2.53. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Провод АС300/48 ($\gamma = 0,5 \text{ г/см}^3$):

- диаметр изморозевой муфты 5 см;
- диаметр изморозевой муфты 9 см.

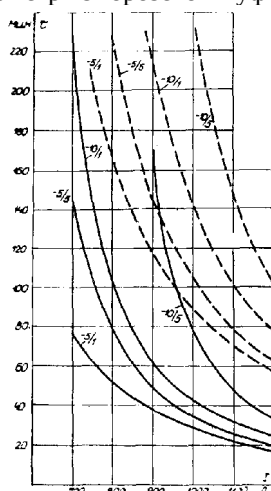


Рис. П2.54. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Провод АС300/48 ($\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$):

- диаметр изморозевой муфты 5 см;
- диаметр изморозевой муфты 11 см.

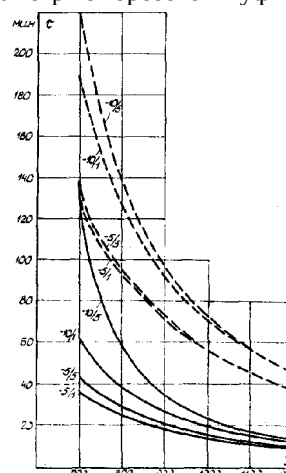


Рис. П2.55. Зависимость времени плавки гололеда от тока.

Провод АС400/51 ($\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$):

- диаметр гололедной муфты 5 см;
- диаметр гололедной муфты 9 см.

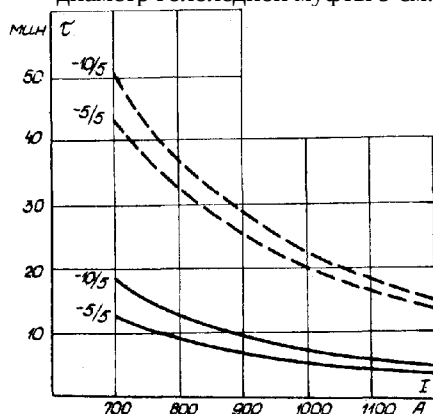


Рис. П2.56. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Провод АС400/51 ($\gamma = 0,5 \text{ г/см}^3$):

- диаметр изморозевой муфты 5 см;
- диаметр изморозевой муфты 11 см.

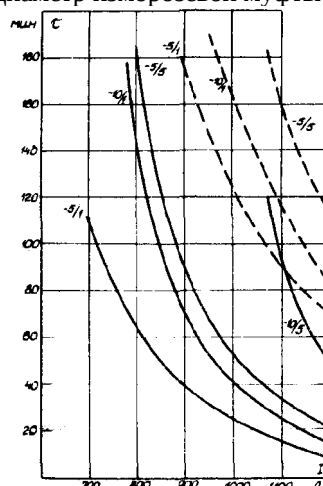


Рис. П2.57. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Рис. П2.58. Зависимость времени плавки гололеда от тока.

Провод АС400/51 ($\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр изморозевой муфты 5 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 11 см.

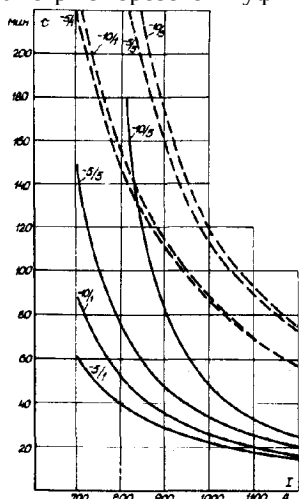


Рис. П2.59. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Провод АС500/27 ($\gamma = 0,5 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр изморозевой муфты 5 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 11 см.

Провод АС500/27 ($\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр гололедной муфты 5 см;
 --- диаметр гололедной муфты 11 см.

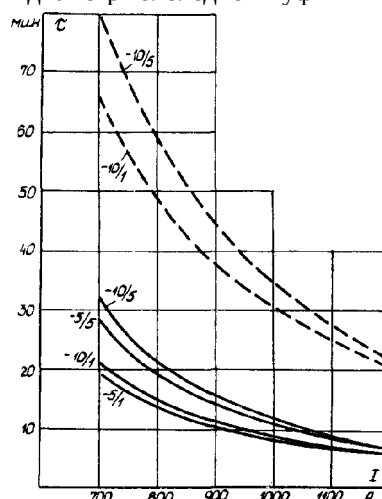


Рис. П2.60. Зависимость времени плавки изморози от тока.

Провод АС500/27 ($\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр изморозевой муфты 5 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 11 см.

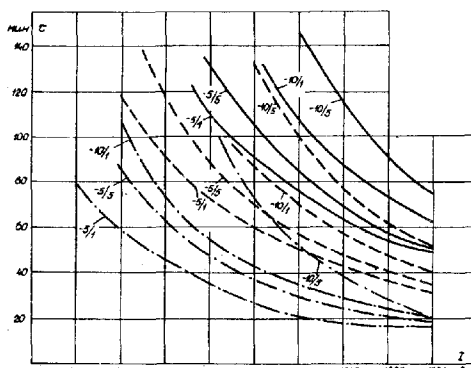


Рис. П2.61. Зависимость времени плавки гололеда от тока. Провод АС600/72 ($\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр гололедной муфты 5,3 см;
 --- диаметр гололедной муфты 7,3 см;
 - · - диаметр гололедной муфты 9,3 см.

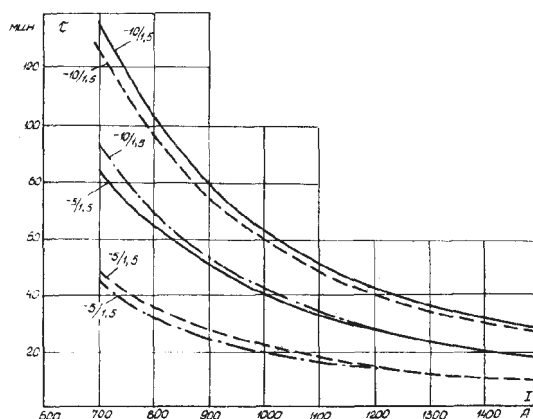


Рис. П2.62. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС0-600 ($\gamma = 0,5 \text{ г/см}^3$):
 — диаметр изморозевой муфты 9,3 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 7,3 см;
 - · - диаметр изморозевой муфты 5,3 см.

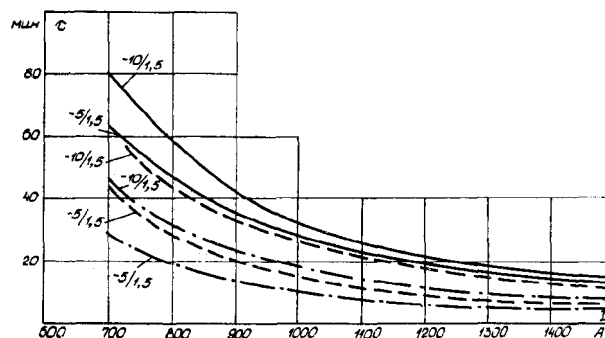


Рис. П2.59. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС500/27 ($\gamma = 0,5 \text{ г/см}^3$):

- диаметр изморозевой муфты 9,3 см;
- - диаметр изморозевой муфты 7,3 см;
- · - диаметр изморозевой муфты 5,3 см.

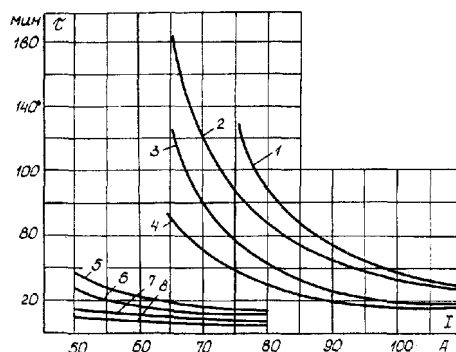


Рис. П2.64. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе сечением 35 мм²

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см ³
1	2	10	-5	0,9
2		5	-5	
3	1	10	-5	0,2
4		5	-5	
5	3	10	-10	
6		10	-5	
7	1	10	-10	
8		10	-5	

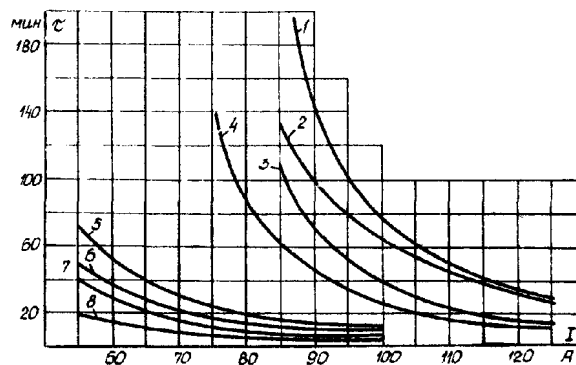


Рис. П2.65. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе С-50

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см ³
--------	-----------------------	---------------------	-----------------	---

$\frac{1}{2}$	2	$\frac{10}{5}$	$\frac{-5}{-5}$	0,9
$\frac{3}{4}$	1	$\frac{10}{5}$	$\frac{-5}{-5}$	
$\frac{5}{6}$	3	$\frac{10}{10}$	$\frac{-10}{-5}$	
$\frac{7}{8}$	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{-10}{-5}$	0,2

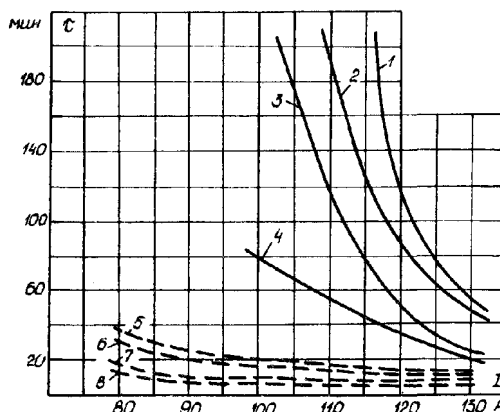


Рис. П2.66. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе С-70

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см ³
$\frac{1}{2}$	2	$\frac{10}{5}$	$\frac{-5}{-5}$	0,9
$\frac{3}{4}$	1	$\frac{10}{5}$	$\frac{-5}{-5}$	
$\frac{5}{6}$	3	$\frac{10}{10}$	$\frac{-10}{-5}$	
$\frac{7}{8}$	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{-10}{-5}$	0,2

Приложение 3

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА ПЛАВКИ В ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ КЗ

Для плавки гололеда на линиях, где токи КЗ превышают длительно допустимые по условию нагрева проводов, используется способ плавки большими токами в повторно-кратковременном режиме, характеризуемом чередованием периода протекания тока (рабочий период) с бестоковыми паузами. Расчет плавки гололеда в этом случае отличается от расчета длительного режима плавки.

При использовании этого метода необходимо руководствоваться следующим:

1. Максимально допустимая температура нагрева провода на участках, свободных от гололеда при температурах воздуха -5°C и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с п. 2.4 настоящих Руководящих указаний.

При более высокой температуре воздуха и меньшей скорости ветра в качестве максимально допустимой принимается температура провода на 10°C ниже.

2. В соответствии с выбранной схемой определяется ток плавки.

3. По кривым рис. ПЗ.1-ПЗ.32 для определенного тока плавки и максимально допустимой температуры нагрева провода определяется продолжительность нагрева τ_p (рабочий период) провода до максимально допустимой температуры.

4. Суммарное время плавки τ (с) определяется по формуле:

$$\tau = \frac{36,4\gamma d(b + 0,265d)10^3 + 164\gamma(D^2 - d^2)t + \sum C\gamma_n S(20 + t)}{I^2 R_{20} - (0,09D + 1,1\sqrt{vd})t_2},$$

где γ - объемный вес льда, г/см³;

d - диаметр провода без гололеда, см;

b - толщина стенки гололеда, см;

D - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;

t - абсолютное значение температуры воздуха, °C;

C - теплоемкость материала провода, Вт·с/(г·°C) (для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38);

γ_n - объемный вес материала провода, г/см³;

S - сечение провода, см²;

I - ток плавки, А;

R_{20} - сопротивление 1 м провода при температуре 20 °C, Ом;

v - скорость ветра, м/с.

5. Число циклов, необходимых для плавки:

$$n = 1,2 \frac{\tau}{\tau_p}.$$

Полученное значение n округляется до целого числа в большую сторону. Коэффициент 1,2 учитывает возможности изменения погодных условий по трассе, отличия фактического сопротивления проводов от расчетного и погрешности при определении плотности и размеров гололеда.

6. Бестоковая пауза для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов сечением 25 и 35 мм и для проводов ПС-25 принимается равной 3 мин, сечением 50 и 70 мм² и для проводов ПС-35-4 мин, для проводов сечением 95 мм и более - 5 мин.

Если плавка производится при безветрии, время бестоковой паузы для всех марок проводов принимается равным 10 мин.

Увеличение бестоковой паузы сверх рекомендованного нежелательно, так как это приводит к увеличению продолжительности плавки из-за чрезмерного охлаждения провода и гололедной муфты.

В течение всей плавки рабочий период плавки и продолжительность пауз не должны изменяться.

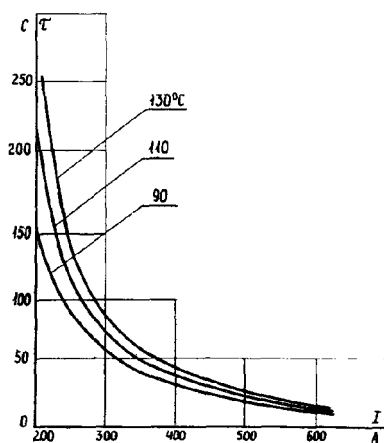


Рис. ПЗ.1. Зависимость нагрева провода АС25/4,2 от режима плавки

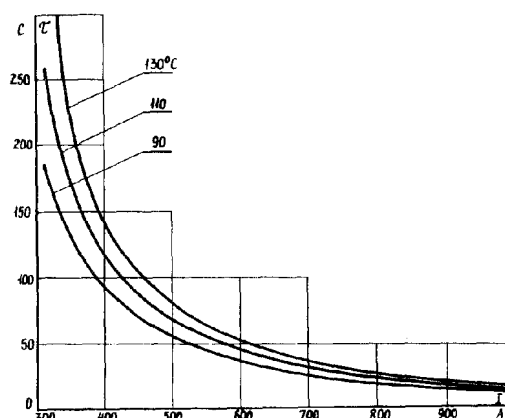


Рис. ПЗ.2. Зависимость нагрева провода АС35/6,2 от режима плавки

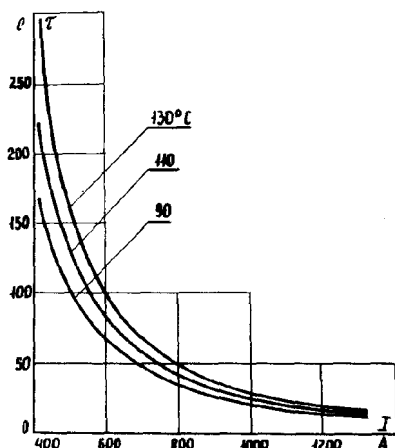


Рис. ПЗ.3. Зависимость нагрева провода AC50/8,0 от режима плавки

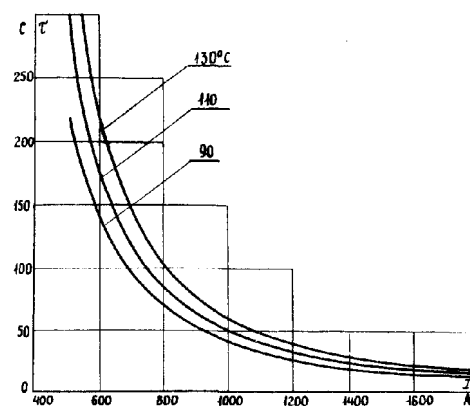


Рис. ПЗ.4. Зависимость нагрева провода AC70/11 от режима плавки

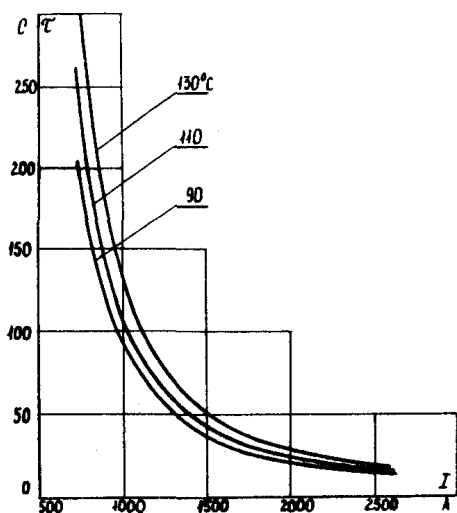


Рис. ПЗ.5. Зависимость нагрева провода AC95/16 от режима плавки

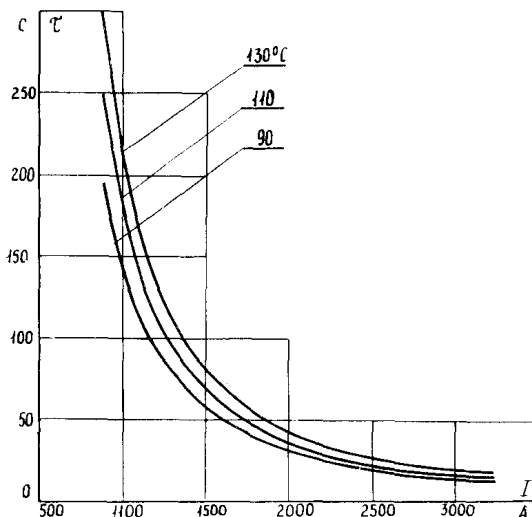


Рис. ПЗ.6. Зависимость нагрева провода AC120/19 от режима плавки

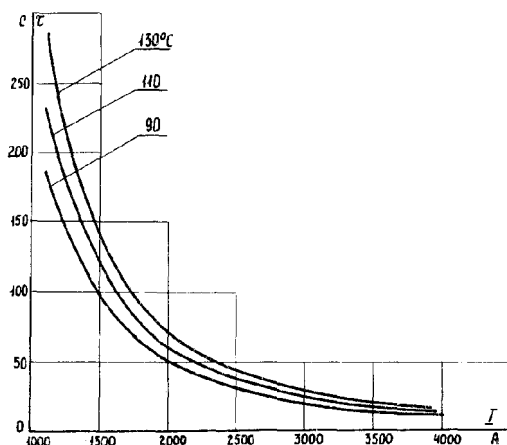


Рис. ПЗ.7. Зависимость нагрева провода AC150/24 от режима плавки

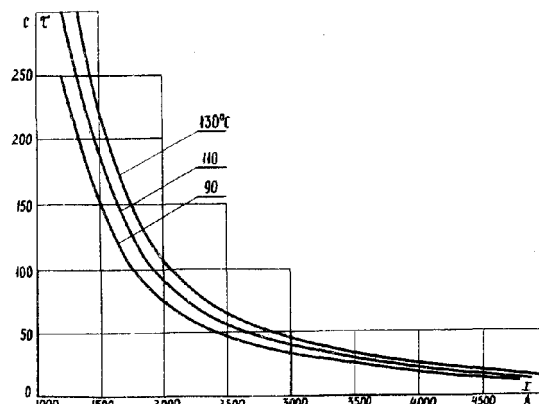


Рис. ПЗ.8. Зависимость нагрева провода AC185/29 от режима плавки

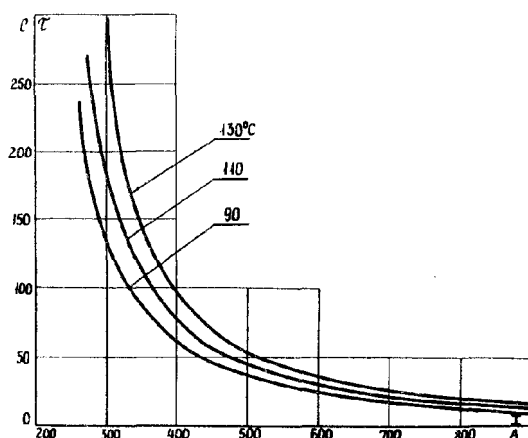


Рис. ПЗ.9. Зависимость нагрева провода А35 от режима плавки

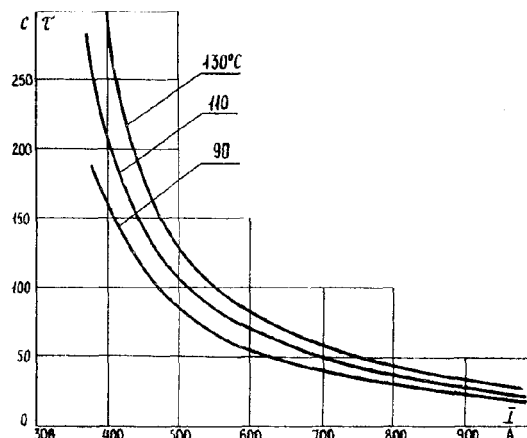


Рис. ПЗ.10. Зависимость нагрева провода А50 от режима плавки

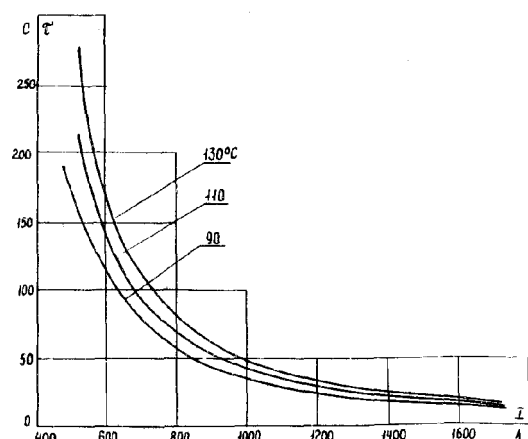


Рис. ПЗ.11. Зависимость нагрева провода А70 от режима плавки

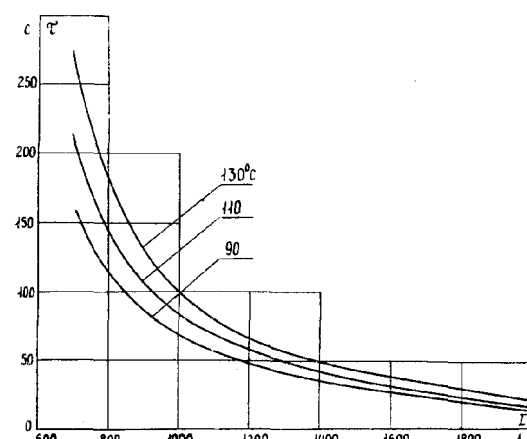


Рис. ПЗ.12. Зависимость нагрева провода А95 от режима плавки

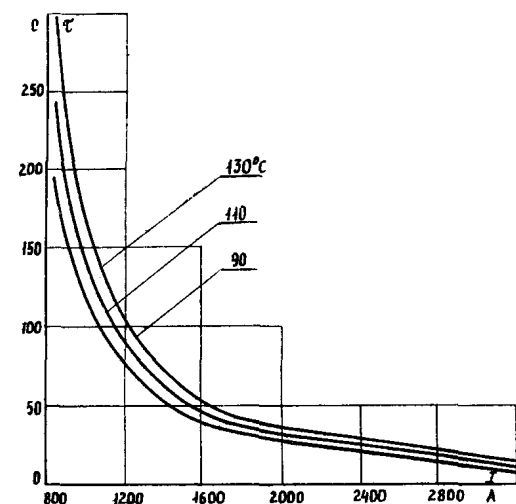


Рис. ПЗ.13. Зависимость нагрева провода А120 от режима плавки

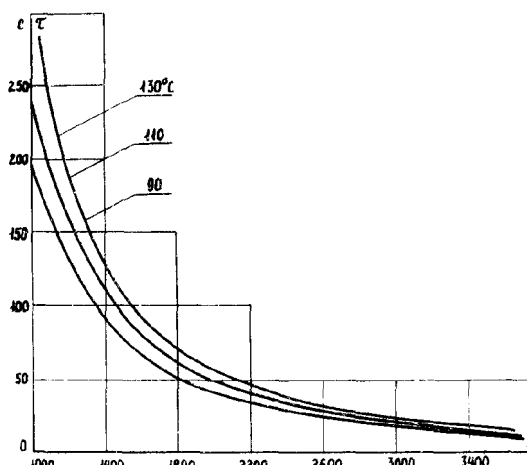


Рис. ПЗ.14. Зависимость нагрева провода А150 от режима плавки

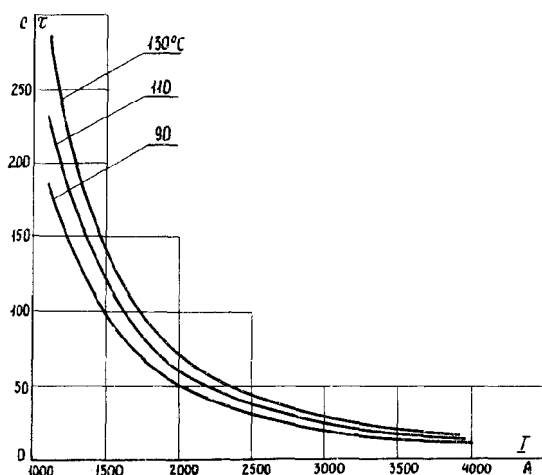


Рис. ПЗ.15. Зависимость нагрева провода М35 от режима плавки

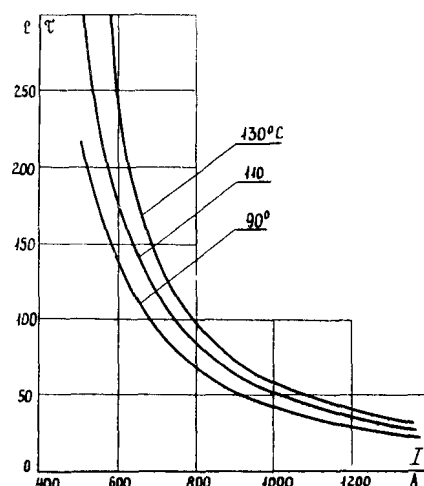


Рис. ПЗ.16. Зависимость нагрева провода М150 от режима плавки

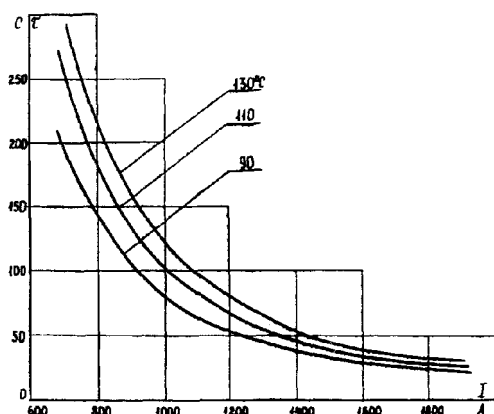


Рис. П.17. Зависимость нагрева провода М70 от режима плавки

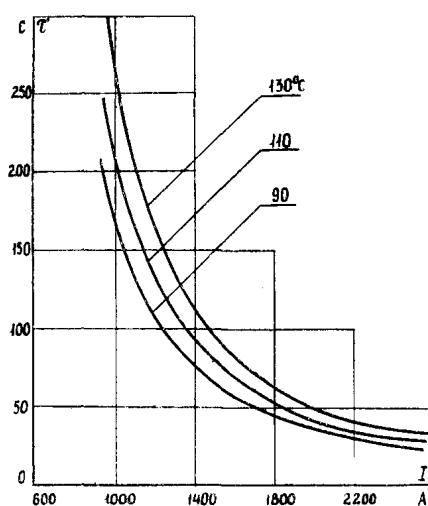


Рис. ПЗ.18. Зависимость нагрева проводе М95 от режима плавки

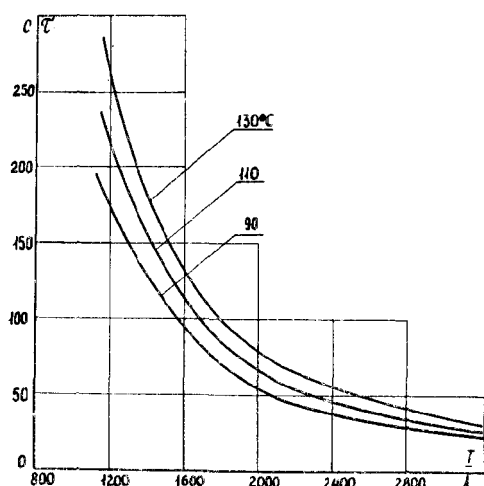


Рис. ПЗ.19. Зависимость нагрева провода М120 от режима плавки

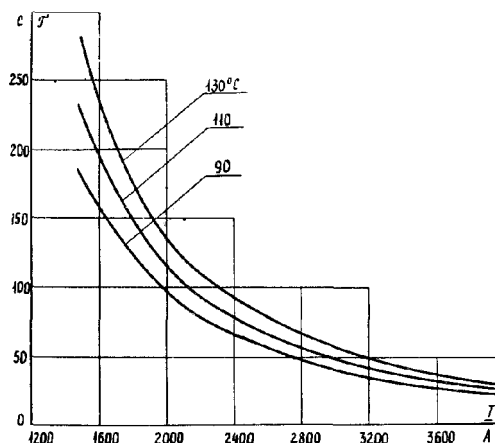


Рис. ПЗ.20. Зависимость нагрева провода М150 от режима плавки

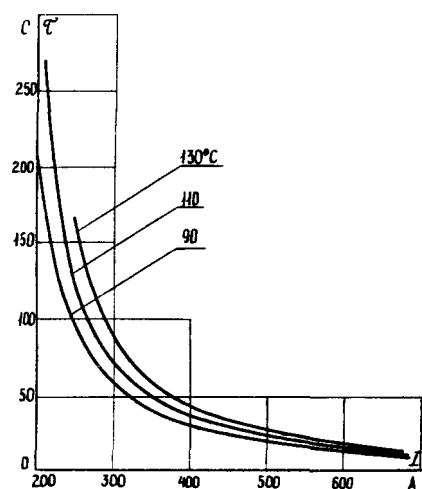


Рис. ПЗ.21. Зависимость нагрева провода АН25 от режима плавки

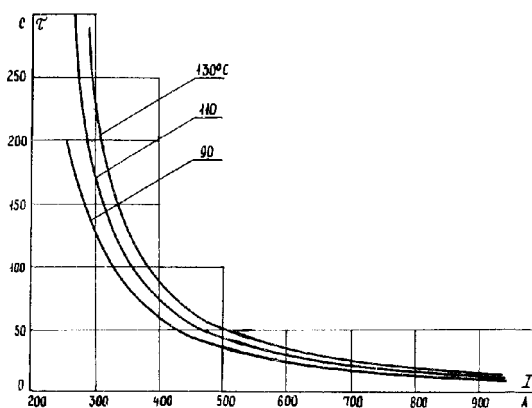


Рис. ПЗ.22. Зависимость нагрева провода АН35 от режима плавки

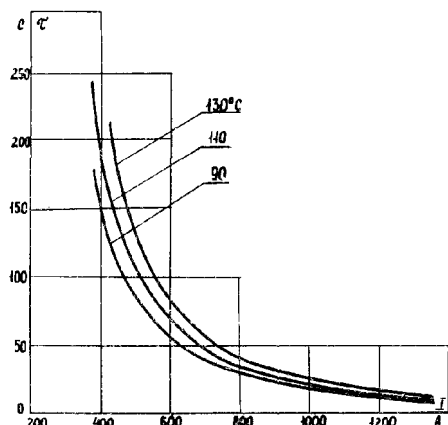


Рис. ПЗ.23. Зависимость нагрева провода АН50 от режима плавки

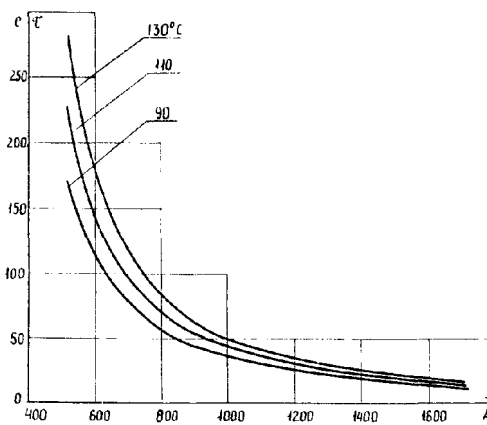


Рис. ПЗ.24. Зависимость нагрева провода АН70 от режима плавки

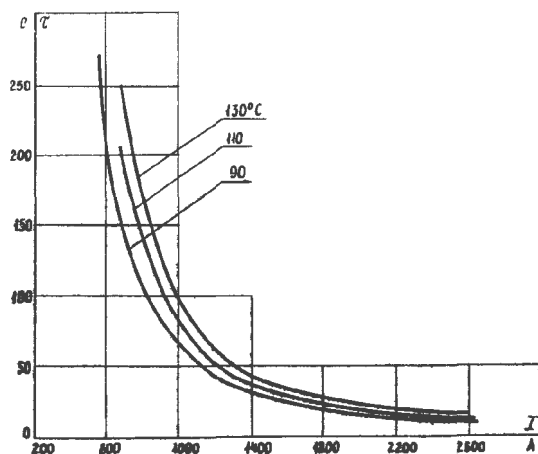


Рис. ПЗ.25. Зависимость нагрева провода АН95 от режима плавки

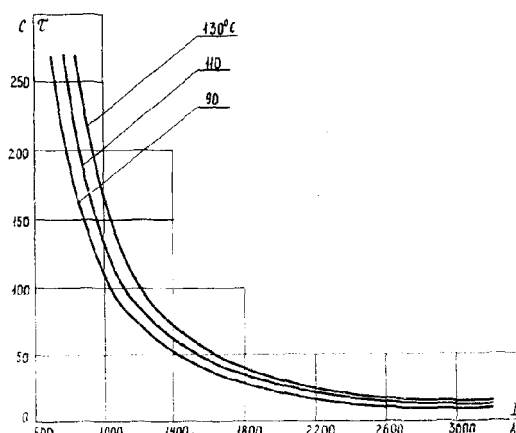


Рис. ПЗ.26. Зависимость нагрева провода АН120 от режима плавки

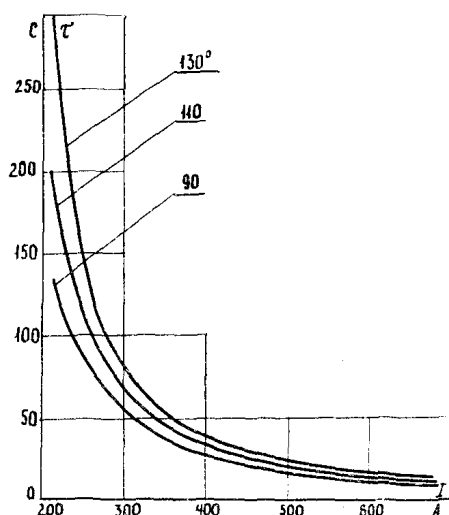


Рис. ПЗ.27. Зависимость нагрева провода АЖ23 от режима плавки

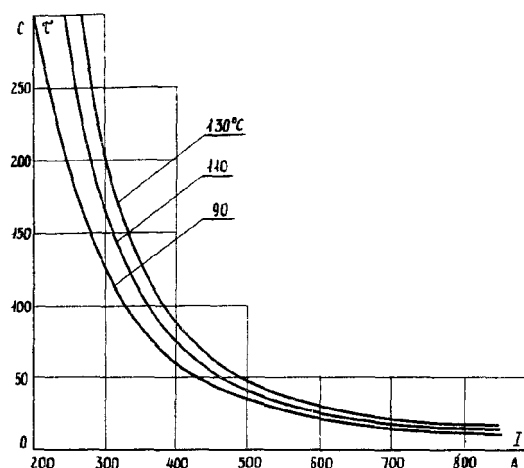


Рис. ПЗ.28. Зависимость нагрева провода АЖ35 от режима плавки

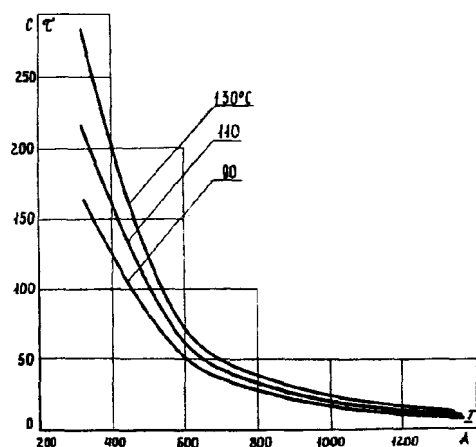


Рис. ПЗ.29. Зависимость нагрева провода АЖ50 от режима плавки

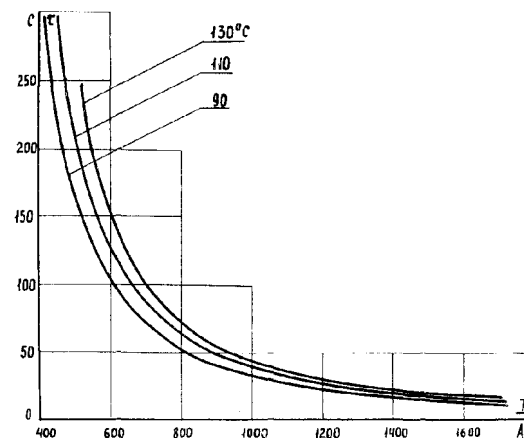


Рис. ПЗ.30. Зависимость нагрева провода АЖ70 от режима плавки

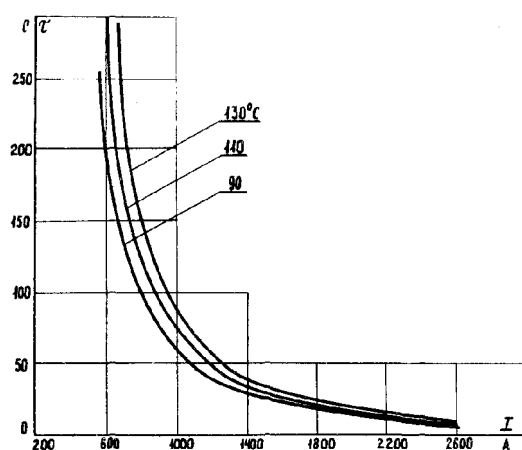


Рис. ПЗ.31. Зависимость нагрева провода АЖ95 от режима плавки

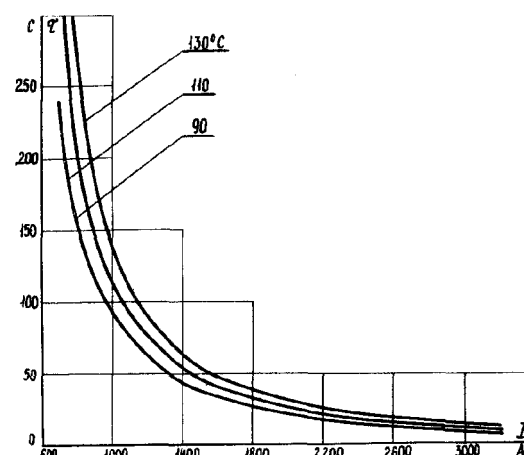


Рис. ПЗ.32. Зависимость нагрева провода АЖ120 от режима плавки

ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА И ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ОДНОСТОРОННЕГО ГОЛОЛЕДА

Цифры у кривых означают: в числителе - температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), в знаменателе - скорость ветра (м/с).

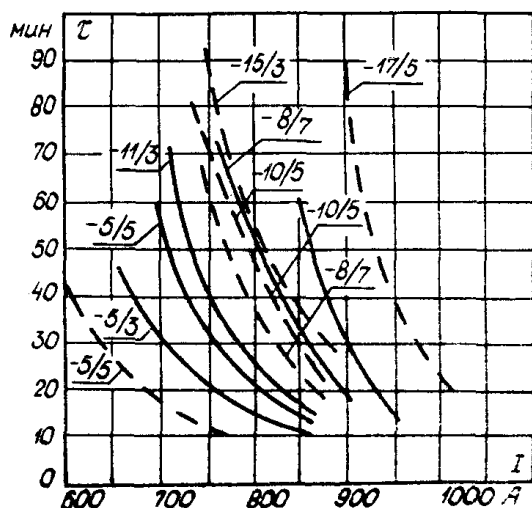


Рис. П4.1. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда на проводах АС240/39:

— толщина стенки 3 см;
- - - толщина стенки 1 см.

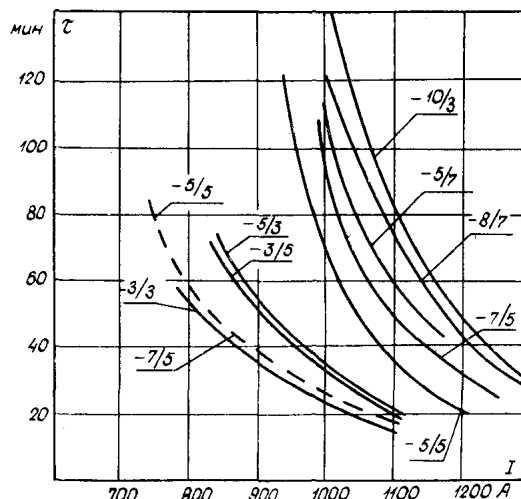


Рис. П4.2. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда на проводах АС500/27:

— односторонний гололед с толщиной стенки 3 см;
- - - односторонний гололед с толщиной покрытый снегом

Приложение 5

ЗАВИСИМОСТИ ТОКА В ПРОВОДАХ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЮ ГОЛОЛЕДА

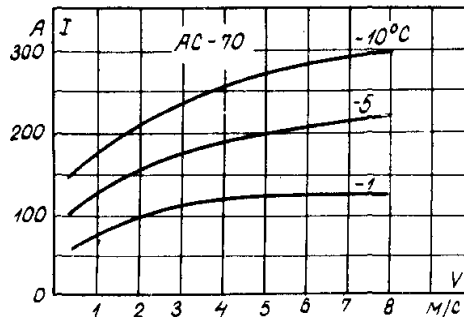
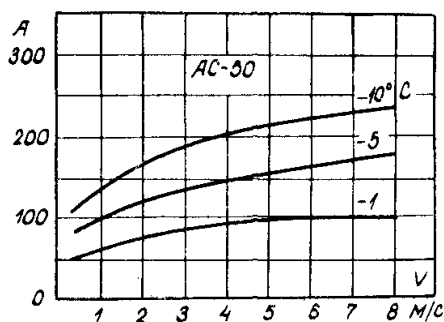


Рис. П5.1. Токи в проводах АС50/8,0 и АС70/11, препятствующие образованию гололеда

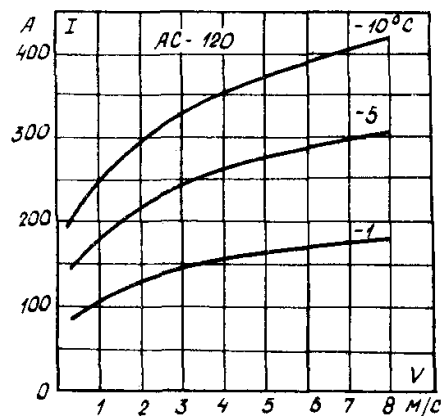
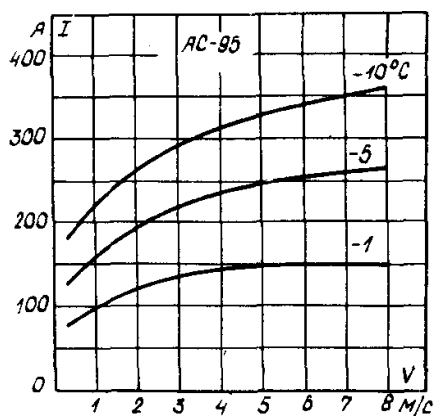


Рис. П5.2. Токи в проводах AC96/16 и AC120/19, препятствующие образованию гололеда

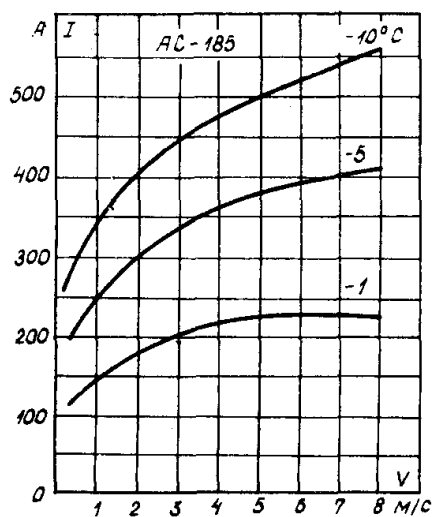
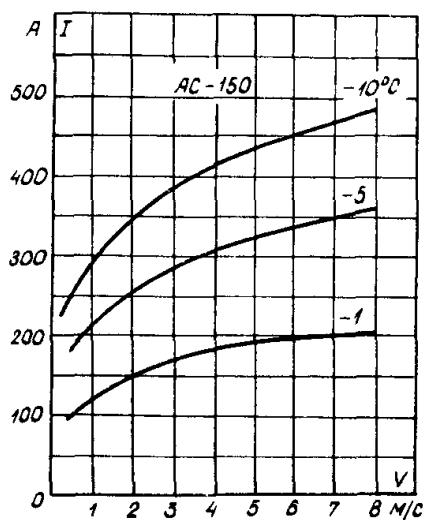


Рис. П5.3. Токи в проводах AC150/24 и AC125/29, препятствующие образованию гололеда

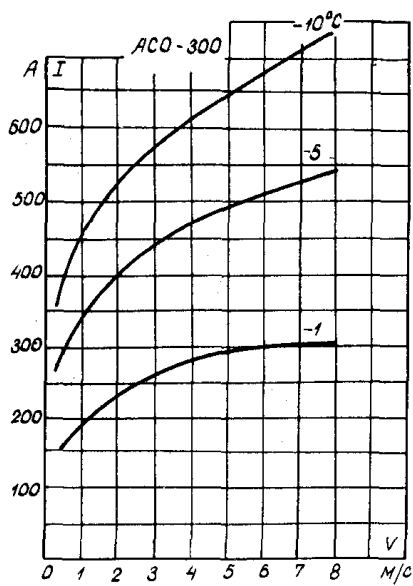
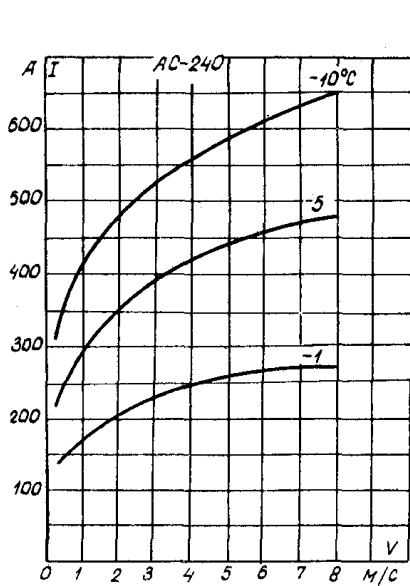


Рис. П5.4. Токи в проводах AC240/39 и AC300/48, препятствующие образованию гололеда

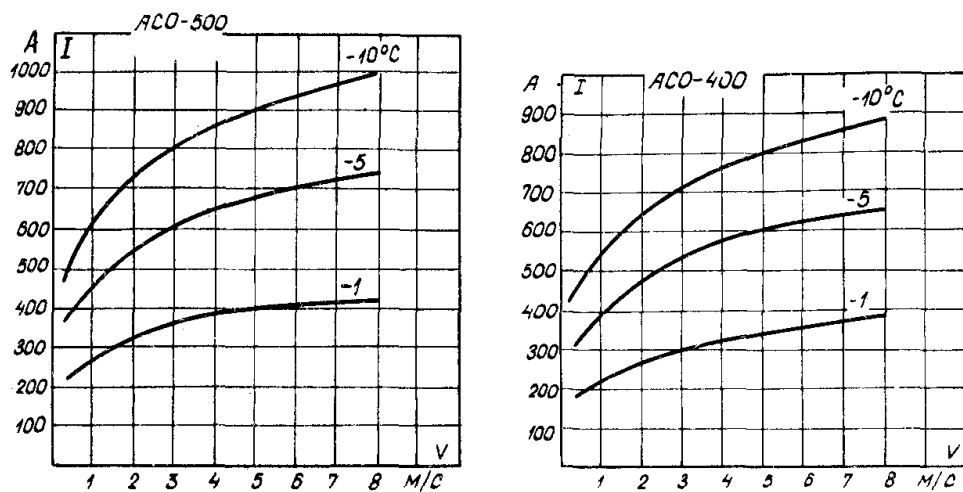


Рис. П5.5. Токи в проводах АС400/51 и АС500/27, препятствующие образованию гололеда

Приложение 6

СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

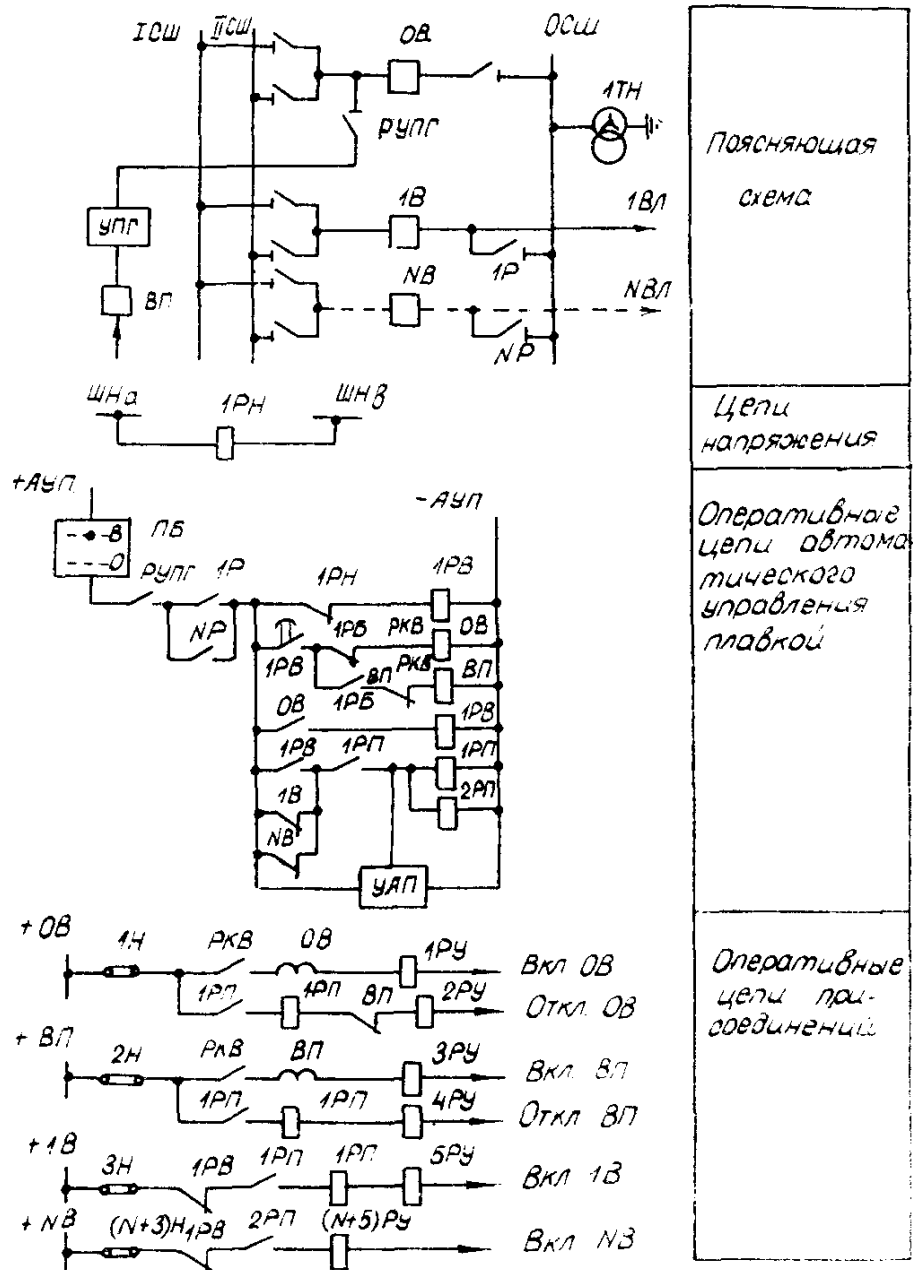


Рис. П6.1. Схема автоматического управления плавкой на подстанции с УПГ

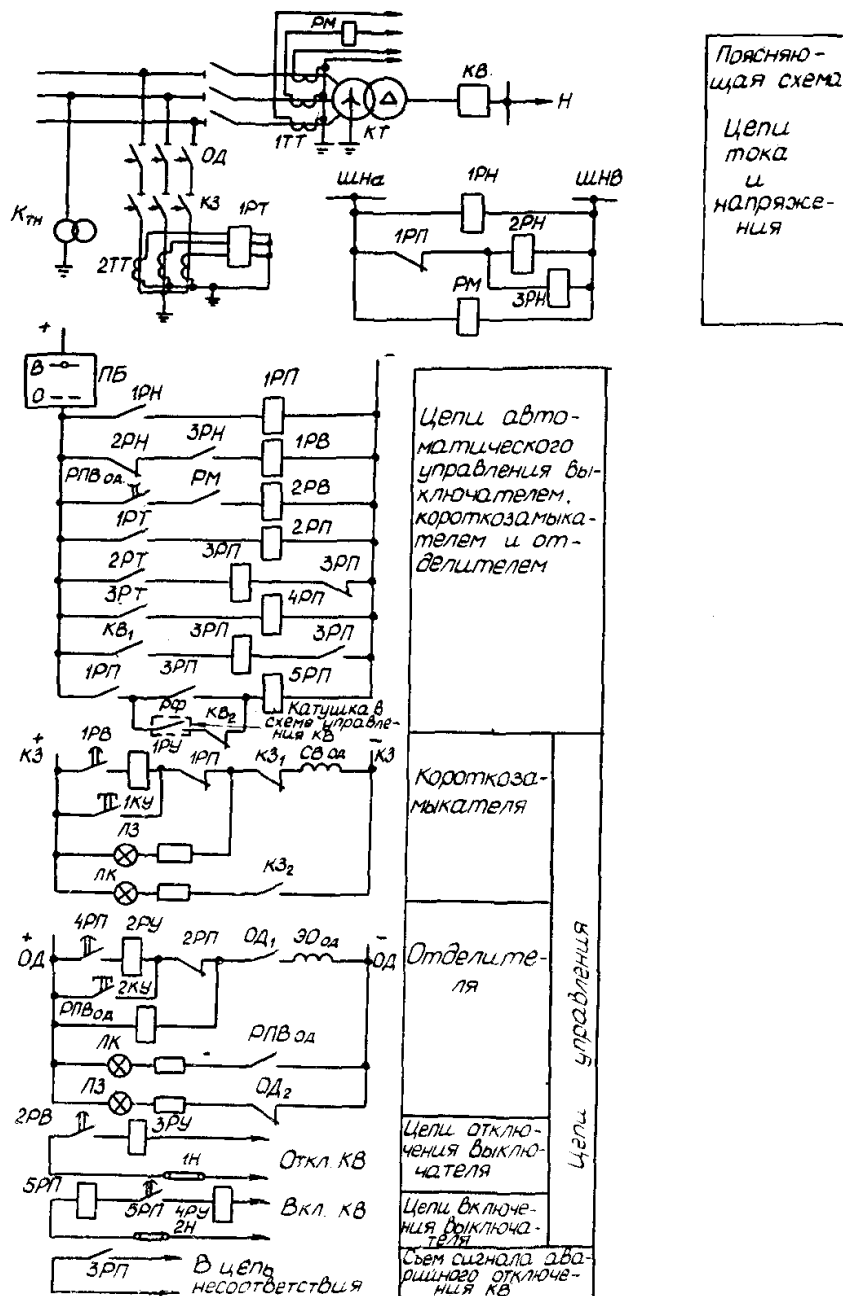


Рис. П6.2. Схема автоматики оконечной подстанции при плавке гололеда переменным током

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

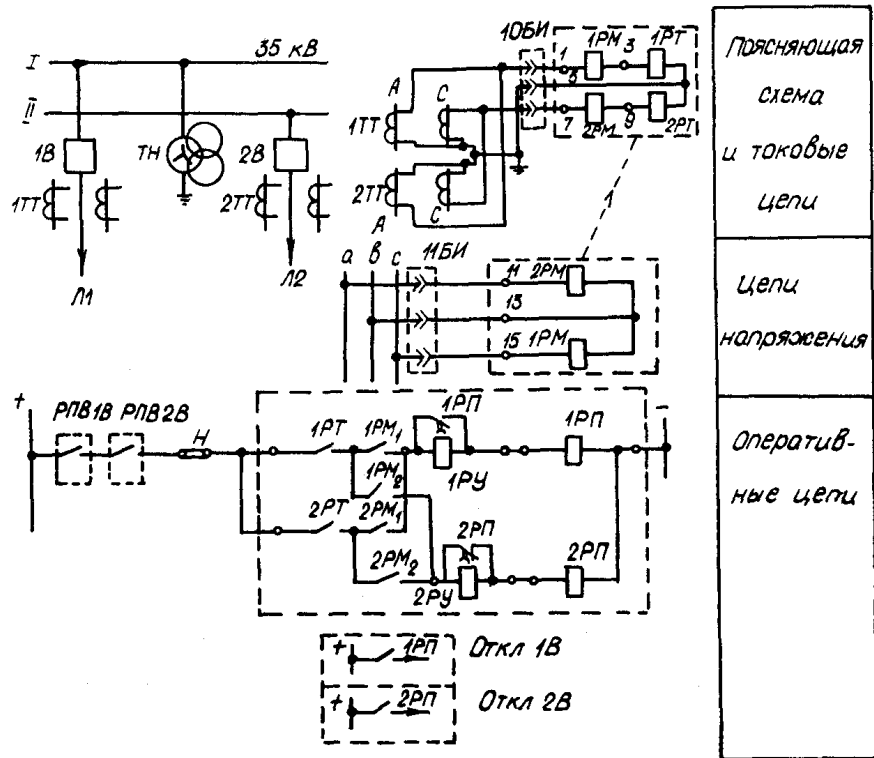
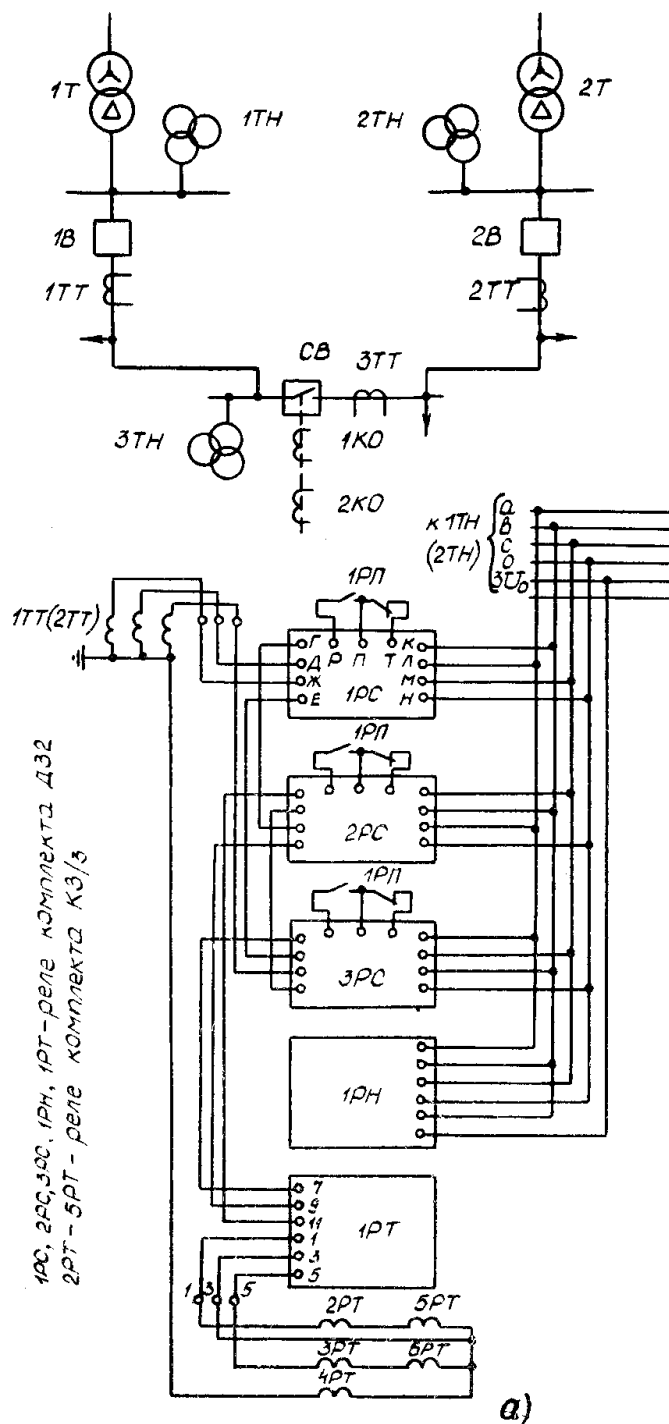


Рис. П7.1. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на П/3, размещенных на одной подстанции:
1РТ, 2РТ - реле тока РТ40; 1РМ, 2РМ - реле мощности РБ/1271; 1РП, 2РП - промежуточное реле РП261 (220В); 1РУ, 2РУ - указательное реле РУ21/0,025 (0,025А);
10БИ, МБИ - испытательный блок БИ-4; М - отключающее устройство НКР2.



1PC, 2PC, 3PC, 1PH, 1PT - реле комплекта ДЗ2
2PT - 5PT - реле комплекта КЗ/3

Двухступенчатая направленная дистанционная защита

Блокировка от обрыва цепей напряжения

Трехфазное реле тока

Двухступенчатая токовая защита и реле нулевой последовательности

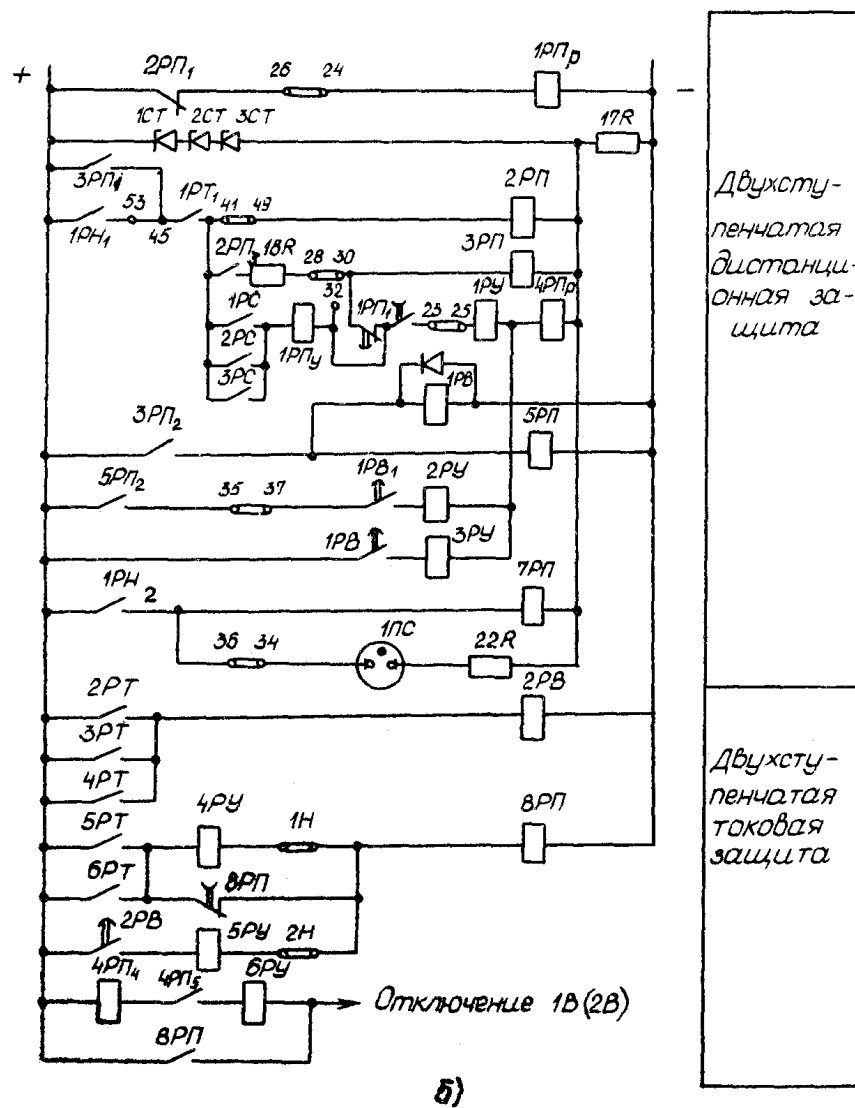


Рис. П7.2. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на П/3:
 а - поясняющая схема, цепи тока и напряжения; б - оперативные цепи.

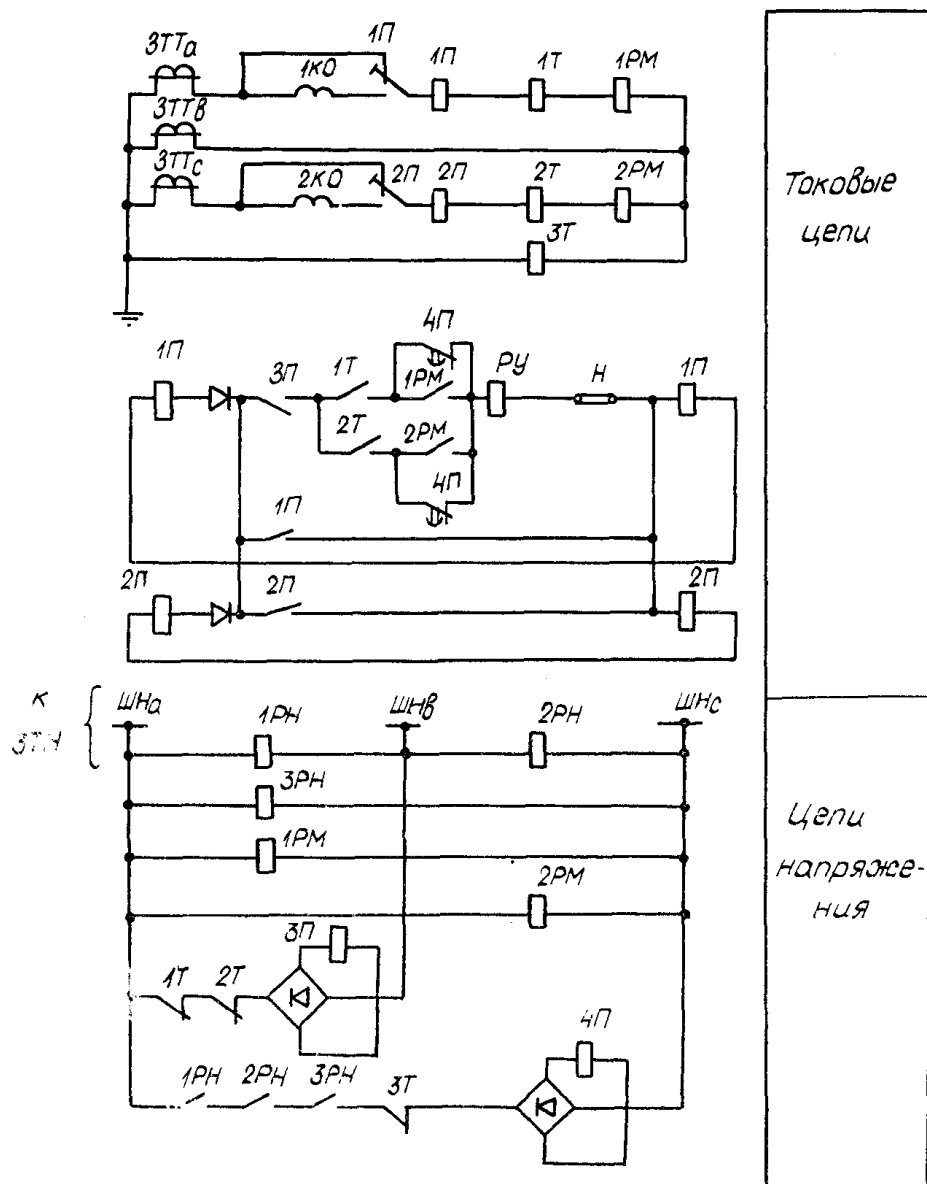


Рис. П7.3. Схема направленной токовой защиты и отсечки по напряжению на секционирующем выключателе при плавке гололеда переменным током на кольцевой ВЛ-10-35 кВ:

1Т, 2Т, 3Т - реле тока РТ-40; 1РН, 2РН - реле напряжения РН54; 1РМ, 2РМ - реле мощности РБМ-275/1; 1П, 2П - реле промежуточное РП341; 3П, 4П - реле РП256; РУ - реле указательное РУ21/0,05.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения
2. Расчетный ток в время плавки гололеда на проводах и тросах линий электропередачи
3. Источники питания при плавке гололеда переменным током
 - Подстанции с регулированием напряжения посредством изменения коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов
 - Подстанции с регулированием напряжения посредством линейных регулировочных трансформаторов
 - Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор
 - Подстанции с шунтирующими реакторами
4. Схемы, расчет режимов работы и зоны применения плавки гололеда переменным током на проводах
 - Плавка гололеда коротким замыканием

Плавка гололеда уравнительными токами
Плавка гололеда перераспределением нагрузок
Плавка гололеда наложением токов
5. Источники питания схем плавки гололеда постоянным током
Подстанции с регулированием напряжения посредством изменения коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов
Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор
Подстанции с шунтирующими конденсаторными батареями
6. Схемы, расчет режимов и зоны применения плавки гололеда постоянным током
Плавка от преобразователя, подключенного к шинам 6-10 кВ или к трансформатору
Плавка от установок с блоком автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор
7. Схемы, расчеты режимов и области применения плавки гололеда на тросах
8. Работа оборудования электрической сети
Изоляция электрической сети
Провода и тросы
Перегрузочная способность оборудования
Приложение 1. Сопротивления проводов и допустимые токи плавки гололеда
Приложение 2. Зависимость времени плавки гололеда и изморози от значения тока для различных марок проводов
Приложение 3. Методика расчета режима плавки в повторно-кратковременном режиме КЗ
Приложение 4. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда
Приложение 5. Зависимости тока в проводах различных марок, препятствующие образованию гололеда
Приложение 6. Схемы автоматического управления плавкой гололеда переменным током
Приложение 7. Схемы релейной защиты кольцевой сети при плавке гололеда переменным током