МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

Часть I

(РД 34.20.511
СО 153-34.20.511)

gost.e-ecolog.ru

Р А З Р А Б О Т А Н Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики (ВНИИЭ) и Львовским ордена Ленина политехническим институтом

С О С Т А В И Т Е Л И В.В.БУРГСДОРФ, Л.Г.НИКИТИНА (ВНИИЭ), Л.А.НИКОНЕЦ, П.Р.ХРУЩ (ЛПИ)

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем

Заместитель начальника К.М.АНТИПОВ

Главниипроектом

Главный инженер В.К.ГУСЕВ

© СПО Союзтехэнерго, 1983.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

. [illegible]щие поло[illegible]ия 5

. [illegible]етный [illegible] и в[illegible]мя плавки гололеда на проводах [illegible]росат[illegible]ий электропередачи ..... [illegible]

[illegible]ники питания при плавке гололеда переме[illegible] [illegible]ком 13

[illegible]дстанции [illegible] регулированием напряжения посредст-вом из[illegible]нения коэффициента трансформации транс-форматоров и автотрансформаторов 14

Подстанци[illegible] с регулированием напряжения посредст-[illegible] линей[illegible]х регулировочных трансформаторов 14

[illegible]дстанции с блоками автотрансформатор-вольтодо-бавочный трансформатор 15

Подстанции с шунтирующими реакторами 16

4. Схемы, расчет режимов работы и зоны применения [illegible]лавки гололеда переменным током на проводах 16

Плавк[illegible] гололеда коротким замыканием 16

Плавк[illegible] гололеда [illegible]равнительными токами ..... 1[illegible]

[illegible]авке гололеда перераспределением нагрузок 22

[illegible]вка гололеда наложением токов 23

[illegible] [illegible]итания схем плавки гололеда постоянным [illegible] 24

[illegible]танци[illegible] [illegible] регулированием напряжения посредст-[illegible] [illegible]ния [illegible]оэффициента трансформации транс-[illegible]матор[illegible] и [illegible]тотрансформаторов 24

[illegible] с [illegible]ами автотрансформатор-вольтодо-[illegible] [illegible]тор 26

[illegible]дстан[illegible] с шу[illegible]тирующими конденсаторными бата-[illegible]ями 26

[illegible]ы, рас[illegible]ет [illegible]ежимов и зоны применения плавки [illegible]лоледа пост[illegible]ным током 26

[illegible] от [illegible]зователя, подключенного к шинам [illegible] В [illegible]сформатору 26

[illegible]ка от установок с блоком автотрансформатор-[illegible]тодобавочный трансформатор 27

7. Схемы, расчеты режимов и области применения плавки гололеда на тросах 2
8. Работа оборудования электрической сети 3
Изоляция электрической сети ....
Провода и тросы 4
Перегрузочная способность оборудования ....
Приложение I. Сопротивления проводов и допустимые токи плавки гололеда 32
Приложение 2. Зависимость времени ... гололеда и изморози от значения тока для различных марок проводов 4
Приложение 3. Методика расчета режимов плавки в повторно-кратковременном режиме КЗ 6
Приложение 4. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда 35
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 контактной сети при плавке гололеда переменным током .

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ. Часть I

МУ 34-70-027-82

Срок действия установлен
с 01.01.83 г.
до 01.01.90 г.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Отложение гололеда, изморози и мокрого снега[1] представляет большую опасность для нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛ).

I.2. Отложения гололеда могут вызвать:

а) разрегулировку проводов и тросов и их сближение между со-

б) сближение проводов и тросов при их подскоке вследствие [illegible] сброса гололеда;

[illegible] проводов;

[illegible] проводов и тросов;

[illegible] опор;

перекрытие линейной изоляции ВЛ при таянии вследствие значительного снижения [illegible] разрядных характеристик изоляторов по сравнению с [illegible] разрядными характеристиками, по которым обычно выбирается [illegible] уровень линейной изоляции.

[illegible] более эффективным средством борьбы с гололедом [illegible] гололеда. [illegible] позволяет в короткий срок удалить гололед.

[illegible] проектировании ВЛ, трассы которых проходят 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

---

[1] В дальнейшем все виды гололедно-изморозевых образований именуются гололедом.

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.

I.5. Источники питания схем плавки гололеда должны быть размещены на наиболее крупных узловых подстанциях энергосистемы из числа расположенных в сильногололедных районах. Разработка проектов установок плавки гололеда (УПГ) и схем плавки должна производиться одновременно.

I.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.

I.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.

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

I.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 неодновременном сбросе гололеда.

I.IO. 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 I5 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.

I.II. Как правило, схема плавки гололеда должна вводиться в работу не позднее, чем за I,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.

I.I2. 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.

I.I3. 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 обусловливать 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.I. 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.I);
- приближением во время плавки провода к земле или пересекаемым объектам.

Таблица 2.I

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	I20
Медные	90	I20

Окончание таблицы 2.I

Провода	Допустимая температура нагрева проводов, °С	
	Длительный режим	Повторно-кратковременный режим
леалюминиевые	[illegible]	I30
з алюминиевого сплава АЖ,АН	80	I00

На время плавки гололеда с учетом ее кратковременности допу- мые расстояния между проводами и землей или пересекаемым объ- е приведены в табл.2.2 и 2.3.

Таблица 2.2

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

пересекаемый ВЛ	Расстояние до объекта, м, для ВЛ напряжением, кВ			
	35-II0	220	330	500
[illegible]:				
[illegible]ная местность	5	6	7	7
[illegible]ная местность	6	7	6,5	[illegible]
[illegible] связи	2	3	4	4
[illegible] дороги широкой колеи	6,5	7,5	8	[illegible],5
[illegible] дороги	6,0	7	7,5	8
[illegible]вода трамвайных [illegible]йбусных 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	I00	I20	I50
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 I50-220 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-II0 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 I0 кВ между собой и с ВЛ более низкого напряжения						
До I00	I	I	-	-	-	-
I50	I	I,5	I,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 ... гидрометеорологических станций или гололедных постов на участках со ... гололедом или в местах, где он не образуется в момент проведения плавки гололеда.

Определение наибольших допустимых токов плавки может быть произведено по формуле:

$$I_{max} = \left\{7{,}24\left[\frac{273+0{,}5(t_{доп}+t)}{1000}\right]^3 \varepsilon d + 0{,}16\, d^{0{,}75}(t_{доп}-t)^{0{,}3}\right\}(t_{доп}-t) \qquad (2.1)$$

$$I_{max} = \left\{7{,}24\left[\frac{273+0{,}5(t_{доп}+t)}{1000}\right]^3 \varepsilon d + 1{,}1\sqrt{v\cdot d}\right\}(t_{доп}-t), \qquad (2.2)$$

где I_{max} - наибольший допустимый ток плавки, А;

$R_{t\,доп}$ - сопротивление I м провода или троса при допустимой температуре провода, Ом (см.табл.III.I);

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);

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

t - температура воздуха, °С;

v - скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погоды со скоростью ветра менее 0 м/с; вторая - со скоростью ветра более I,0 м/с. В табл.III.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:

$$I_n = \frac{\Delta t}{R_{T0}+R_{T1}}\sqrt{10\gamma_r d b + \frac{0{,}05\gamma_r D^2}{R_{T0}+R_{T1}}\left(R_{T1}+0{,}22\frac{R_{T0}}{\lg\frac{D}{d}}\right)\Delta t + \Sigma c\gamma_n S_\Delta t}, \qquad (2.3)$$

где I_n - ток плавки, А;

ρ - сопротивление I м провода или троса при 0°С, Ом;

τ - время плавки, ч;

Δt - разность между температурой провода и воздуха, ^{o}C;

$\gamma_г$ - объемный вес гололеда, г/см^3;

b - толщина стенки гололеда, см;

d - диаметр провода, см;

D - внешний диаметр провода с гололедом, см;

$R_{то}$ - тепловое сопротивление I м гололедного цилиндра при переходе от внутренней к наружной поверхности, $\frac{м^{o}C}{Вт}$;

$$R_{то}=\frac{\ell g\frac{D}{d}}{273\lambda}, \qquad (2.4)$$

$R_{тi}$ - тепловое сопротивление при переходе с I м длины наружной поверхности обледенелого провода в воздуже, $\frac{м^{o}C}{Вт}$;

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

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

λ - коэффициент теплопроводности, для льда принимается равным $2{,}27\cdot10^{-2}$, а для изморози подсчитывается по формуле

$$\lambda=(2{,}1+42\gamma_г+216\gamma_г^3)\,10^{-4}, \qquad Вт/см^{o}C, \qquad (2.7)$$

C - теплоемкость материала провода Вт·с/(г.^{o}C) для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38;

$\gamma_п$ - объемный вес материала провода, г/см^3;

S - сечение провода, см^2.

В приложении 2 приведены графики зависимости тока и времени плавки гололеда, пользуясь которыми можно определить требуемые значения токов при различной длительности плавки для характерных 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 ХЭ приведена в приложении 3.

2.7. Учитывая возможное изменение погодных условий и погрешности в определении размеров, плотности гололеда и сопротивле-

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 пляски 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°С. При температуре воздуха около нуля и ветрах со скоростью 1-2 м/с, характерных для большинства случаев обледенения, профилактический нагрев может применяться успешно. При скоростях ветра более 3-4 м/с и температурах ниже -5°С 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°С.

В приложении 4 приведены кривые токов для профилактического нагрева проводов при различных температурах воздуха и скоростях

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.I. 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 IВ (рис.I).

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 короткозамыкатель и отделитель, соединенные по схеме рис.3.

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

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.

Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор

3.4. Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор (АТ-ВДТ) позволяют получить источник плавки гололеда с регулированием тока плавки от нуля до номинального значения, что существенно расширяет диапазон длин обогреваемых ВЛ. Для этого собирается схема (рис.5), в которой возбуждающая обмотка (ВО) вольтодобавочного трансформатора, соединенная треугольником, отключена от ввода НН автотрансформатора и к ней присоединены провода обогреваемой ВЛ, закороченные на противоположном конце ВЛ. Регулировочная обмотка (РО) вольтодобавочного трансформатора остается подключенной к нейтральным выводам АТ. Отключение ВО вольтодобавочного трансформатора от ввода НН автотрансформатора должно производиться только при нулевом напряжении на РО вольтодобавочного трансформатора. В такой схеме при включении в работу РО вольтодобавочного трансформатора и наличии перетока нагрузки через АТ от обмотки ВН к обмотке СН ток его общей обмотки протекает также через РО вольтодобавочного трансформатора и наводит ток в возбуждающей обмотке. Этот наведенный ток замыкается по проводам обогреваемой ВЛ. Поскольку выделяемая в проводах мощность, как правило, в несколько раз меньше мощности перетока через АТ, ток общей части обмотки АТ практически не зависит от сопротивления обогреваемой ВЛ. Таким образом вольтодобавочный трансформатор превращается в режим трансформатора тока. В схеме рис.5 не рассмотрены выключатель ВВ, быстродействующий дуговой высоковольтный короткозамыкатель КЗ, а также, на включение которых действуют защиты вольтодобавочного трансформатора и обогреваемого контура при повреждениях во время плавки. Дуговой короткозамыкатель защищает также оборудование схемы от перенапряжений при обрывах в обогреваемой ВЛ, так как имеет регулируемые искровые промежутки.

3.5. Для плавки не допускается использование вольтодобавочного трансформатора в режиме регулировочного трансформатора при питании его ВС от шин НН автотрансформатора и подключении проводов обогреваемой ВЛ к РО вольтодобавочного трансформатора, отсоединенной от нейтральных выводов АТ. В этом случае любое КЗ в контуре плавки будет эквивалентно витковому замыканию вольтодобавочного трансформатора.

Выключатель 2В установки (см.рис.5) обеспечивает также возможность вывода вольтодобавочного трансформатора в ремонт без отключения АТ.

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.I. 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).

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:

$$I_п = \frac{U_л}{\sqrt{3}(Z + Z_c)} \qquad (4.1)$$

$$I_п = \frac{U_л}{2Z + Z_c} \qquad (4.2)$$

$$I_п = \frac{U_п}{\sqrt{3}(Z_0 + Z_c + R_{зам})}, \qquad (4.3)$$

где $U_л$ – линейное напряжение, кВ;

Z – сопротивление фазы обогреваемой линии, Ом/км;

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

Z_c - сопротивление системы, приведенное к шинам НН питающего трансформатора, Ом;

ℓ - длина линии, км;

$R_{заз}$ - сопротивление заземления, Ом.

$$Z_0 = 3r_n + r_з + j\,0{,}145\,\ell g\,\frac{D_з D^2}{\rho^3}, \qquad (4.4)$$

r_n - сопротивление провода, Ом/км;

$r_з$ - сопротивление земли, принимается равным 0,05 Ом/км;

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

ρ - расчетный диаметр провода, м;

$D_з$ - глубина залегания обратного провода в земле $\approx$ 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$2x2,5% для обычных трансформато-

ров (автотрансформаторов) и ±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 IУ климатическому району при температуре окружающего воздуха - 5°С 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 расщепленными проводами в фазе для снижения требуемой для плавки мощности целесообразны схемы плавки гололеда, в которых контур протекания тока плавки создается из проводов расщепленной фазы с помощью коммутационных аппаратов (рис.8). Значения реактивных сопротивлений при плавке гололеда по схемам рис.8 для ВЛ с изолированными расщепленными проводами в фазе при расстоянии между проводами δ 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 I ч, температура воздуха - 5°С, диаметр гололедной муфты - 5 см) приведены в табл.4.2. При необходимости плавки гололеда на участках меньшей длины рабочее напряжение плавки должно быть снижено.

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÷500 мм^2 при плавке от блока АТ-ВДТ существующих типов ВДТ приведены на рис.9.

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.IO).

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:

$$\dot{I}_{п} = \frac{\dot{U}_{л}}{\dot{Z}_{к}}, \qquad (4.5)$$

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

$\dot{Z}_{к}$ - полное сопротивление цепи плавки.

4.I0. При встречном включении фаз полная мощность и токи, в начале и конце обогреваемой линии одинаковы, если равны напряжения источников (рис.II).

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

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

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

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

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

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

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

4.I2. 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 I00, длины обогреваемой линии.

4.I3. 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.I2) устанавливается секционирующий выключатель (В5), нормально отключенный.

Таблица 4.I

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 х АС 300/39	0,237	0,26	0,328	2,5	-
2 х АС 400/22	0,226	0,24	0,325	2,7	-
2 х АС 500/27	0,22	0,22	0,312	2,7	-
3 х АС 400/22	0,228	0,241	0,28	3,5	I0,5
3 х АС 500/27	0,221	0,23	0,278	3,65	I0,9

Таблица 4.2

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

Количество и тип проводов в фазе	Вариант схемы плавки (номер рисунка)	Допустимая длина участка при напряжении на распорке 40 кВ, км	Требуемая мощность плавки, МВ·А	Требуемая мощность по способу трехфазного КЗ, МВ·А	Требуемое напряжение по способу трехфазного КЗ, кВ
2 х АС 300/39	Рис.8,*а,б,в,г*	212	173	485	173
2 х АС 400/22	Рис.8,*а,б,в,г*	194	206	555	189
2 х АС 500/27	Рис.8,*а,б,в,г*	185	242	655	194
3 х АС 400/22	Рис.8,*д*	111	103	360	139
3 х АС 500/27	(плавка на трех фазах)	102	116	423	144
3 х АС 400/22	Рис.8,*д*	111	34	396	139
3 х АС 500/27	(плавка на одной фазе)	103	39	423	144

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

$$I_{ур} = \frac{U_ф}{Z_к} . \qquad (4.10)$$

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 [illegible] 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 линию [illegible] 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 двухцепных ВЛ либо кольцевых сетей целесообразна плавка гололеда уравнительным 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:

$$\dot{I}_{ур} = \frac{\Delta\dot{U}_1 + \Delta\dot{U}_2}{\dot{Z}_к} . \qquad (4.11)$$

Результирующий ток в проводах определяется как векторная сумма уравнительного 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).

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.

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.

4.2I. Ток наложения подсчитывается по формуле:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_д}{\dot{Z}_к}, \qquad (4.I2)$$

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

$\dot{Z}_к$ - 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.I. 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-I200-I4000; ВУКН-I600-I4000; ВУКН-I200-8000.

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-I0 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 выключателей, к ложной работе релейной защиты. Необходимы устройства, ограничивающие воздействия, вызванные наличием преобразователя.

Пониженный уровень изоляции преобразователей для плавки гололеда по сравнению с уровнями изоляции оборудования электрической сети, к 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 воздействия.

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

5.7. С целью обеспечения высокочастотной связи по оборудованию подстанции необходимо выполнить подвод постоянного тока к проводам линии таким образом, чтобы он протекал через ВЧ заградители или установить на шинах 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 электрической сети и источников питания. Некоторые из реком[illegible]

мых схем плавки от УПГ с одним преобразователем приведены на рис.I6-20. Примерный диапазон обогреваемых участков показан на рис.2I.

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-I0 кВ, должен проводиться по формуле:

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

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

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

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

Плавка от установок с блоком автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор

Применение ВДТ в качестве источника плавки позволяет существенно расширить зоны обслуживания УПГ и сохратить 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.

6.5. Схемы плавки гололеда на проводах от УПГ с различным количеством преобразователей, рекомендации по проведению пофазной плавки гололеда, по расчету режимов регулируемых (с применением ВДТ) 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.

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).

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.

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.

.4. Сопротивление троса складывается из активного, внутрен-
нег внешнего индуктивных сопротивлений.

значение активного и внутреннего индуктивного сопротивлений
трос зависят от значения протекающего тока и принимаются в соот-
ветств данными рис.32.

ие значения внешнего индуктивного сопротивления троса
могут приняты в соответствии с данными табл.7.I.

Таблица 7.I

редние значения внешнего индуктивного сопротивления троса

Схема плавки	Индуктивное сопротивление, Ом/км, троса сечением, мм^2		
	35	50	70
- трос	0,9	0,85	0,95
- земля	0,78	0,77	0,79
роса - зем	0,53	0,525	0,52

Пользуясь графиками рис.32 и данными табл.7.I, полное сопро-
ние троса может быть подсчитано по формуле

$$Z = \sqrt{(R_T + R_3)^2 + (X_{BH} + X_H)} \quad , \qquad (7.1$$

ктивное сопротивление троса, Ом/км;
,05 Ом/км (сопротивление земли);
утреннее индуктивное сопротивление троса, Ом/км;
- внешнее индуктивное сопротивление троса, Ом/км.
часто применяемой при плавке гололеда плотности тока
табл.7.2 даны необходимые расчетные данные о сопротив-
тальных тросов.

Таблица 7.2

Сопротивления стальных тросов (Ом)
на километр линии

Схема плавки	Сечение троса, мм^2								
	35			50			70		
	r	x	Z	r	x	Z	r	x	Z
Трос - трос	I2,0	4,9	I3,0	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	I,76	3,52
Два троса - земля	3,05	I,53	3,42	2,05	I,I8	2,36	I,55	I.02	I,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 мм^2 с плотностью тока 2 А/мм^2

Напряжение плавки, кВ	Схема плавки		
	Трос-трос	Трос-земля	Два троса-земля
6	7,0	7,5/I3	7,5/I3
I0	I2,0	I3/22	I3,0/23
35	40	48/80	45/[illegible]
II0	I40	I50	I45

Примечание. Для схемы "трос-трос" и всех схем при напряжении II0 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:

$$I_{п} = \frac{U}{\sqrt{(R_{т} + R_{заз})^2 + (x_{вн} + x_{н})^2}} \cdot \qquad (7.2)$$

Постоянный ток плавки по формуле:

$$I_{п} = \frac{U}{R_{т} + R_{заз}} , \qquad (7.3)$$

где $R_{заз}$ - 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

$$N = \frac{U \lambda_{э} \cdot K_{л}}{L} , \qquad (8.1)$$

где U - напряжение, приложенное к изоляции, кВ;

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

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

$K_{л}$ - поправочный коэффициент использования длины пути утечки изолятора принятого типа.

$$K_л = 0,9\ \frac{L}{D_1}\left[0,85 + 0,15 \cdot e^{-(0,39\beta^2 - 0,5)\left(\frac{L}{D_1} \cdot K_\varphi\right)^e 0,25} + \right.$$

$$\left. + \left(1,5 - \frac{L}{D_1}\right) 0,39\beta^2 \cdot 0,055\right]\left[1 + \left(\frac{L}{D_1} K_\varphi\right)^2 (5\alpha - 5)\, 0,0033\right], \qquad (8.2)$$

где D_1 - диаметр изолятора, см;

β - номер района загрязненности;

α - номер района гололедности;

K_φ - коэффициент формы изолятора.

При $\frac{L}{D} \leq 1$ коэффициент $K_л$ = I.

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 $\lambda_э$ по данным табл.8.I.

Таблица 8.I

Рекомендуемые значения $\lambda_э$ (см/кВ) при неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке гололеда переменным и постоянным током

Район гололедности	Значения $\lambda_э$ для районов загрязнения атмосферы			
	I	II	III	IУ
III	I,7/I,8	I,7/I,8	2,0/2,2	2,3/2,5
IУ	I,7/I,8	I,8/I,9	2,I/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, $\lambda_э$ следует принимать для переменного напряжения по табл.8.2 и для постоянного напряжения - по табл.8.3.

Таблица 8.2

Рекомендуемые значения $\lambda_э$ (см/кВ) при плавке переменным током и числе изоляторов в гирлянде, пропорциональном значению воздействующего напряжения

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

Таблица 8.3

Рекомендуемые значения $\lambda_э$ (см/кВ) при постоянном U и числе изоляторов, пропорциональном воздействию U.

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

При определении количества изоляторов N при плавке гололеда в тросах постоянным током необходимо в числитель формулы (8.I) ввести поправочный коэффициент $\rho_п$, учитывающий отличие разрядных характеристик изоляции при постоянном напряжении от характеристик при переменном напряжении.

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

Для изоляции тросов рекомендуется применение изоляторов из термического 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	I	60
35	2	I00
II0	4	I50

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 необогреваемых 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						
	I0	I5	20	30	40	50	60
ВМП-I0-600	3,84	3,3	2,92	2,55	2,38	2,28	2,25
ВМП-I0-I00	3	2,5	2,I	I,89	I,7	I,59	I,5
У-35-2500-I0	2,55	2,3	2,I5	2,0	I,85	I,7	I,6
МКП-35-I000-25	4	3,85	3,75	3,7	3,6	3,5	3,4
С-35-630-I0	5,3	4,8	4,45	3,9	3,55	3,35	3,I8

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						
	I0	I5	20	30	40	50	60
КВЭ-I0-I3-630 ВМПЭ-630-20	5,5	4,[illegible]	4,4	3,8	[illegible],I8	2,95	2,75
КВП-I0-I5-I5-600 ВМПП-I0-630-20	4,I	3,[illegible]	3,75	3,4	3,[illegible]	[illegible],8	2,5
КВП-I0-07-I500 ВМПЭ-I0-I600-20	2,65	2,I7	I,82	I,55	I,4	I,25	I,2

Окончание таблицы 8.6

Тип КРУ и выключателя	Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ при времени плавки, мин						
	I0	I5	20	30	40	50	60
КВП-I0-05-I500 ВМПП-I0-I500-20	2,4	2	I,75	I,5	I,3	I,25	I,2
ШВЭ-I0-I9-I600 ВМПЭ-I0-I600-3I,5	4	3,35	3	2,5	2,25	2,I	I,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.

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 I0% 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 I960 г., должна определяться по данным завода-изготовителя.

Для трансформаторов, запроектированных после I960 г., по ГОСТ I4209-69.

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 $cos\varphi_н$ = 0,9 приведены на рис.33.

8.I0. Перегрузочная способность бетонных реакторов в первом приближении должна определяться, как для сухих трансформаторов по диаграмме нагрузочной способности Шницера.

8.II. 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.

Таблица 8

Мощности турбогенераторов (%) при различных значениях коэффициента мощности

Тип турбогенератора	Номинальная мощность, кВт	Коэффициент мощности											
		1,0	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
Т2-6-2	6000	100	100	100	100	88	84	79	76	73	71	70	70
Т2-12-2	12000	100	100	100	100	92	86	83	82	81	80	80	80
Т2-25-2	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
Т2-50-2	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	86	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

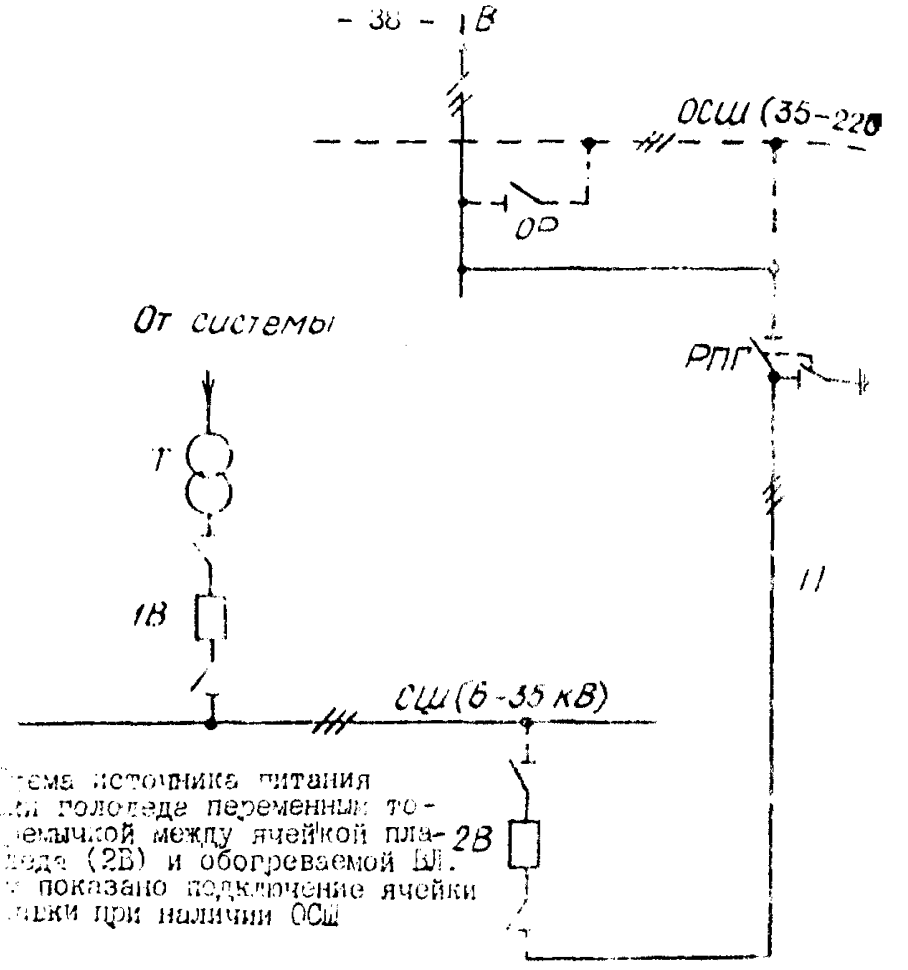


Рис. [illegible] Схема источника питания для [illegible] гололеда переменным током [illegible] перемычкой между ячейкой плавки [illegible] (2В) и обогреваемой ВЛ. Пунктиром показано подключение ячейки плавки при наличии ОСШ

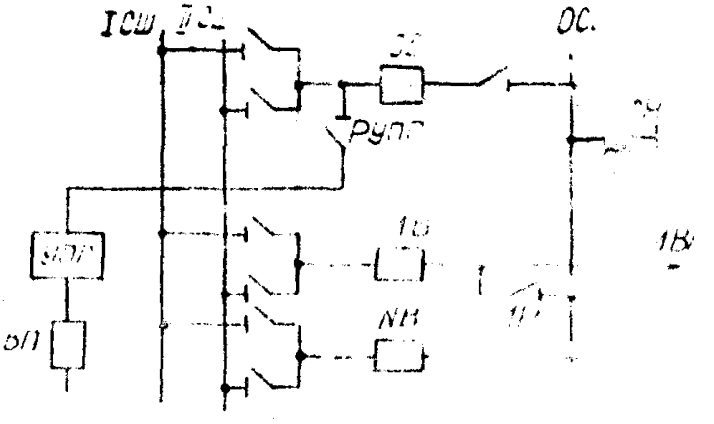


Рис. [illegible] Принципиальная схема [illegible] обогреваемой ВЛ через [illegible]

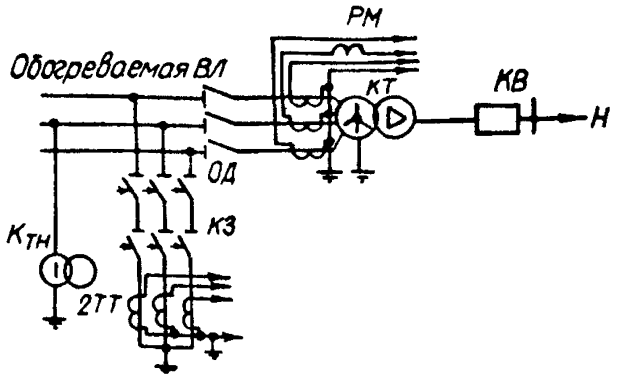


Рис.3. Принципиальная схема закорачивающего пункта на ВЛ с автоматическим управлением режима плавки

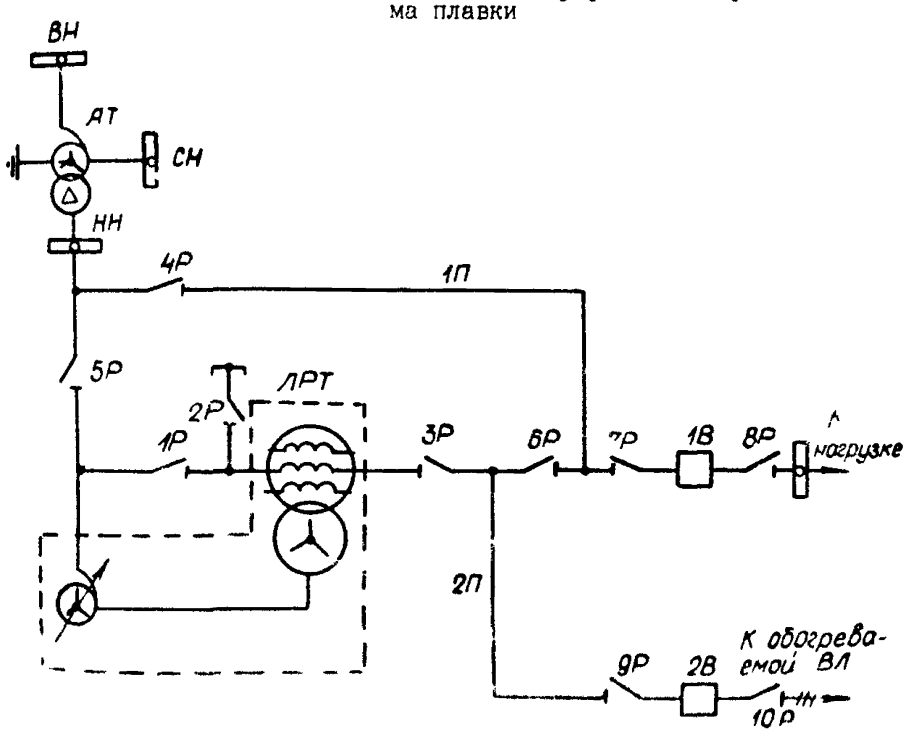


Рис.4. Схема подстанции с линейным регулировочным трансформатором (ЛРТ) используемым для плавки гололеда:

1Р÷4Р, 6Р - дополнительно устанавливаемые разъединители;
2В - выключатель установки плавки гололеда;
1П, 2П - дополнительные перемычки

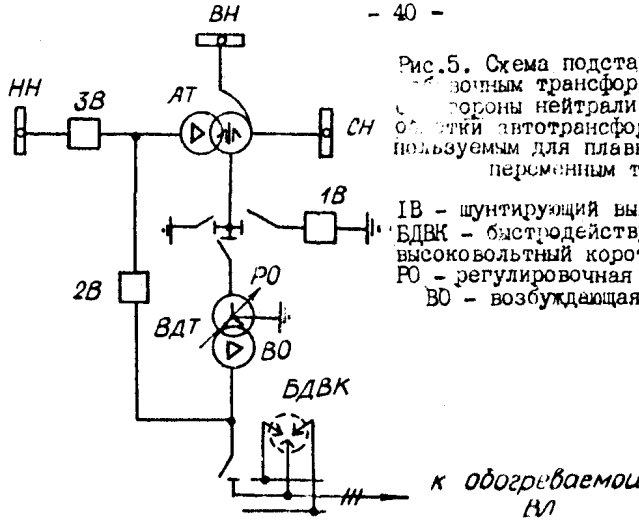


Рис.5. Схема подстанции с вольтодобавочным трансформатором (ВДТ) со стороны нейтрали общей части обмотки автотрансформатора (АТ) используемым для плавки гололеда переменным током:

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

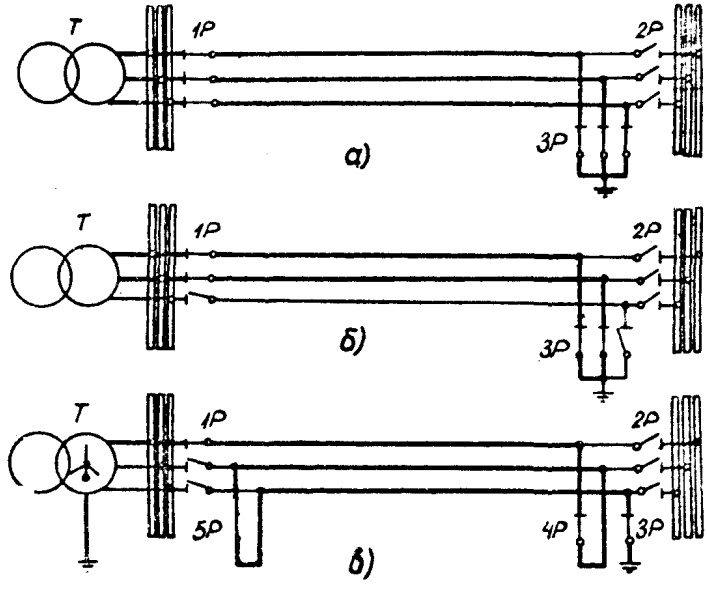


Рис.6. Схема плавки гололеда способом короткого замыкания:
а - трехфазное короткое замыкание; *б* - двухфазное короткое замыкание; *в* - схема "змейка"

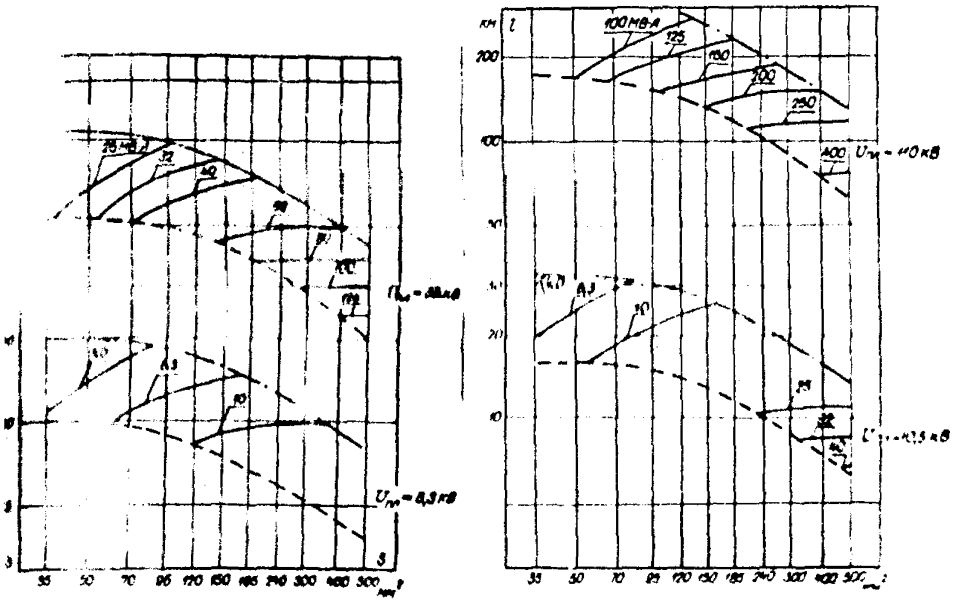
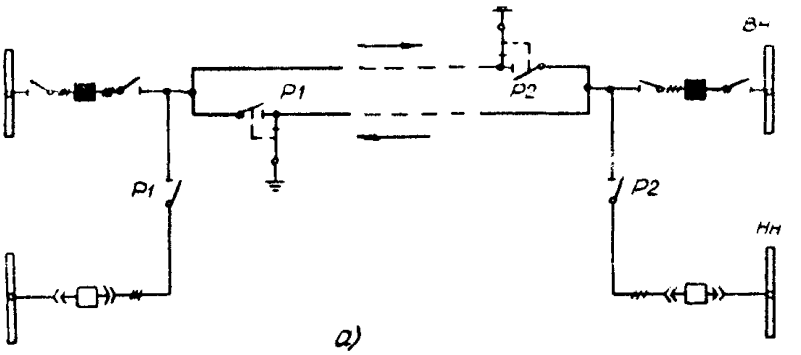


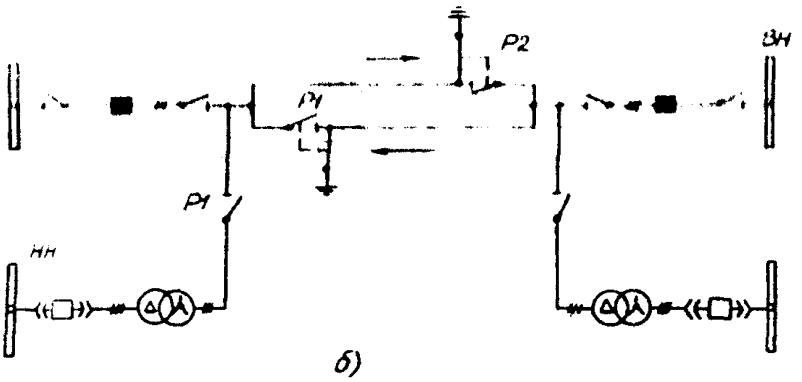
Рис. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ со сталеалюминиевыми проводами сечений 35-500 мм² при плавке гололеда переменным током:

- - - - 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-I25 МВ·А;

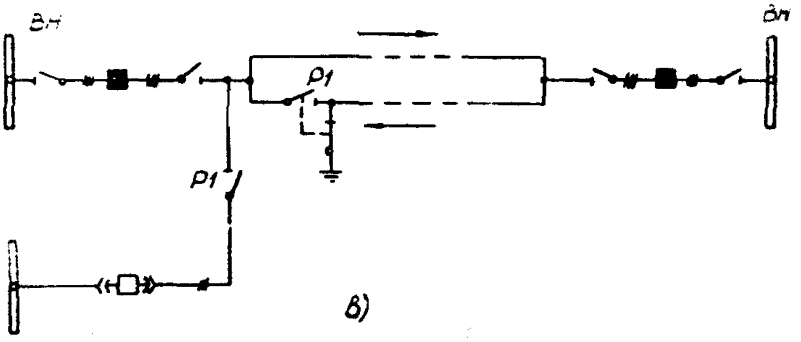
а - при питании от источника мощностью 4-I25 МВ·А; *б* - при питании от источника мощностью 4-400 МВ.А



а)



б)



в)

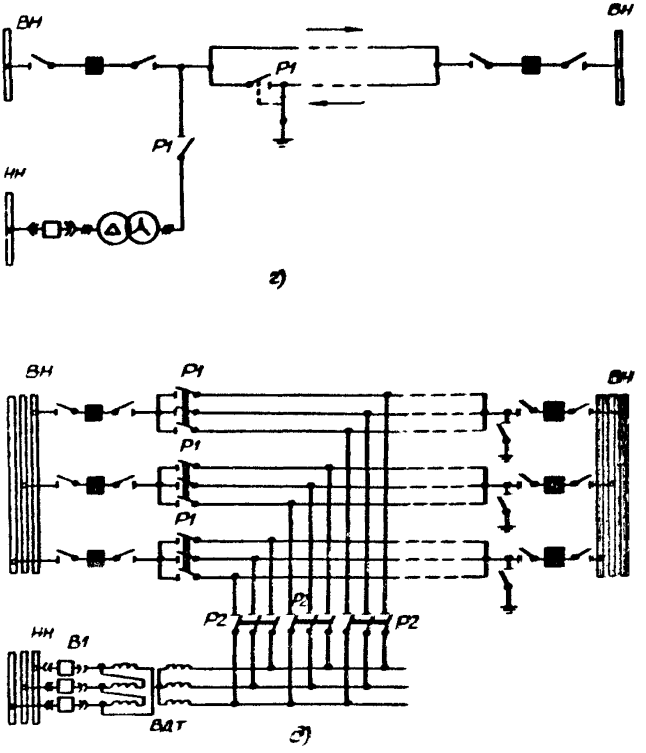


Рис.8. Схемы плавки гололеда для ВЛ с расщепленными проводами:

а, б, в, г – расщепление на два провода; *д* – расщепление на три провода

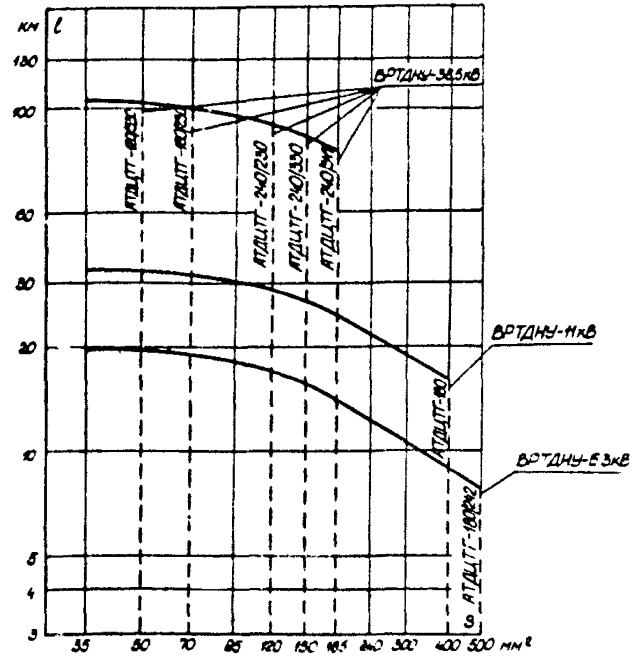


Рис.9. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ с проводами сечений 35-500 мм² при плавке гололеда переменным током от блока АТ-ВДТ:

—— ограничения по допустимому напряжению ВДТ;
– – – ограничения по допустимому току ВДТ

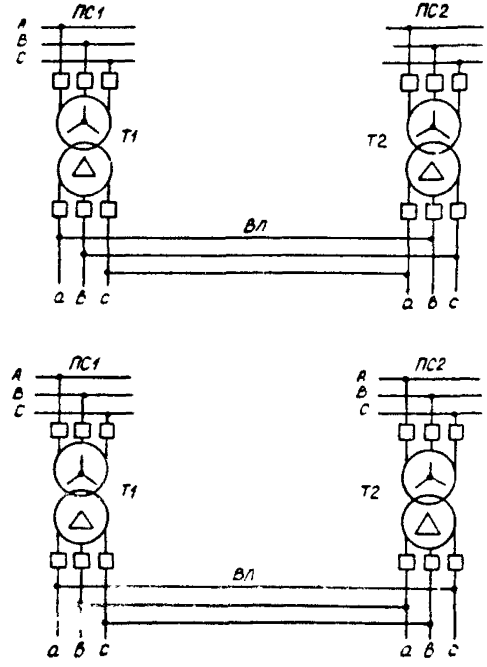


Рис.10. Схема плавки гололеда по способу встречного включения

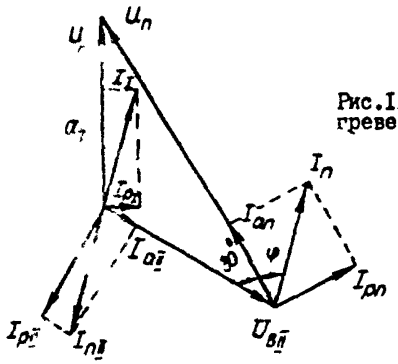


Рис.II. Векторная диаграмма при обогреве линии по способу встречного включения

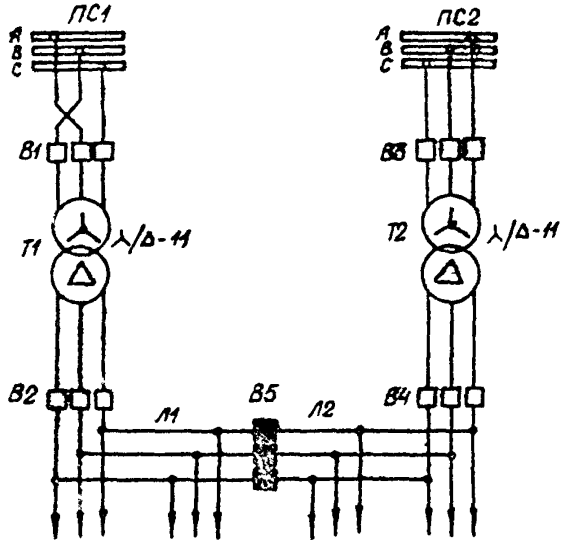
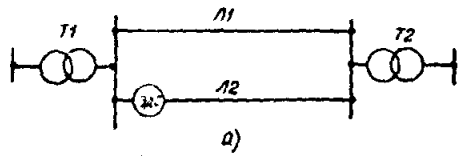


Рис.I2. Схема плавки гололеда по способу встречного включения без отключения нагрузки:
Л1, Л2 - обогреваемые ВЛ



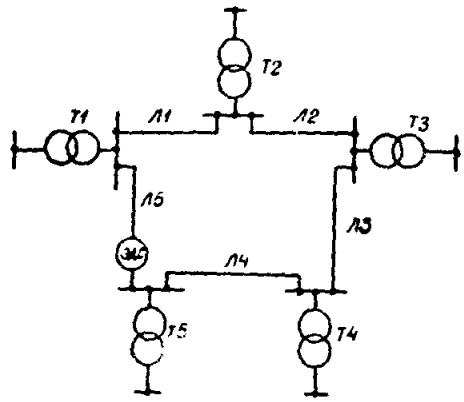
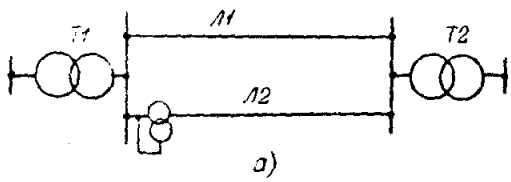


Рис.13. Схемы плавки гололеда по способу включения ЭДС в контур:
а - при параллельных линиях;
б - при кольцевой сети



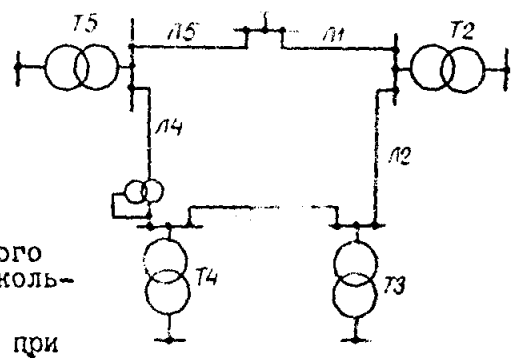


Рис.14. Включение вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) в рассечку кольцевой сети:
а - при параллельных линиях; *б* - при кольцевой сети

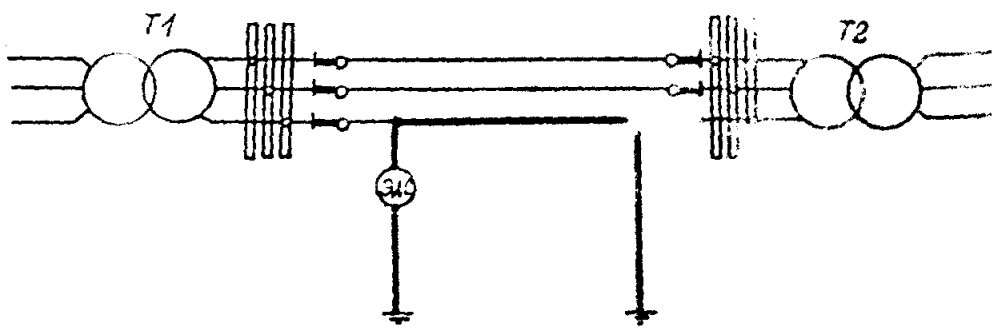


Рис.15. Схема пофазной плавки токами наложения

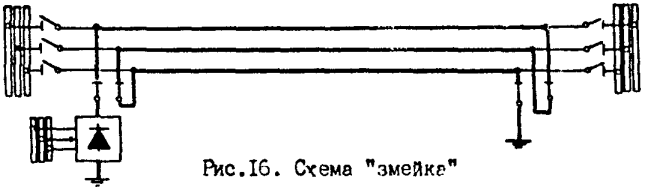


Рис.16. Схема "змейка"

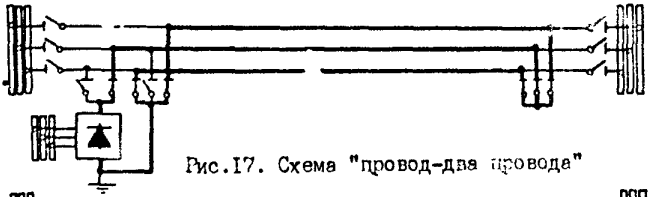


Рис.17. Схема "провод-два провода"

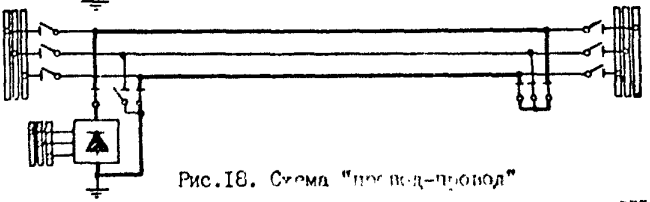


Рис.18. Схема "провод-провод"

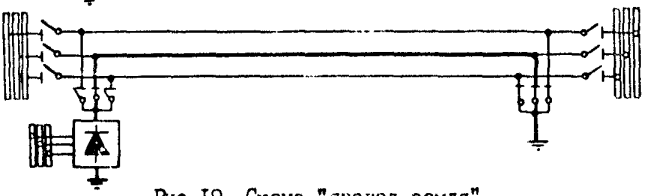


Рис.19. Схема "провод-земля"

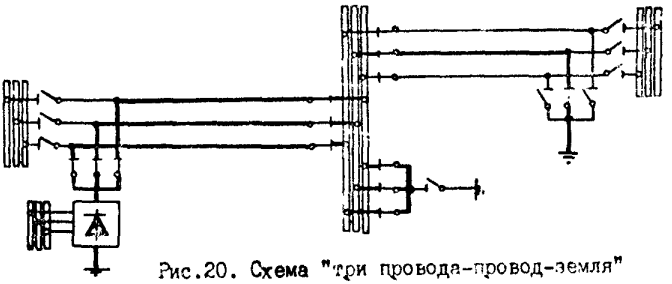


Рис.20. Схема "три провода-провод-земля"

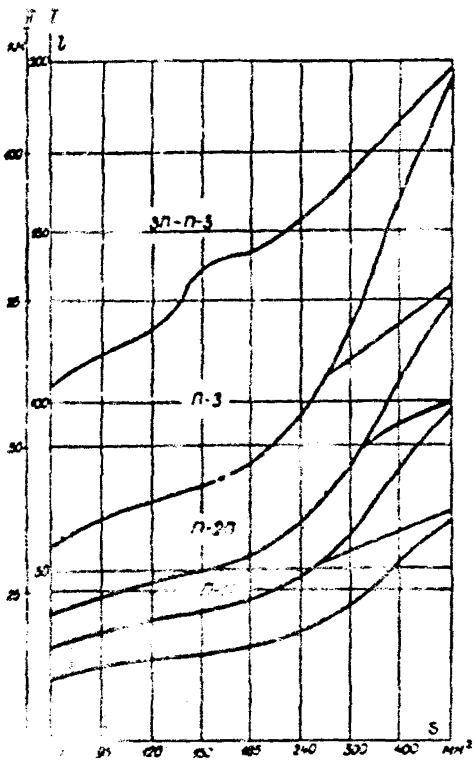


Рис.21. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УПТ (источник напряжения):
I - ВУКН-I200-I4000; II - ВУКН-I200-8000

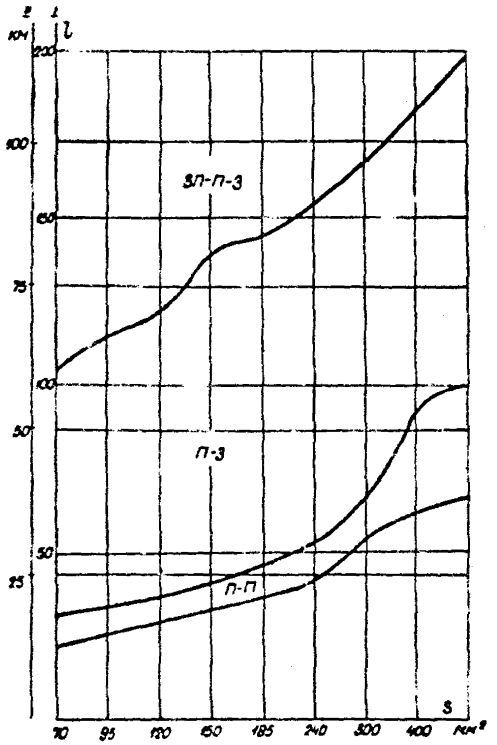


Рис.22. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УПТ (источник тока):
I - ВУКН-I200-I4000;
II - ВУКН-I200-8000

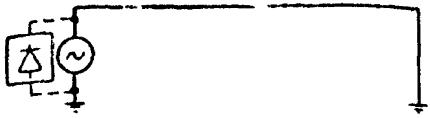


Рис.23. Схема "трос-земля"

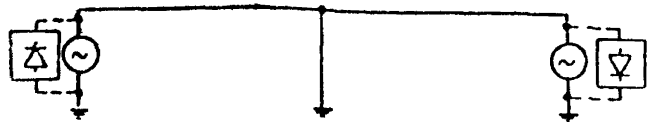


Рис.24. Схема "трос-земля" при подключении источников плавки с двух концов троса

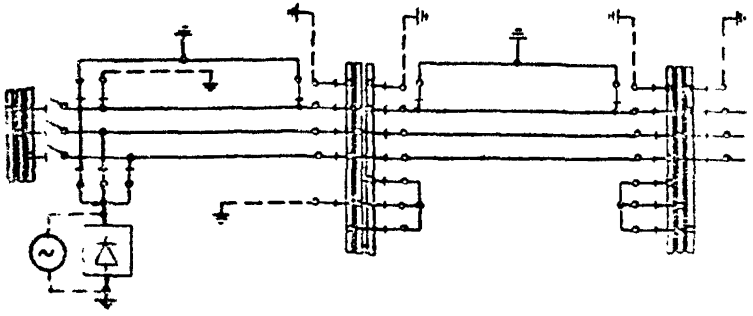


Рис.25. Использование проводов отключенной ВЛ для подачи напряжения плавки на обогреваемый трос

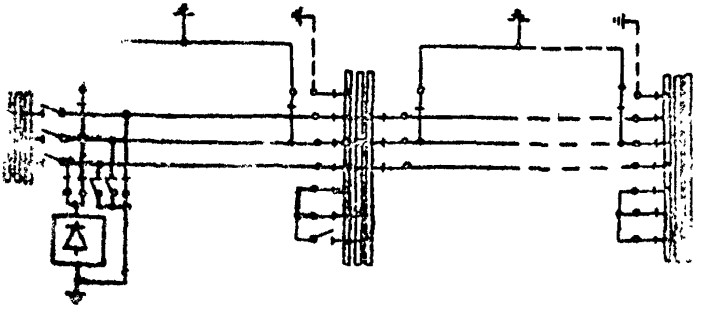


Рис.26. Одновременная плавка гололеда на проводах и тросах

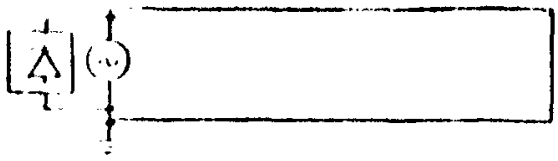


Рис.27. Схема "трос-трос"

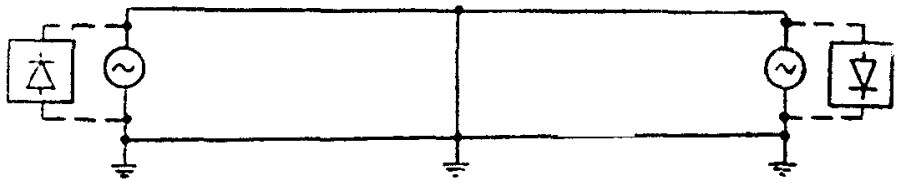


Рис.28. Схема "трос-трос" при подключении источников плавки с двух концов троса



Рис.29. Схема "два троса-земля"

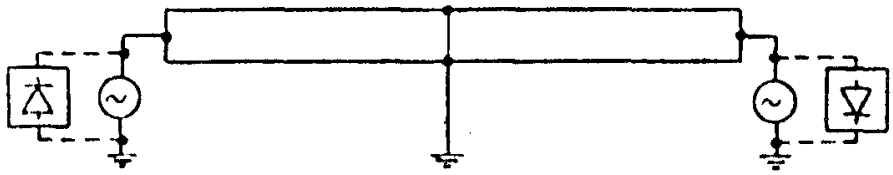


Рис.30. Схема "два троса-земля" при подключении источников плавки с двух концов троса

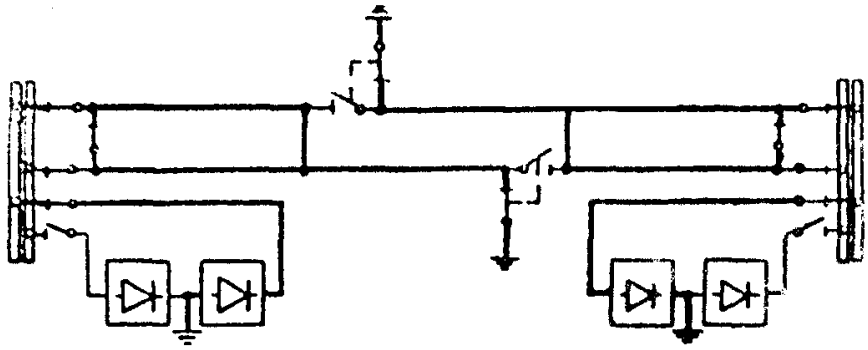


Рис.31. Схема для плавки в два этапа: "трос-трос" и "два троса-трос-земля"

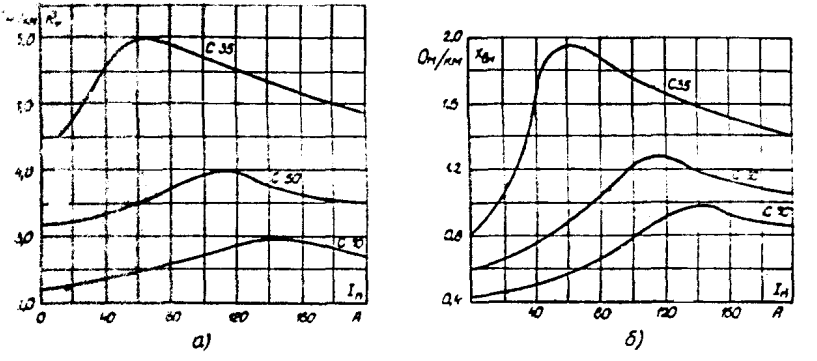


Рис.32. Зависимости активного R_T (а) и внутреннего индуктивного $X_{вн}$ (б) сопротивлений стальных тросов от тока

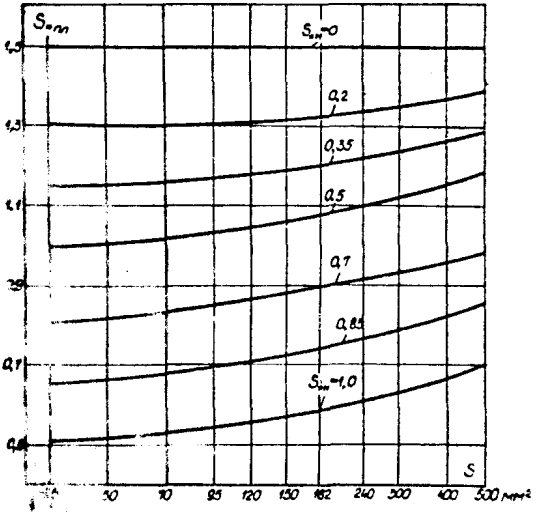


Рис.33. Зависимость изменения предельной мощности плавки ($S_{*пл}$), сечения проводов (F), предшествующей загрузки трансформаторов ($S_{*н}$)

Приложение I

СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ И ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Таблица III.I

Сопротивления проводов при различных температурах

Марка провода	Сопротивление провода (Ом) при температуре провода, °С								
	0	20	40	60	80	100	110	120	130
М 25	0,667	0,723	0,771	0,823	0,875	0,927	0,960	0,988	-
М 35	0,477	0,515	0,551	0,588	0,626	0,663	0,688	0,716	-
М 50	0,334	0,361	0,386	0,412	0,439	0,465	0,481	0,494	-
М 70	0,247	0,267	0,286	0,305	0,324	0,344	0,356	0,366	-
М 95	0,177	0,191	0,204	0,218	0,232	0,246	0,255	0,262	-
М 120	0,143	0,154	0,165	0,176	0,187	0,198	0,206	0,212	-
М 150	0,113	0,122	0,131	0,139	0,148	0,157	0,163	0,167	-
А 25	1,05	1,14	1,22	1,31	1,39	1,48	1,51	1,55	-
А 35	0,769	0,830	0,891	0,953	1,014	1,076	1,106	1,136	-
А 50	0,533	0,576	0,619	0,661	0,704	0,747	0,766	0,788	-
А 70	0,381	0,412	0,443	0,473	0,504	0,534	0,549	0,564	-
А 95	0,285	0,308	0,331	0,354	0,376	0,399	0,411	0,422	-
А 120	0,228	0,246	0,264	0,282	0,301	0,319	0,328	0,337	-
АС 10/1,8	2,495	2,695	2,895	3,094	3,294	3,494	3,689	3,695	3,795
АС 16/2,7	1,641	1,772	1,903	2,035	2,166	2,297	2,354	2,426	2,495
АС 25/4,2	1,061	1,146	1,231	1,316	1,401	1,486	1,528	1,570	1,614
АС 35/6,2	0,715	0,773	0,830	0,888	0,945	1,002	1,029	1,058	1,086
АС 50/8,0	0,548	0,592	0,636	0,680	0,724	0,767	0,789	0,811	0,832
АС 70/11	0,389	0,420	0,451	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591

			.I	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591
			,357	0,361	0,384	0,407	0,419	0,431	0,442
95/16	0,277	0,299	0,321	0,343	0,365	0,388	0,394	0,419	0,421
AC 95/141	0,292	0,316	0,339	0,363	0,366	0,410	0,421	0,432	0,444
AC 120/19	0,227	0,245	,253	0,271	0,299	0,316	0,326	0,336	0,345
AC 120/27	0,231	0,249	0,257	0,266	0,304	0,323	0,332	0,342	0,351
AC 150/19	0,181	0,195	0,209	0,224	0,238	0,253	0,260	0,269	0,275
AC 150/24	0,180	0,194	0,208	0,223	0,237	0,251	0,259	0,266	0,274
AC 15[illegible]34	0,181	0,196	0,211	0,225	0,240	0,254	0,260	0,268	0,275
AC 185/24	0,143	0,154	0,165	0,177	0,188	0,200	0,206	0,212	0,217
AC 185/29	0,147	0,159	0,171	0,183	0,194	0,206	0,212	0,2176	0,223
AC 185/43	0,144	0,156	0,168	0,179	0,191	0,202	0,207	0,213	0,219
AC 185/128	0,144	0,155	0,166	0,178	0,189	0,201	0,207	0,213	0,219
AC 205/27	0,130	0,140	0,150	0,161	0,171	0,181	0,187	0,192	0,198
AC 240/32	0,109	0,118	0,127	0,135	0,144	0,153	0,157	0,161	0,166
AC 240/39	0,113	0,122	0,131	0,140	0,149	0,158	0,163	0,167	0,172
AC 240/56	0,111	0,120	0,129	0,138	0,147	0,156	0,160	0,164	0,168
AC 300/39	0,089	0,096	0,103	0,110	0,117	0,124	0,128	0,131	0,135
AC 300/48	0,091	0,098	0,105	0,113	0,120	0,127	0,131	0,134	0,138
AC 300/66	0,093	0,100	0,107	0,115	0,122	0,130	0,134	0,137	0,141
AC 300/204	0,090	0,097	0,104	0,111	0,119	0,126	0,129	0,133	0,137
AC 330/27	0,082	0,089	0,096	0,102	0,109	0,115	0,117	0,121	0,124
AC 330/43	0,081	0,087	0,093	0,100	0,106	0,113	0,116	0,120	0,123
AC 400/22	0,068	0,073	0,078	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC 400/51	0,068	0,073	0,078	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC 400/61	0,069	0,074	0,079	0,085	0,090	0,096	0,099	0,1022	0,1049
AC 400/93	0,066	0,071	0,076	0,082	0,087	0,092	0,095	0,098	0,1004

Окончание таблицы ПI.I

Марка провода	Сопротивление провода, [illegible] при температуре провода, °С								
	0	20	40	60	80	I00	II0	I20	I30
АС 450/56	0,062	0,067	0,072	0,077	0,082	0,087	0,089	0,092	0,0942
АС 500/27	0,055	0,060	0,064	0,069	0,073	0,078	0,079	0,08I	0,084
АС 500/64	0,055	0,059	0,063	0,068	0,072	0,076	0,079	0,08I	0,084
АС 500/336	0,055	0,059	0,063	0,068	0,072	0,076	0,079	0,08I	0,084
АС 550/7I	0,049	0,053	0,057	0,06I	0,065	0,069	0,0706	0,0726	0,0745
АС 600/72	0,046	0,050	0,054	0,057	0,06I	0,065	0,066	0,068	0,070
АС 650/79	0,043	0,046	0,049	0,053	0,056	0,060	0,062	0,0636	0,0654
АС 700/86	0,039	0,042	0,045	0,048	0,05I	0,054	0,056	0,0577	0,059
АС 750/93	0,036	0,039	0,042	0,045	0,048	0,05I	0,05I8	0,053	0,054
АС 800/I05	0,032	0,035	0,038	0,04[illegible]	0,043	0,045	0,046	0,047	0,0486
АЖ 25	I,25I	I,3[illegible]2	I,43I	I,52	[illegible]	I,7	-	-	-
АЖ 35	0,905	0,978	I,035		I,I65	I,23	-	-	-
АЖ 50	0,625	0,676	0,7I5	[illegible]	0,805	0,850	-	-	-
АЖ 70	0,446	0,484	[illegible]	[illegible]	0,577	0,609	-	-	-
АЖ 95	0,337	0,3[illegible]4	[illegible]	[illegible],409	0,434	0,458	-	-	-
АЖ I20	0,267	0,28[illegible]	[illegible]	0,324	0,344	0,363	-		-
АН 25	I,I55	I,24[illegible]	[illegible],52I	I,404	I,487	I,570	-	-	-
АН 35	[illegible]835	[illegible]	[illegible],955	I,0I5	I,075	I,I35	-	-	-
АН 50	[illegible],57[illegible]	[illegible]	0,660	0,70[illegible]	0,743	0,784	-	-	-
АН 70	[illegible],4I3	[illegible],447	0,472	0,502	0,53I	0,56I	-	-	-
	0,3[illegible]I	0,33[illegible]	0,35[illegible]	0,37[illegible]	[illegible],400	0,422	-		-
	[illegible]246	0,2[illegible]	0,28I	0,2[illegible]	[illegible],3I6	0,334	-		-

Таблица П.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						
М 25	265	275	280	310	320	330
М 35	330	340	345	385	395	405
М 50	415	425	435	480	495	510
М 70	505	520	530	590	600	620
М 95	630	645	660	730	745	765
М 120	720	740	760	835	855	880
М 150	840	860	880	970	995	1020
М 185	960	985	1010	1110	1140	1165
М 240	1130	1160	1185	1305	1340	1370
М 300	1290	1320	1355	1485	1525	1560
М 350	1460	1495	1530	1680	1720	1765
М 400	1580	1620	1655	1815	1860	1905
А 25	210	215	220	245	255	260
А 35	260	265	270	300	310	320
А 50	330	335	345	380	390	400
А 70	405	420	430	47	485	495
А 95	490	505	515	570	585	600
А 120	570	585	600	660	675	695
А 150	665	680	700	770	790	810
А 185	760	780	800	880	905	925
А 240	910	930	950	1045	1070	1100
А 300	1025	1050	1075	1180	1210	1240
А 350	1155	1185	1210	1330	1360	1395
А 400	1245	1275	1305	1430	1465	1500
А 450	1355	1390	1425	1555	1595	1635

Продолжение таблицы III.2

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°
I	2	3	4		6	7
А 500	1460	1500	1535	1680	1720	1760
А 550	1550	1585	1625	1780	1820	1864
А 600	1630	1670	1710	1870	1915	1960
	Температура провода 100°С					
АС 25/4,2	224	230	235	261	268	275
АС 35/6,2	289	296	302	336	344	352
АС 50/8	343	351	359	399	416	434
АС 70/11	428	438	447	495	508	519
АС 70/72	468	479	489	541	553	565
АС 95/16	533	545	557	617	631	645
АС 95/15	520	532	543	602	616	630
АС 95/141	582	595	607	670	685	700
АС 120/19	610	624	637	705	721	737
АС 120/27	609	623	636	703	719	735
АС 150/19	705	721	736	813	831	850
АС 150/24	710	721	741	820	838	857
АС 150/34	711	727	743	821	839	858
АС 165/24	821	839	857	947	969	990
АС 185/29	807	825	843	930	951	972
АС 185/43	825	843	861	951	972	994
АС 185/128	870	889	908	1000	1022	1045
АС 205/27	874	893	912	1007	1030	1052
АС 240/32	977	999	1020	1124	1150	1175
АС 240/39	951	982	1003	1106	1131	1155
АС 240/56	980	1001	1022	1127	1152	1177
АС 300/39	1119	1143	1167	1286	1315	1343
АС 300/48	1109	1133	1157	1274	1303	1331
АС 300/66	1103	1182	1151	1267	1296	1324

Окончание таблицы П1.2

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°
I	2	3	4	5	6	7
АС 300/204	1182	1208	1233	1355	1385	1415
АС 330/27	1168	1193	1218	1342	1372	1402
АС 330/43	1193	1219	1244	1370	1401	1431
АС 400/22	1324	1353	1381	1515	1551	1587
АС 400/51	1338	1367	1395	1534	1569	1603
АС 400/64	1332	1361	1389	1527	1561	1595
АС 400/93	1381	1411	1440	1582	1617	1652
АС 450/56	1417	1447	1477	1623	1660	1696
АС 500/27	1507	1539	1571	1726	1765	1803
АС 500/64	1538	1571	1604	1762	1801	1840
АС 500/336	1640	1675	1709	1872	1913	1954
АС 550/71	1652	1688	1723	1891	1933	1974
АС 600/72	1714	1751	1787	1961	2004	2047
АС 650/79	1812	1851	1889	2071	2117	2163
АС 700/86	1923	1964	2004	2196	2244	2292
АС 750/93	1929	1975	2020	2199	2253	2306
АС 800/105	2168	2214	2260	2473	2527	2581
	Температура провода 80°С					
АЖ 25	185	190	195	215	225	230
АЖ 35	230	235	240	265	275	280
АЖ 50	290	300	305	335	345	355
АЖ 70	360	370	380	415	430	440
АЖ 95	430	440	455	500	515	530
АЖ 120	500	515	530	580	600	615
АН 25	195	200	205	225	230	240
АН 35	240	245	250	275	285	295
АН 50	300	310	320	350	360	370
АН 70	375	385	395	435	445	460
АН 95	450	460	475	520	535	550
АН 120	520	535	550	605	625	640

Приложение 2

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

На графиках цифры около кривых означают в числителе температура воздуха (^{0}C); в знаменателе – скорость ветра (м/с).

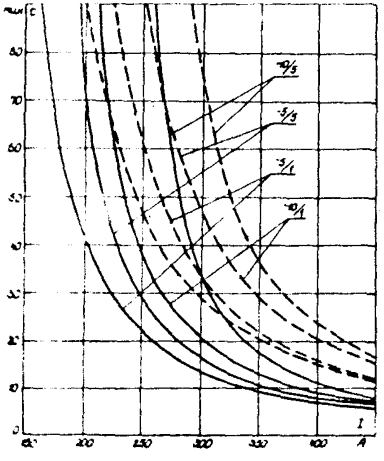


Рис.П2.1. Зависимость времени плавки гололеда (γ=0,9) от тока. Провод М 50: _____ D = 3 см; _ _ _ D = 5 см

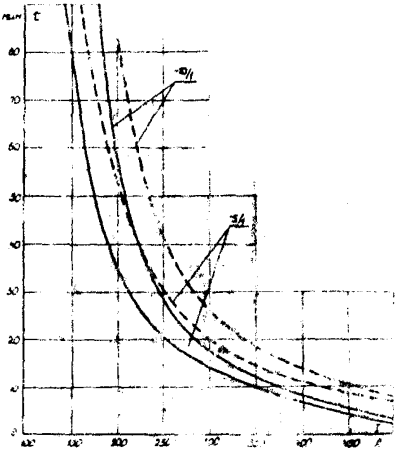


Рис.П2.2. Зависимость времени плавки изморози (γ=0,5) от тока. Провод М 50: _____ D = 5 см; _ _ _ D = 7 см

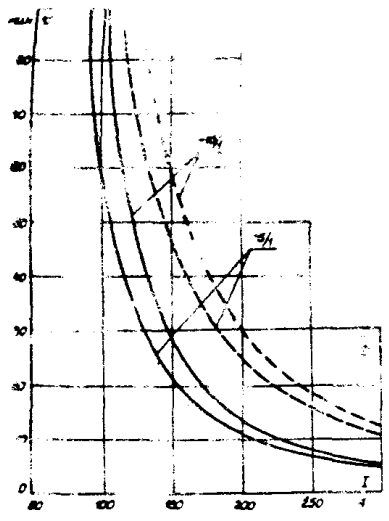


Рис.П2.3. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод М 50: ____ D = 5 см; - - - D = 10 см

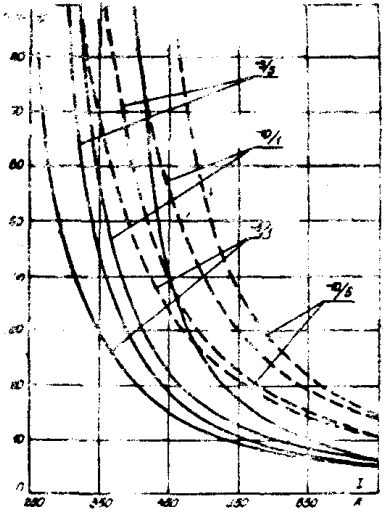


Рис.П2.4. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод М 70: ____ D = 3 см; - - - D = 5 см

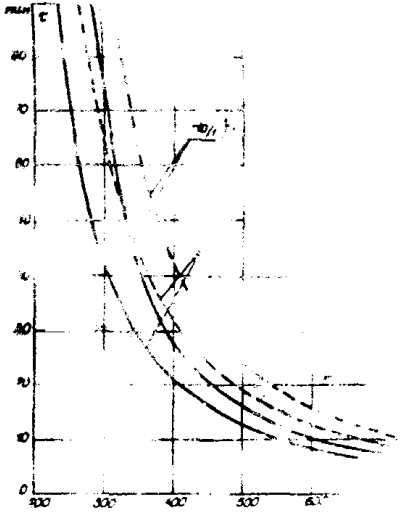


Рис.П2.5. Зависимость времени плавки изморози от тока (γ = 0,3)

Провод М 70: ____ D = - - - D =

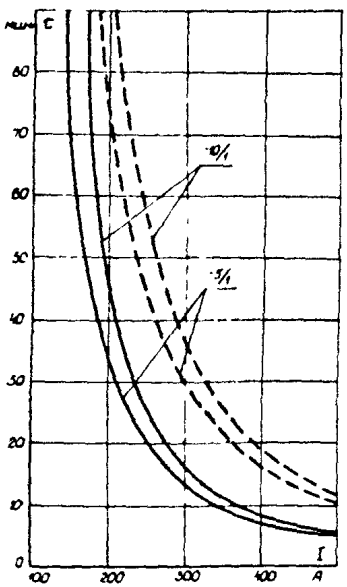


Рис.П2.6. Зависимость времени плавки изморози (γ =0,2) от тока.

Провод М 70: ——— D = 5 см; – – – D = 10 см

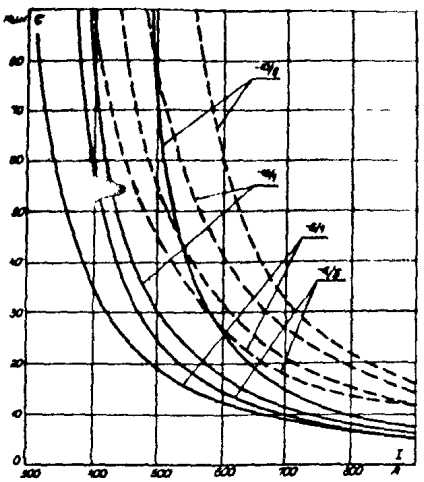


Рис.П2.7. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод М 95: ——— D = 3 см; – – – D = 5 см

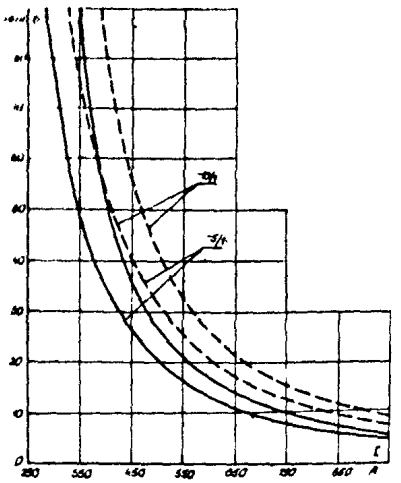


Рис.П2.8. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока

Провод М 95: ——— D = 5 см; – – – D = 7 см

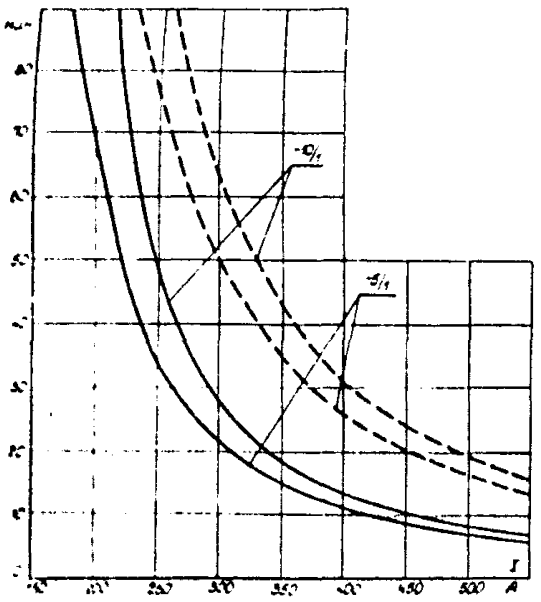


Рис.П2.9. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0{,}2$) от тока.
Провод М 95: ——— $D = 5$ см;
– – – $D = 10$ см

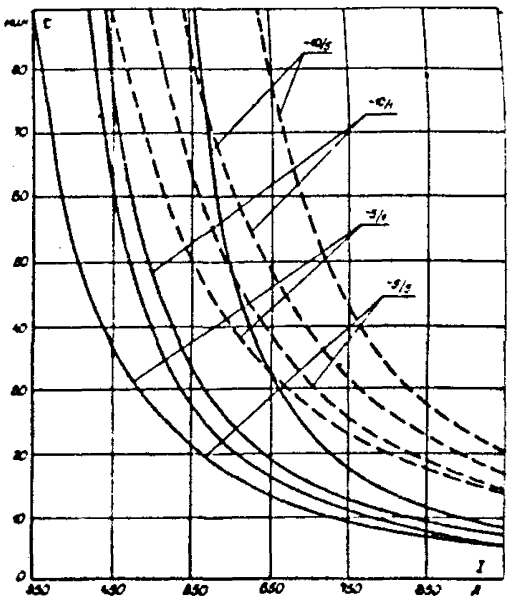


Рис.П2.10. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0{,}9$) от тока.
Провод М 120: ——— $D = 3$ см;
– – – $D = 5$ см

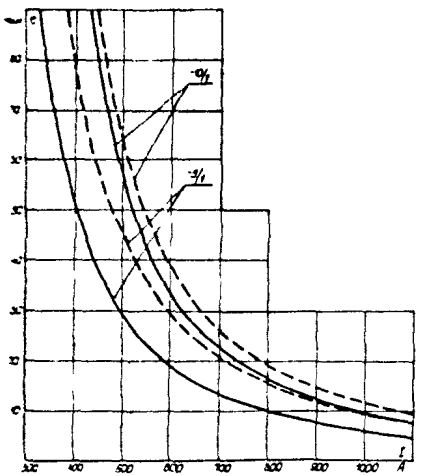


Рис.П2.II. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.

Провод М I20: ——— D = 5 см; – – – D = 7 см

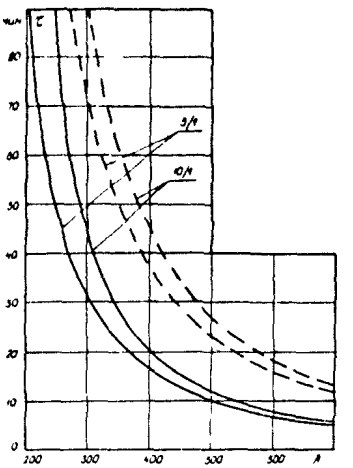


Рис.П2.I2. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод М I20: ——— D = 5 см; – – – D = I0 см

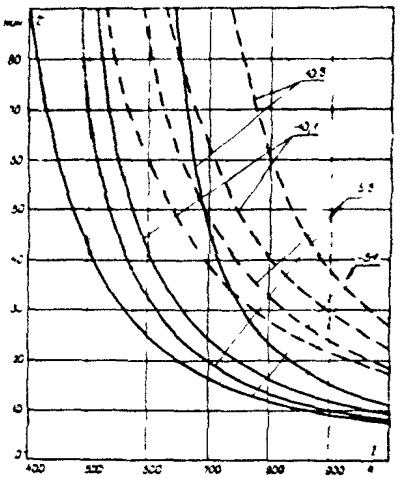


Рис.П2.I3. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод М I50: ——— D = 3 см; – – – D = 5 см

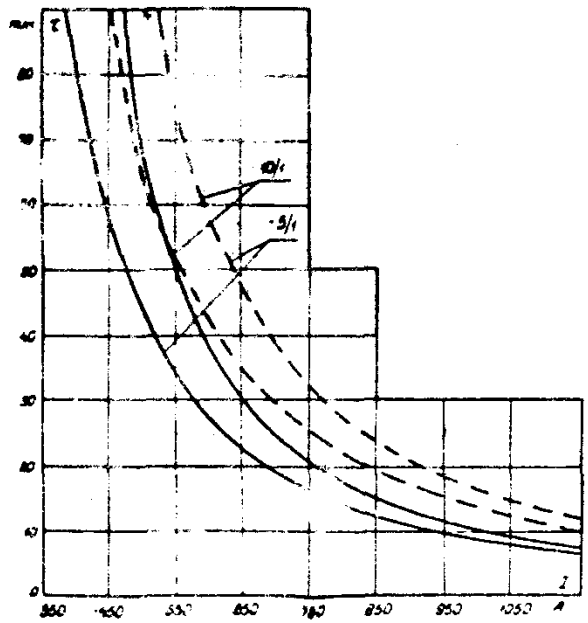


Рис.П2.14. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.

Провод М 150: ——— D = 5 см; – – – D = 7 см

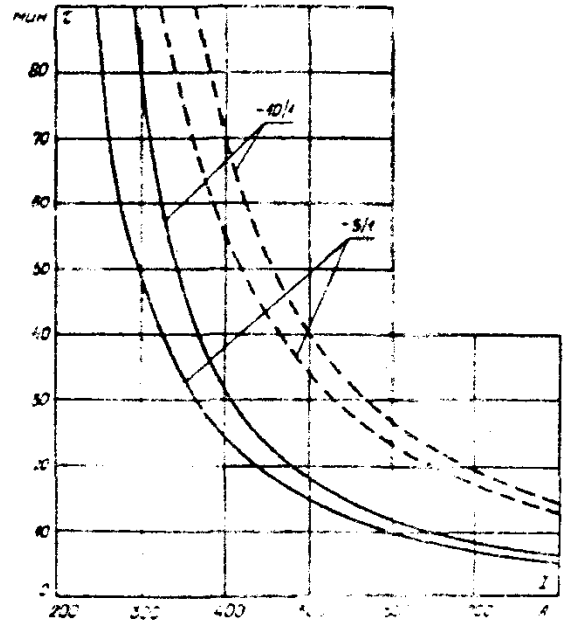


Рис.П2.15. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока

Провод М 150: ——— D = 5 см; – – – D = 10 см

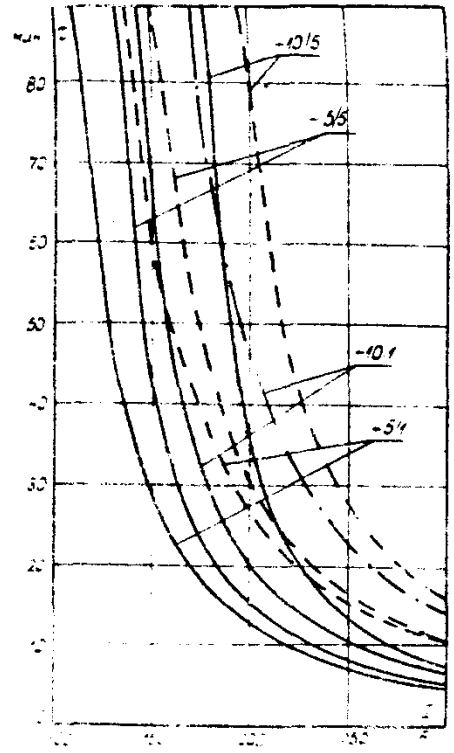
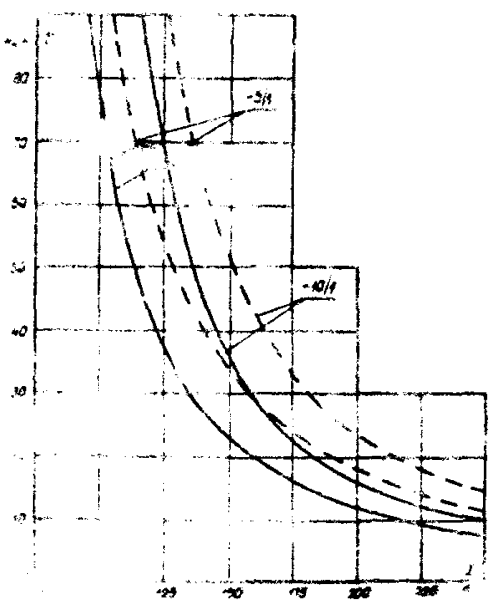
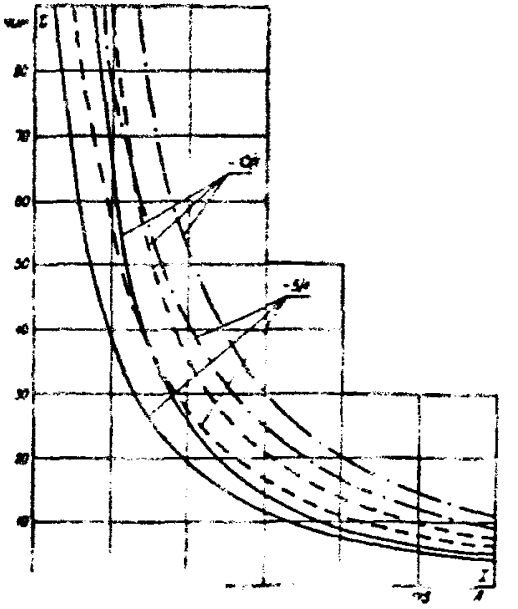


Рис.П2.16. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока

Провод М 25: ——— D = 3 см; – – – D = 5 см





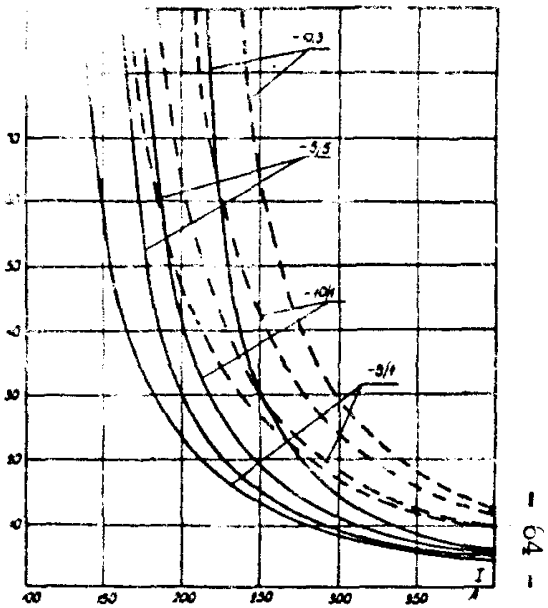


Рис.П2.19. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод А 35 ——— D = 3 см; – – – D = 5 см

Рис.П2.1[illegible]. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.

D = 5
D

[illegible]мость времени. γ = 0,2)

——— D = [illegible] см;
– – – D = [illegible] см;
—·— D = 10 см

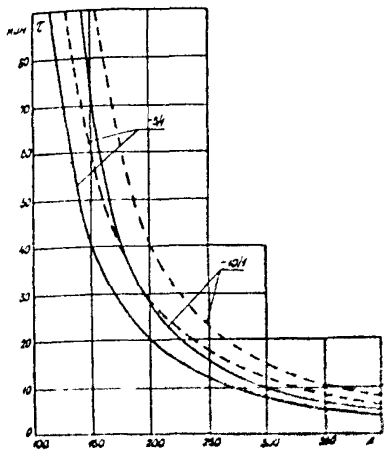


Рис.П2.20. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.

Провод А 35: ——— D = 5 см; – – – D = 7 см

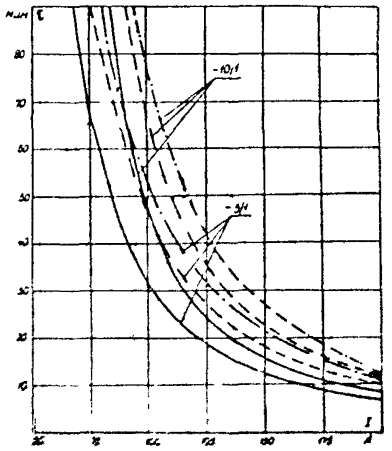


Рис.П2.21. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод А 35: ——— D = 5 см; – – – D = 7 см; – · – D = 10 см

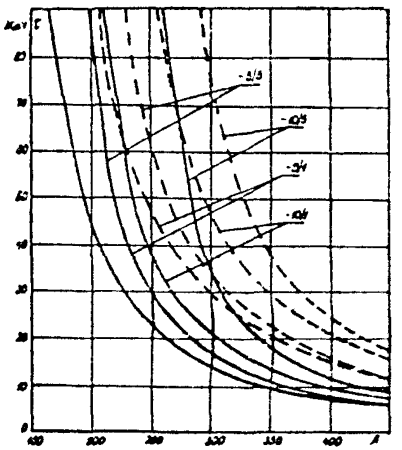


Рис.П2.22. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод А 50: ——— D = 3 см; – – – D = 5 см

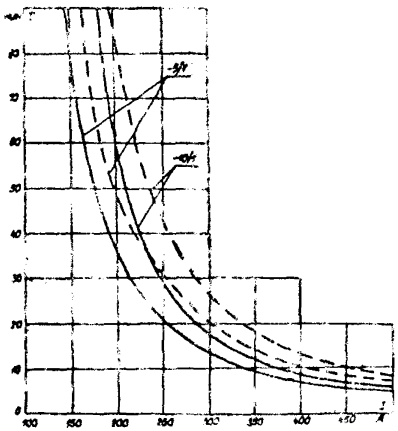


Рис.П2.23. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.
Провод А 50: ——— D = 5 см;
– – – D = 7 см

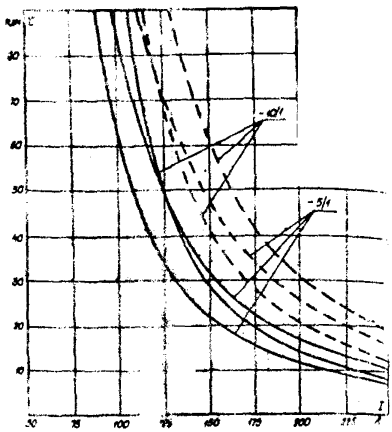


Рис.П2.24. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2 от тока.
Провод А 50: ——— D = 5 см;
– – – D = 7 см;
– · – D = 10 см

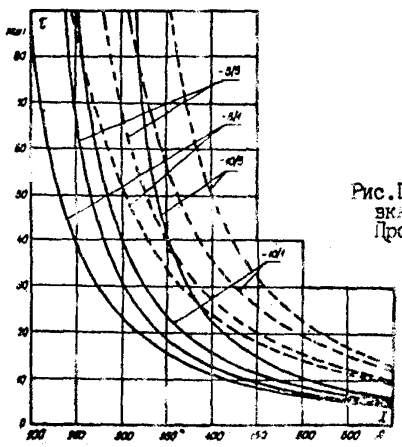


Рис.П2.25. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока
Провод А 70: ——— D = 3 см
– – – D = 5

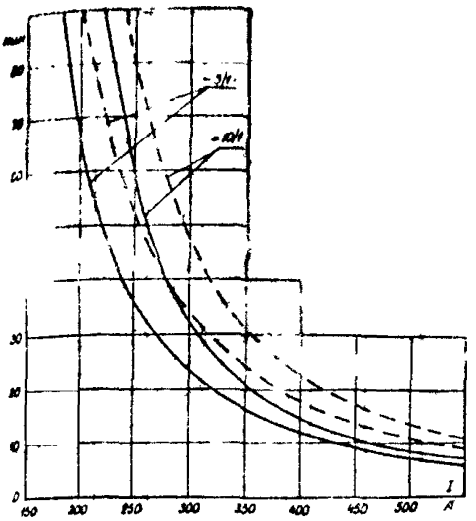


Рис.П2.26. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А 70: ——— $D = 5$ см;
– – – $D = 7$ см

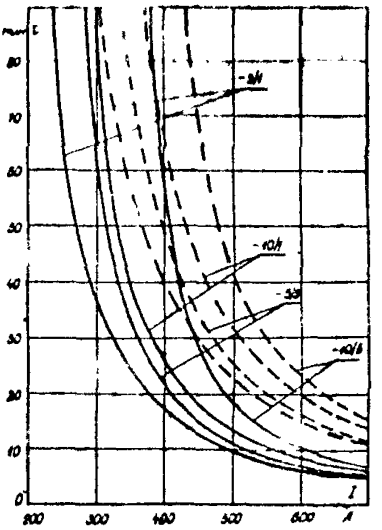


Рис.П2.27. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод А 95: ——— $D = 5$ см;
– – – $D = 5$ см

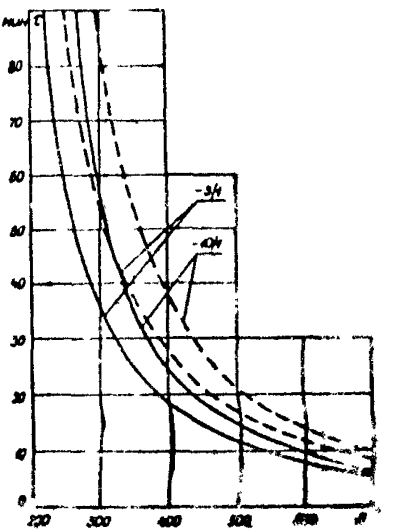


Рис.П2 28. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.
Провод А 95: ——— $D = 5$ см;
– – – $D = 7$ см

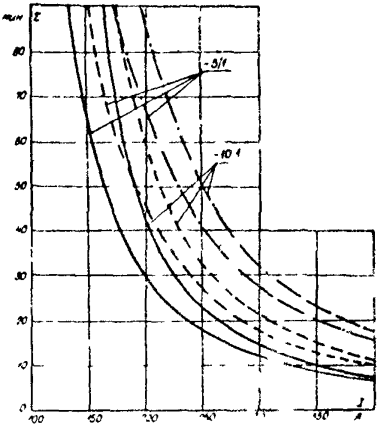


Рис.П2.29. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод А 95: ——— D = 5 см;
– – – D = 7 см;
—·— D = 10 см

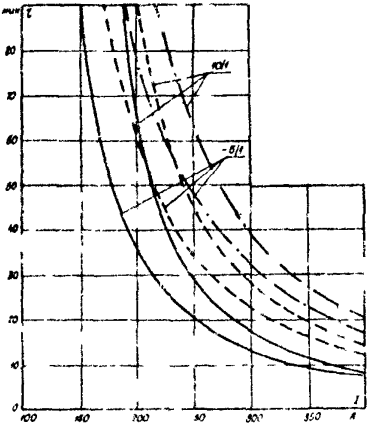


Рис.П2.30. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод А 120: ——— D = 4 см;
– – – D = 6 см;
—·— D = 8 см

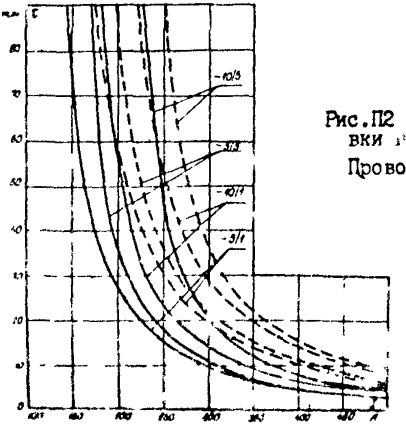


Рис.П2 31. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод АС 35/6,2: ——— D = 4 см;
– – – D = 5 см

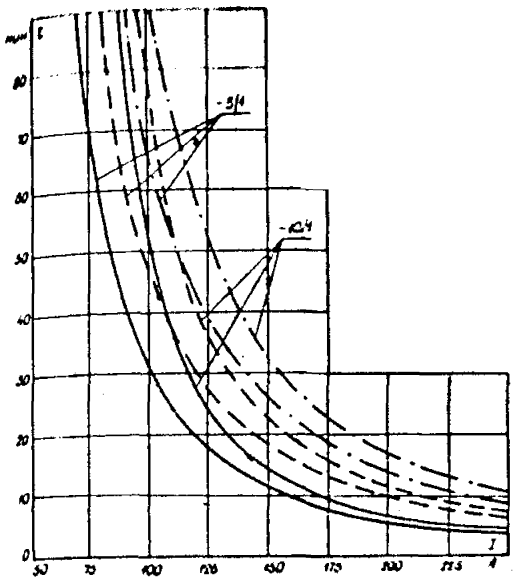


Рис.П2.32. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод АС 35/6,2: _____ D = 4 см; – – – D = 6 см; – · – D = 8 см

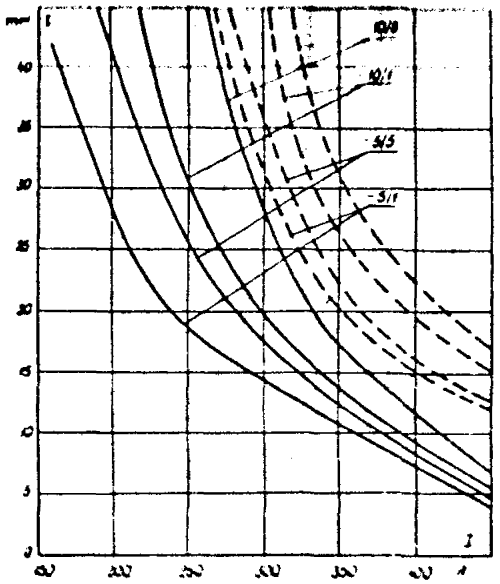


Рис.П2.33. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.

Провод АС 50/8,0: _____ D = 3 см; – – – D = 5 см

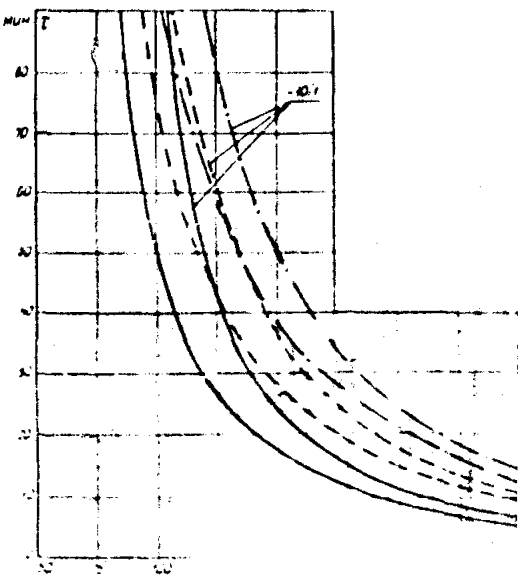


Рис.П2.34. Зависимость времени изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод АС 50/8,0: _____ D = 4 см; – – – D = 6 см; – · – D = 8 см

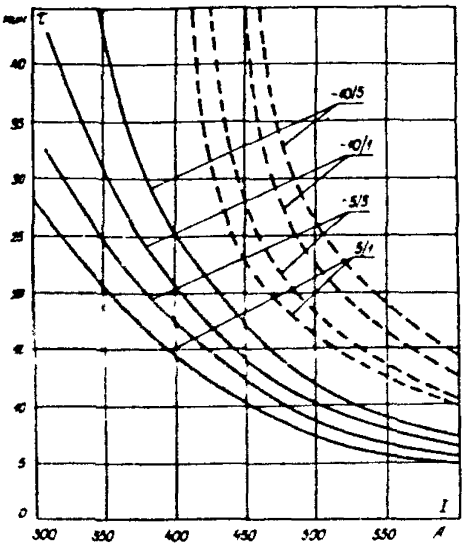


Рис.П2.35. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод АС 70/11: ——— D = 3 см;
– – – D = 5 см

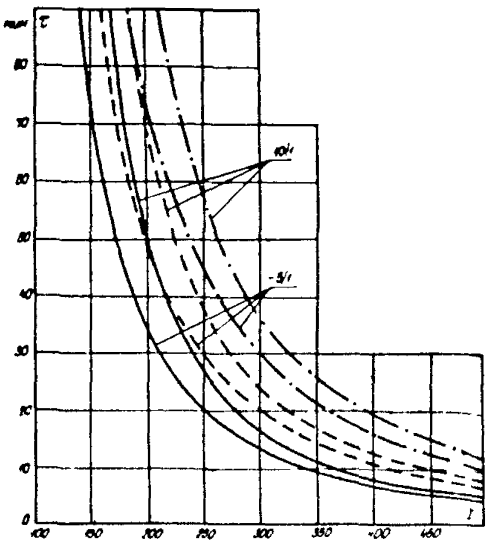


Рис.П2.36. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока.

Провод АС 70/11: ——— D = 4 см;
– – – D = 6 см;
– · – D = 8 см

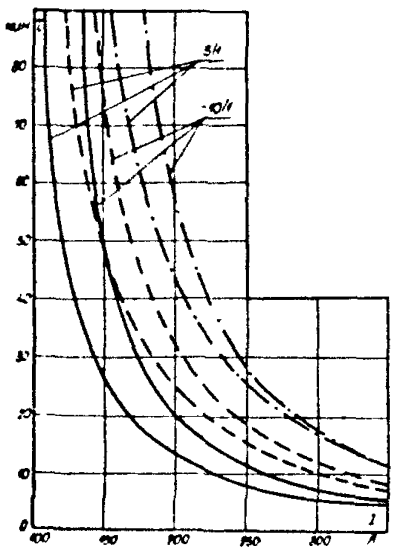


Рис.П2.37. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока.

Провод АС 70/11: ——— D = 4 см;
– – – D = 6 см;
– · – D = 8 см

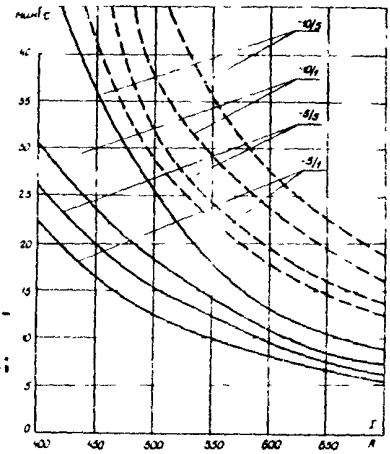


Рис.П2.38. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0{,}9$) от тока. Провод АС 95/16: _____ $D = 3{,}5$ см; – – – $D = 5$ см

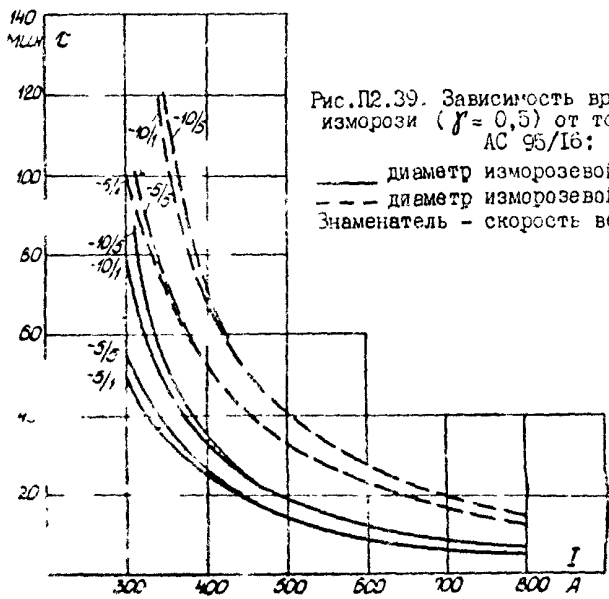


Рис.П2.39. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0{,}5$) от тока. Провод АС 95/16:

_____ диаметр изморозевой муфты 5 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 10 см.
Знаменатель - скорость ветра м/с

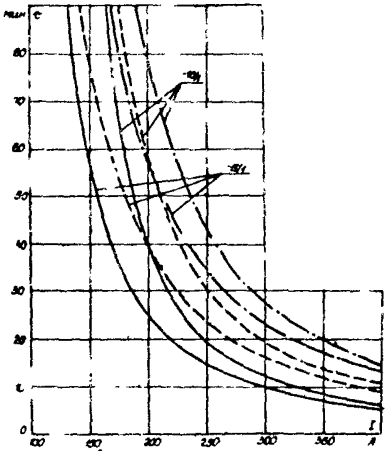


Рис.П2.40. Зависимость времени плавки изморози от тока (γ = 0,2).

Провод АС 95/16: _____ D = 4 см; – – – D = 6 см; – · – D = 8 см

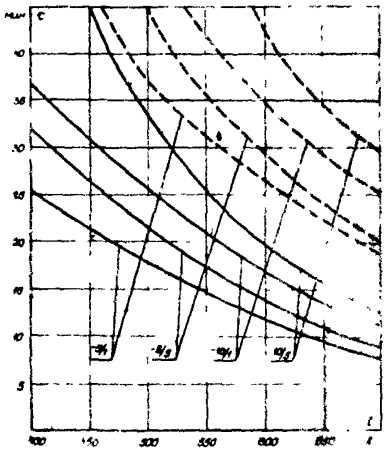


Рис.П2.41. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока.

Провод АС 120/19: _____ D = 3,5 см; – – – D = 5,5 см

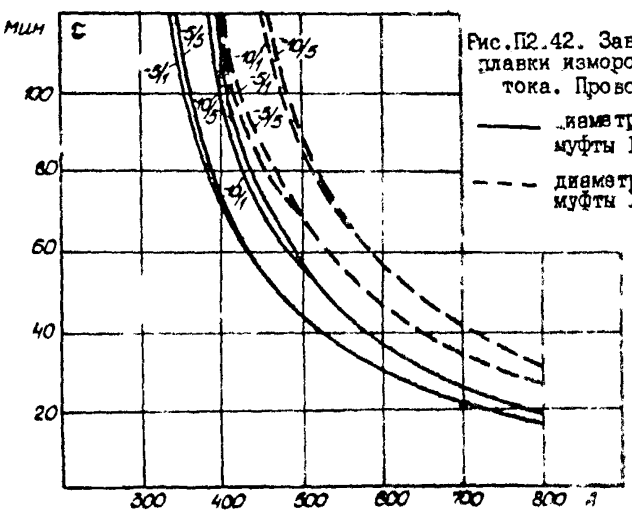


Рис.П2.42. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока. Провод АС 120/19:

_____ диаметр изморозевой муфты 10 см;

– – – диаметр изморозевой муфты 15 см

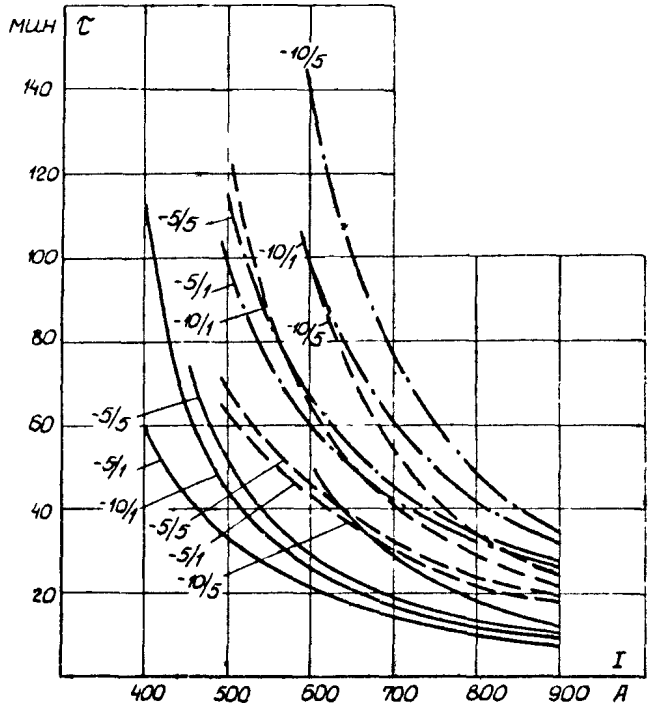


Рис.П2.13. Зависимость времени плавки гололеда (f = 0,9) от тока. Провод АС 150/24:

_____ диаметр гололедной муфты 4 см;
– – – диаметр гололедной муфты 6 см;
—.— диаметр гололедной муфты 8 см

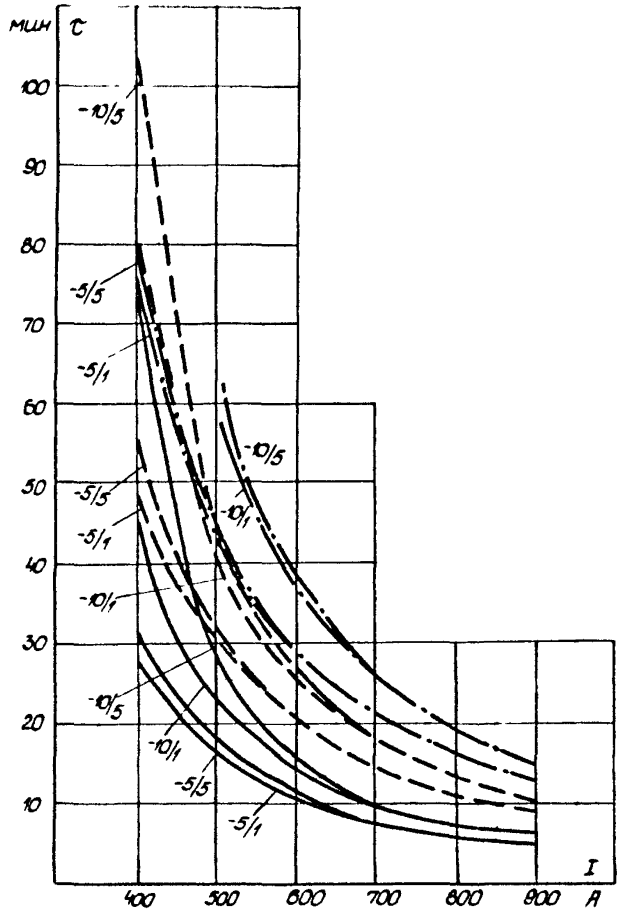


Рис.П2.44. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока. Провод АС 150/24:

——— диаметр изморозевой муфты 4 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 6 см;
—.— диаметр изморозевой муфты 8 см

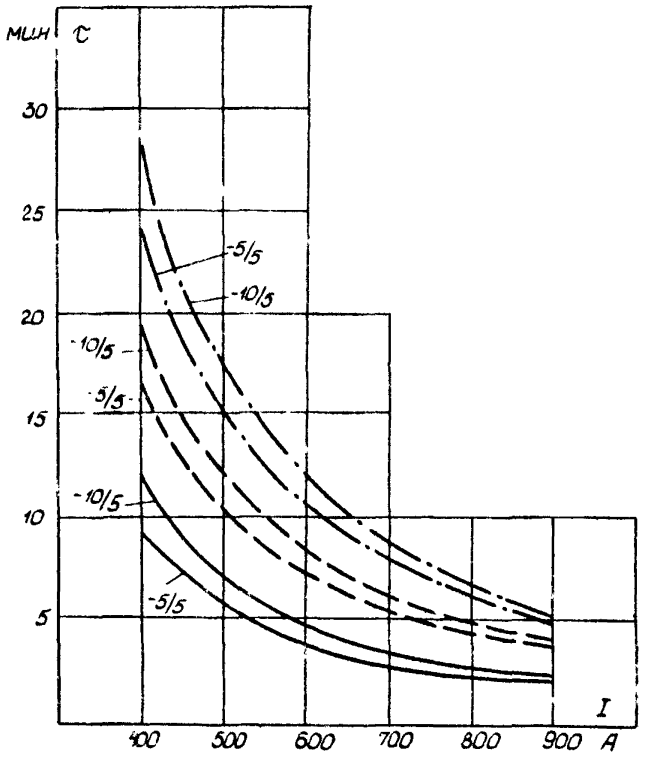


Рис. Пр[illegible]. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока. Провод АС 150/24:

——— диаметр изморозевой муфты 4 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 6 см;
—·— диаметр изморозевой муфты 8 см

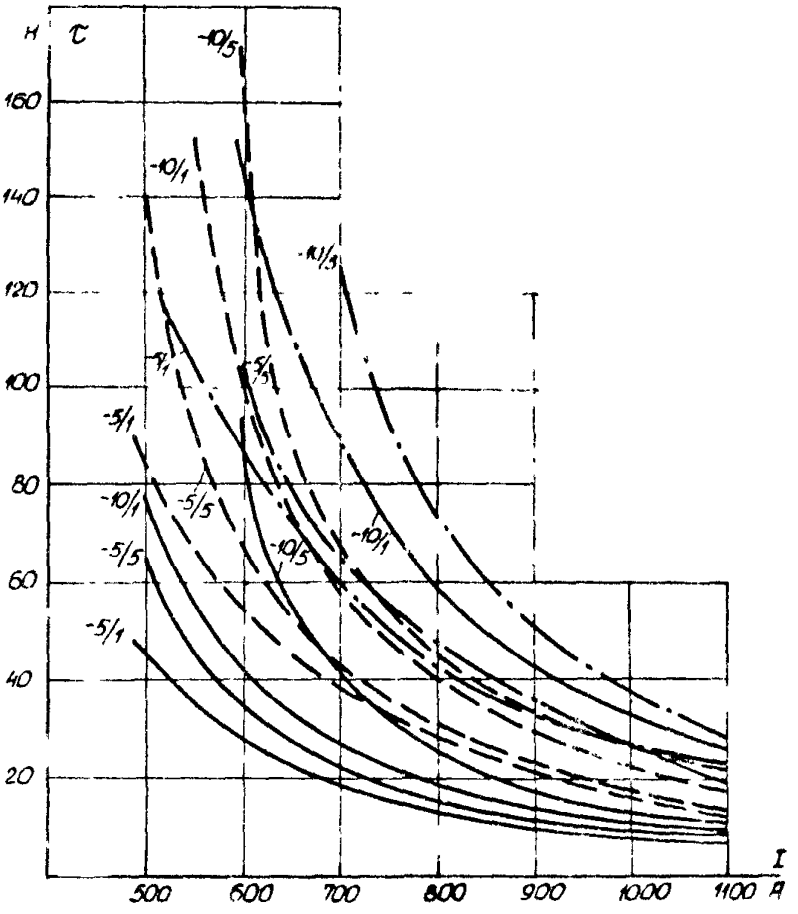


Рис.П2.16. Зависимость времени плавки гололеда (γ = (9) от тока плавки. Провод АС 185/29:

——— диаметр муфты гололеда 4 см;
– – – диаметр муфты гололеда 6 см;
—·— диаметр муфты гололеда 8 см

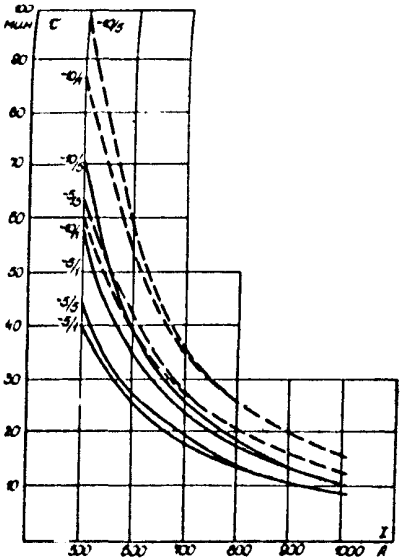


Рис.П2.47. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока плавки. Провод АС 185/29:

_____ диаметр изморозевой муфты 6 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 8 см

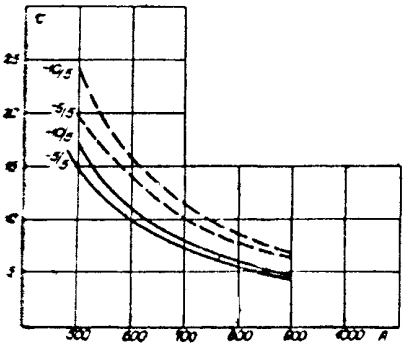


Рис.П2.48. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока плавки. Провод АС 185/29:

_____ диаметр изморозевой муфты 6 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 8 см

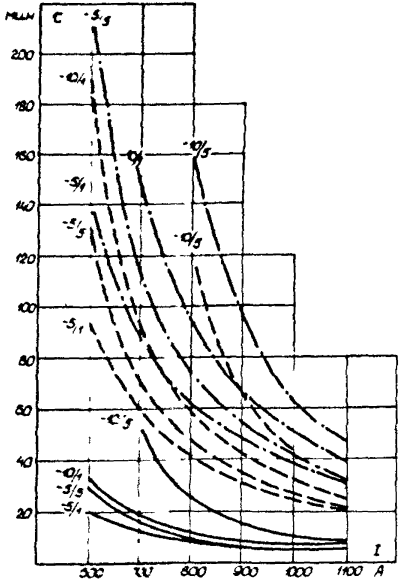


Рис.П2.49. Зависимость времени плавки гололеда (γ = 0,9) от тока. Провод АС 240/39:

_____ диаметр гололедной муфты 3 см;
– – – диаметр гололедной муфты 6 см;
—·— диаметр гололедной муфты 8 см

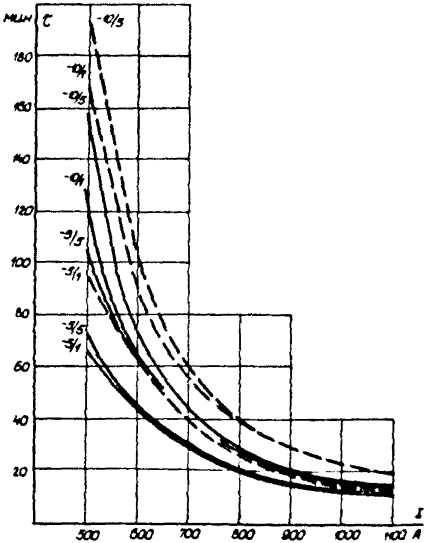


Рис.П2.50. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,5) от тока. Провод АС 240/39:

_____ диаметр изморозевой муфты 6 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 8 см

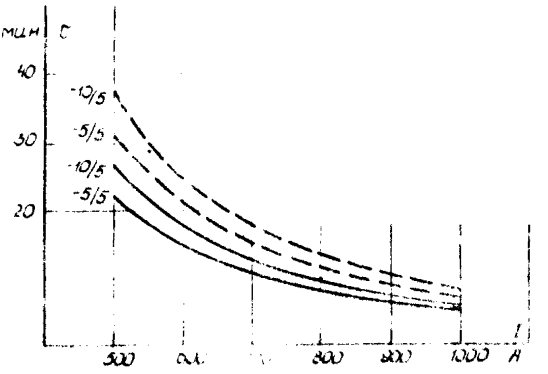


Рис.П2.51. Зависимость времени плавки изморози (γ = 0,2) от тока. Провод АС 240/39:

——— диаметр изморозевой муфты 6 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 8 см

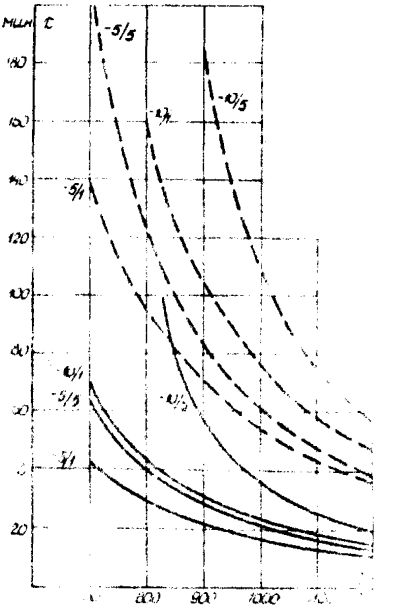


Рис.П2.52. Зависимость времени плавки гололеда от тока. Провод 300/48 (γ = 0,9 г/см³):

диаметр гололедной муфты 6 см;
диаметр гололедной муфты 9 см

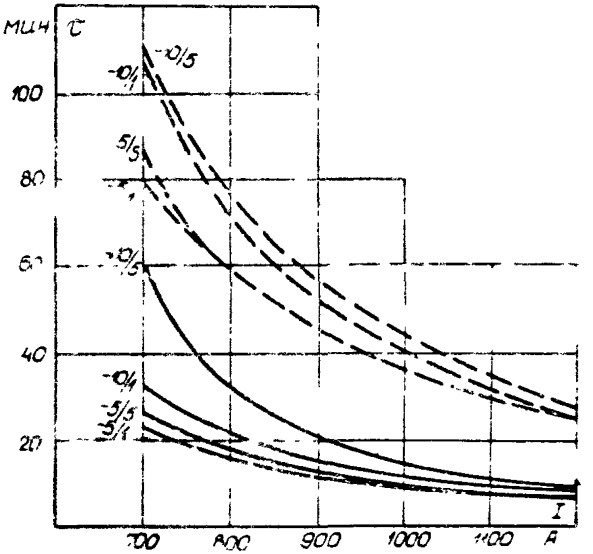


Рис.П2.53. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 (γ = 0,5 г/см^3):

__ __ диаметр изморозевой муфты 5 см;
_ . _ диаметр изморозевой муфты 9 см

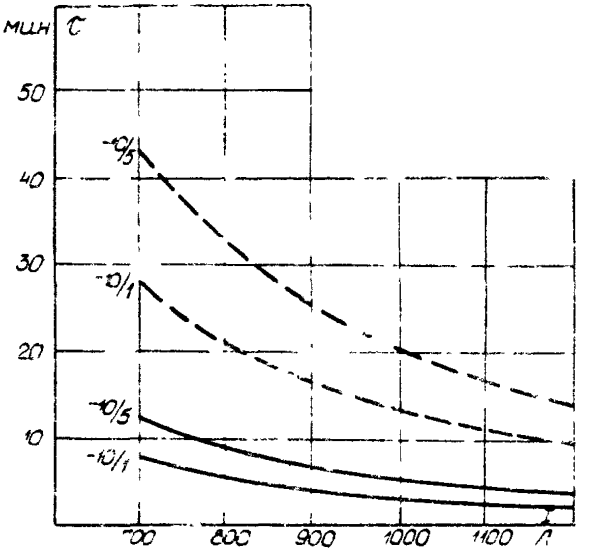


Рис.П2.54. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 (γ = 0,2 г/см^3):

_____ диаметр изморозевой муфты 5 см;
_ _ _ диаметр изморозевой муфты II см

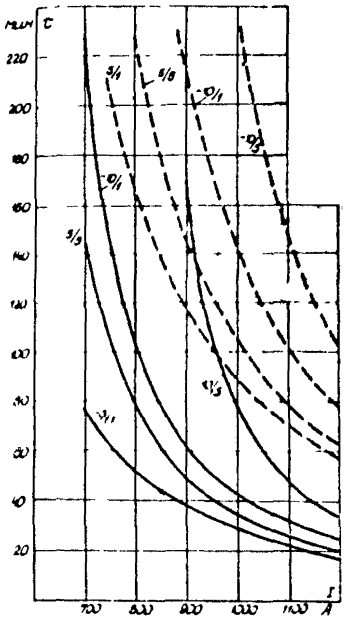


Рис.П2.55. Зависимость времени плавки гололеда от тока (провод АС 400/51 (γ = 0,9 г/см³):

——— диаметр гололедной муфты 5 см;

– – – диаметр гололедной муфты 9 см

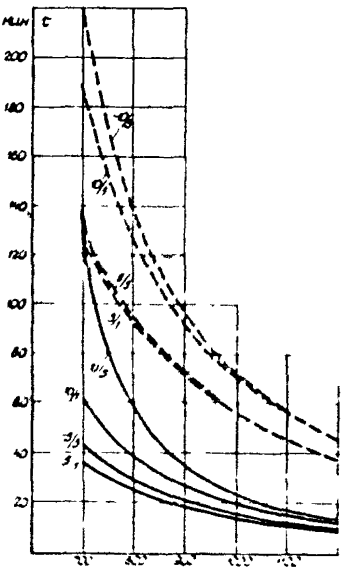


Рис.П2.56. Зависимость времени плавки изморозевых отложений от тока (провод АС 400/51 (γ = 0,5 г/см³)

——— диаметр изморозевой муфты 5 см;

– – – диаметр изморозевой муфты II см

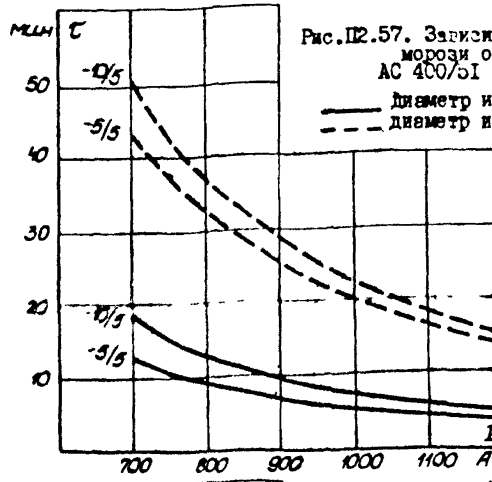


Рис.П2.57. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 400/51 (γ = 0,2 г/см^3):
——— диаметр изморозевой муфты 5 см;
– – – диаметр изморозевой муфты II см

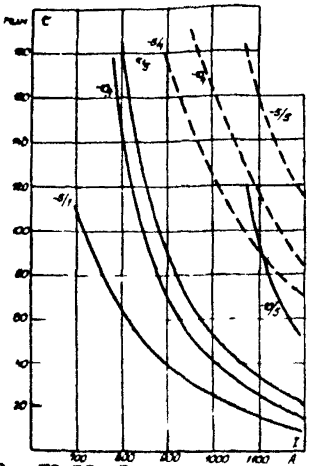


Рис.П2.58. Зависимость времени плавки гололеда от тока (провод АС 500/27 (γ = 0,9 г/см^3
——— диаметр гололедной муфты 5 см;
– – – диаметр гололедной муфты II см

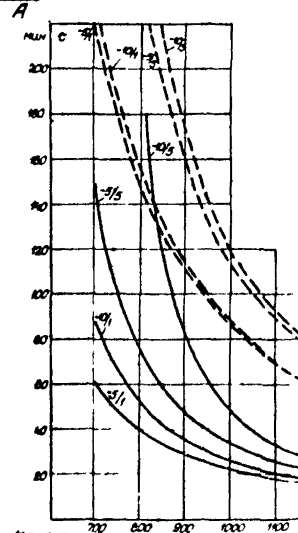


Рис.П2.59. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 500/27 (γ = 0,5 г/см^3):
——— диаметр изморозевой муфты 5 см;
– – – диаметр изморозевой муфты II см

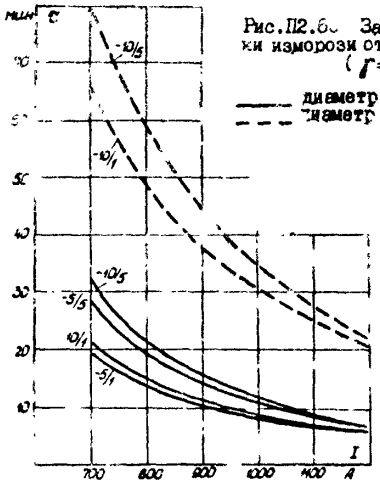


Рис.II2.60. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 500/27 (γ = 0,2 г/см³):

_____ диаметр изморозевой муфты 5 см;
– – – диаметр изморозевой муфты II см

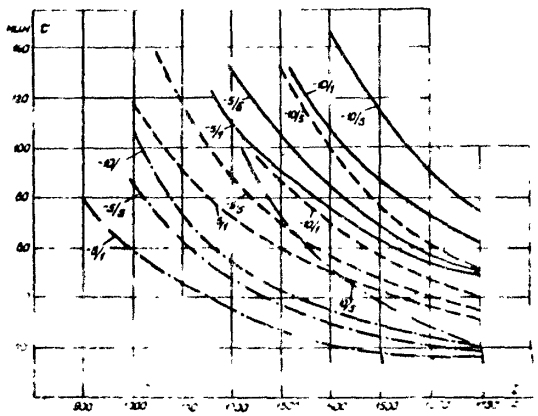


Рис.II2.61. Зависимость времени плавки гололеда от тока. Провод АС 600/72 (γ = 0,9 г/см³):

_____ диаметр гололедной муфты 5,3 см;
– – диаметр гололедной муфты 7,3 см;
– · – диаметр гололедной муфты 9,3 см

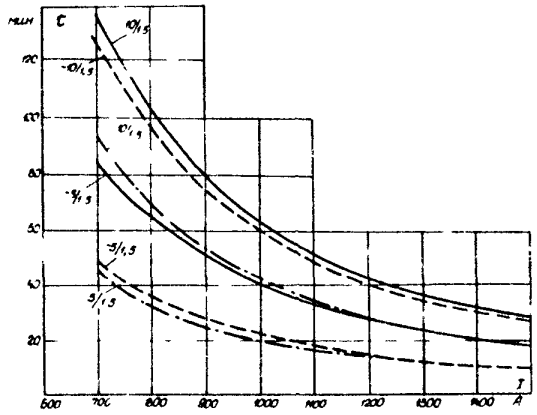


Рис.П2.62. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС0-600 (γ = 0,5 г/см³):

— · — диаметр изморозевой муфты 5,3 см;
——— диаметр изморозевой муфты 9,3 см;
– – – диаметр изморозевой муфты 7,3 см

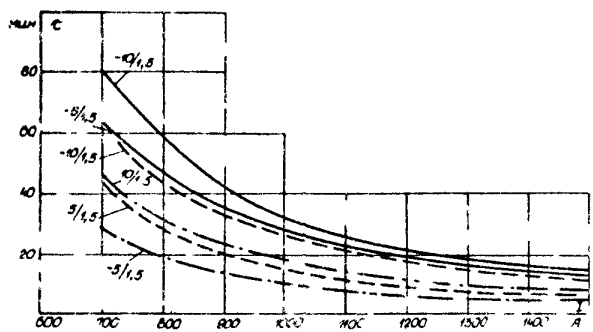


Рис.П2.63. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС0-600 (γ = 0,2 г/см³):

— – диаметр изморозевой муфты 5,3 см
– – – диаметр изморозевой муфты 7,3 см
— · — диаметр изморозевой муфты 9,3 см

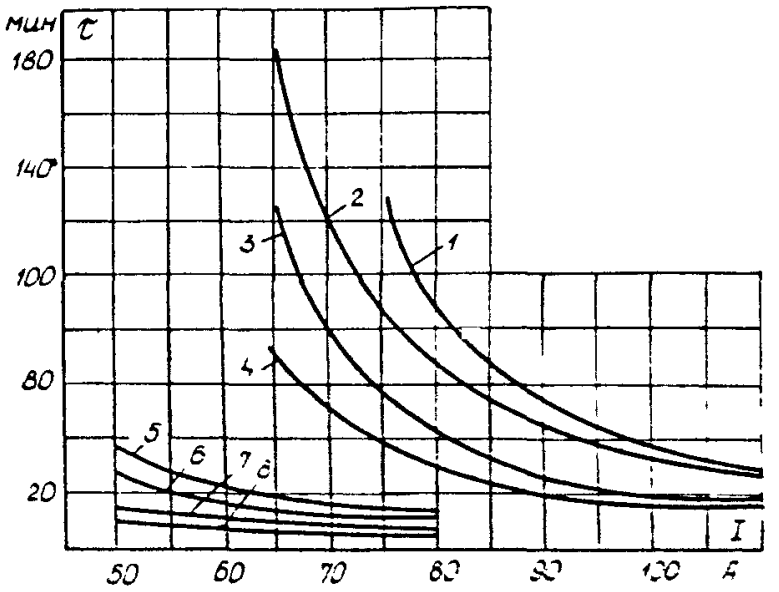


Рис.П2.64. Время и токи плавки гололедных изморози на тросе сечением 35 мм

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см³
I 2	2	I0 5	-5 -5	0,9
3 4	I	I0 5	-5 -5	
5 6	3	I0 I0	-I0 -5	0,2
7 8	I	I0 I0	-I0 -5	

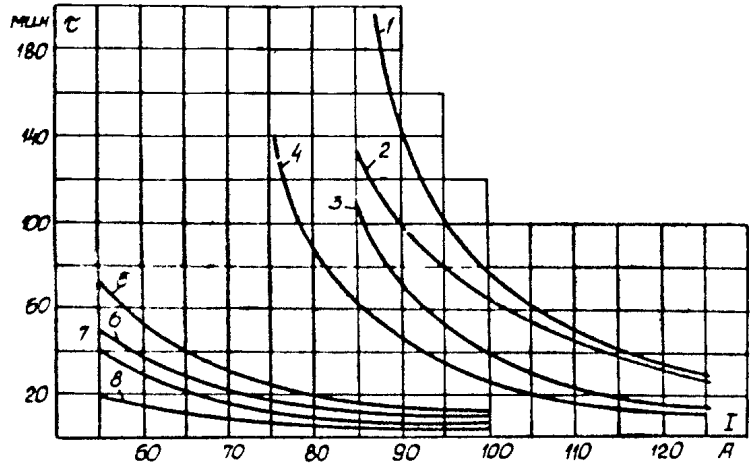


Рис.П2.65. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе С-50

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см³
1/2	2	10/5	-5/-5	0,9
3/4	1	10/5	-5/-5	
5/6	3	10/10	-10/-5	0,2
7/8	1	10/10	-10/-5	

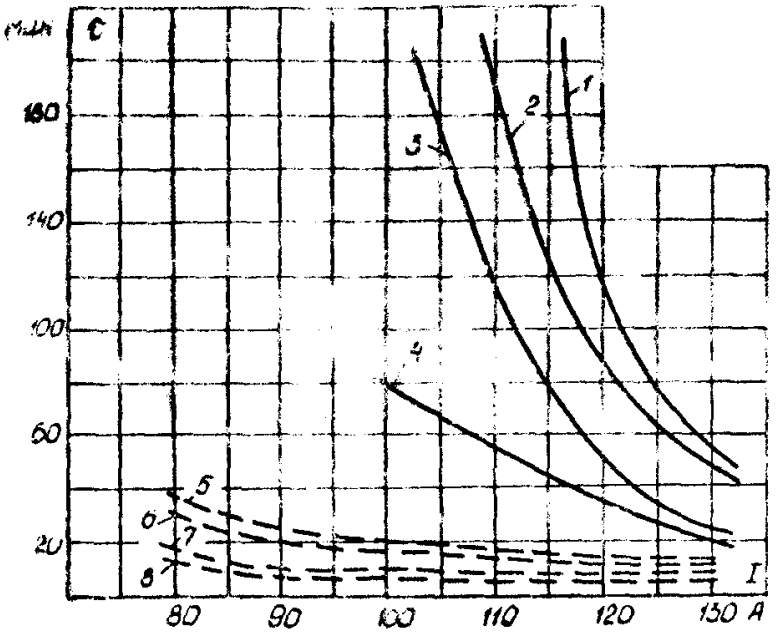


Рис.П2.66. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе С-70

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Объемный вес отложения, г/см³
1/2	2	10/5	-5/-5	0,9
3/4	1	10/5	-5/-5	
5/6	3	10/10	-10/-5	0,7
7/8	1	10/10	-10/-5	

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 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°С и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с п.2.1 настоящих Руководящих указаний.

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

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

где γ - объемный вес льда, г/см^3;

d - диаметр провода без гололеда, см;

b - толщина стенки гололеда, см;

D - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;

t - абсолютное значение температуры воздуха, °С;

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

γ_n - объемный вес материала провода, г/см^3;

S - сечение провода, см^2;

I - ток плавки, А;

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

U - 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 возможность 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^2 и для проводов ПС-25 принимается равной 3 мин, сечением 50 и 70 мм^2 и для проводов ПС-35 - 4 мин, для проводов сечением 95 мм^2 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.

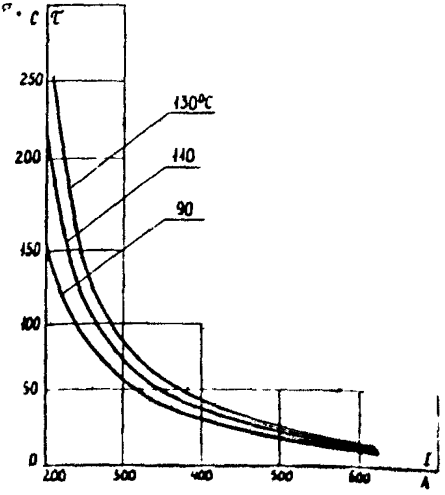


Рис.П3.1. Зависимость нагрева провода АС 25/4,2 от режима плавки

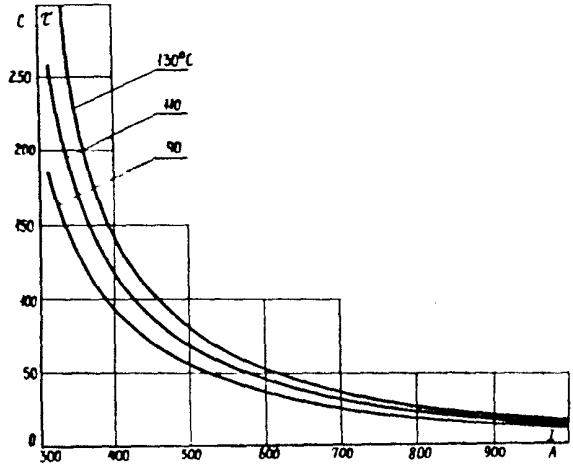


Рис.П3.2. Зависимость нагрева провода АС 35/6,2 от режима плавки

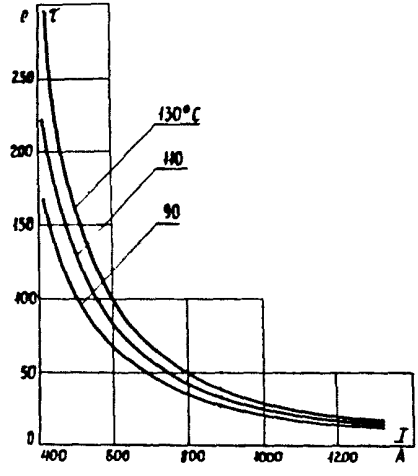


Рис.П3.3. Зависимость нагрева провода АС 50/8,0 от режима плавки

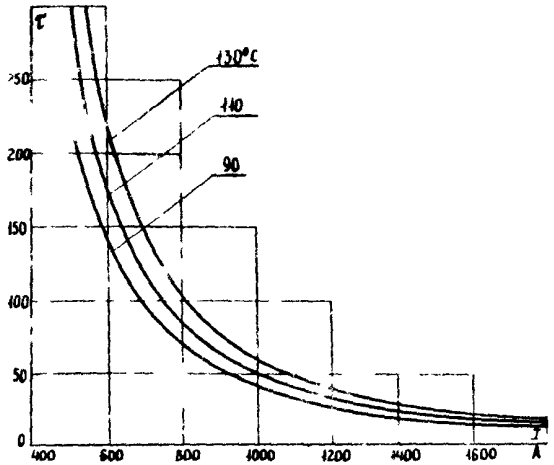


Рис. I3.4. Зависимость нагрева провода АС 70/II от режима пл ки

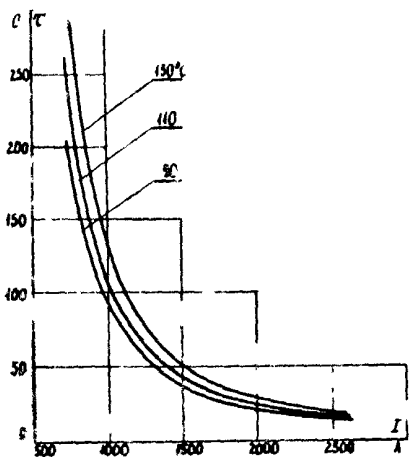


Рис. I3.5. Зависимость нагрева провода АС 95/I6 от режима плавки

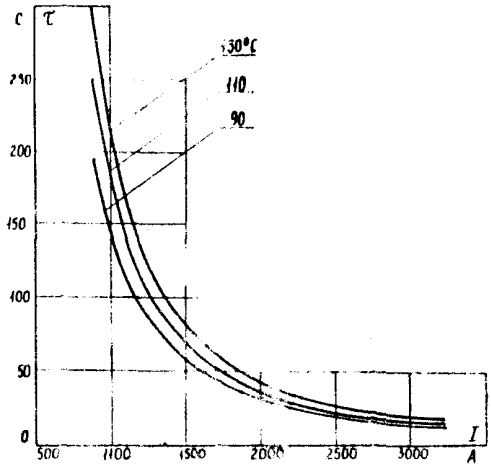


Рис.П3.6. Зависимость нагрева провода АС 120/19 от режима плавки

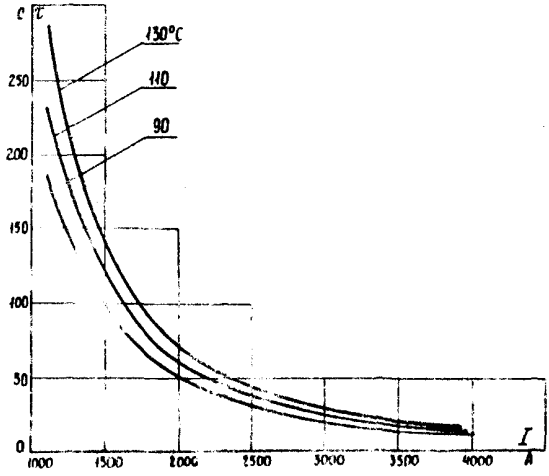


Рис.П3.7. Зависимость нагрева провода АС 150/24 от режима плавки

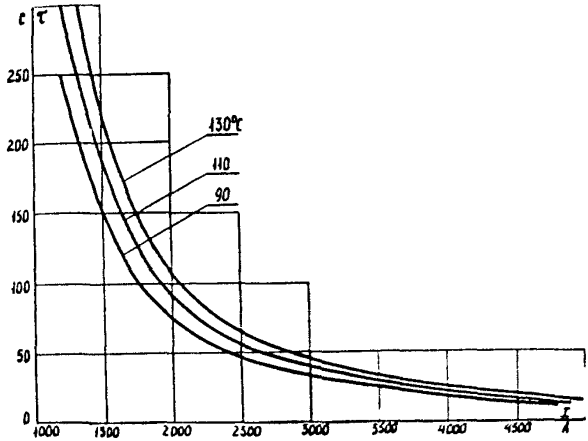


Рис.П3.8. Зависимость нагрева провода АС 185/29 от режима плавки

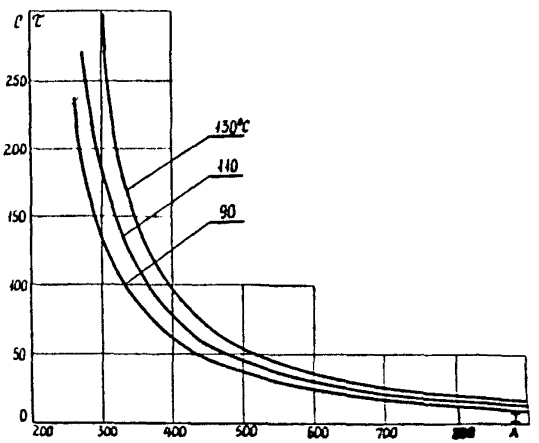


Рис.П3.9. Зависимость нагрева провода А 35 от режима плавки

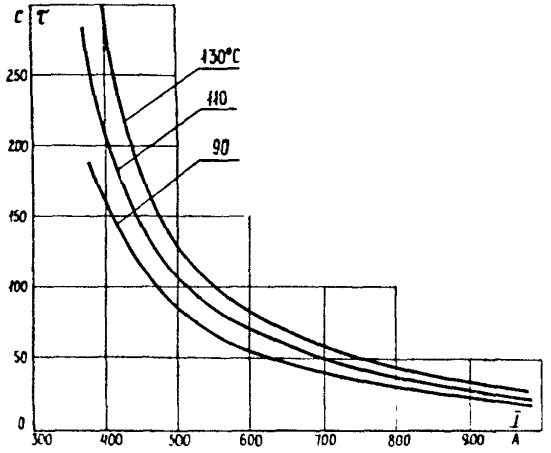


Рис.П3.10. Зависимость нагрева провода А 50 от режима плавки

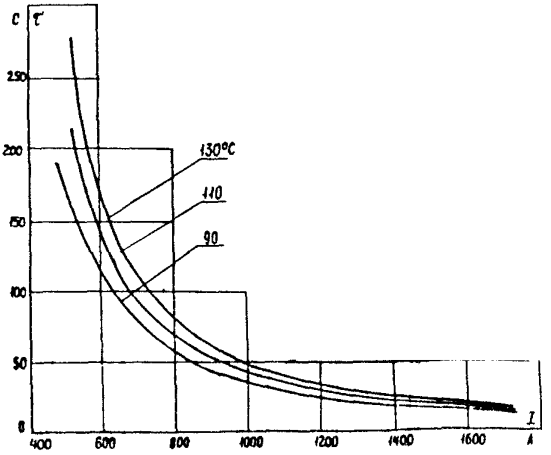


Рис.П3.11. Зависимость нагрева провода А 70 от режима плавки

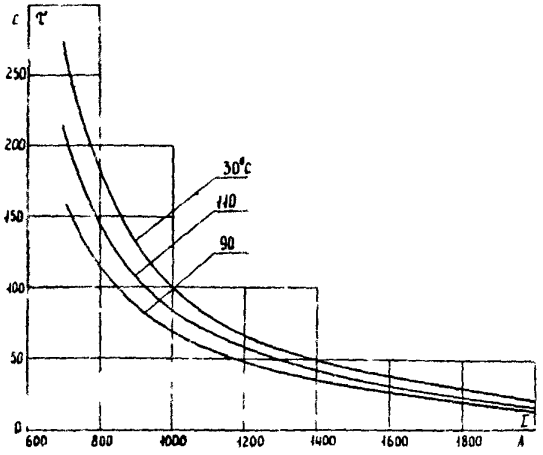


Рис.П3.12. Зависимость нагрева провода А 95 от режима плавки

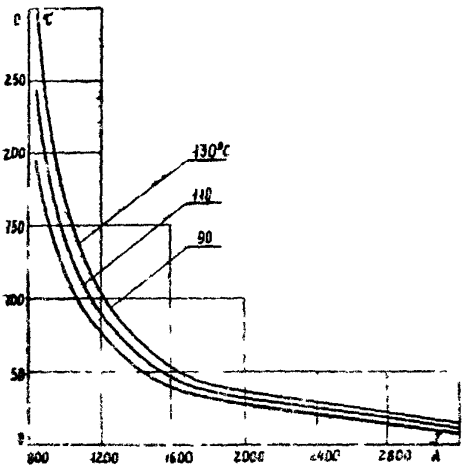


Рис.П3.13. Зависимость нагрева провода А 120 от режима плавки

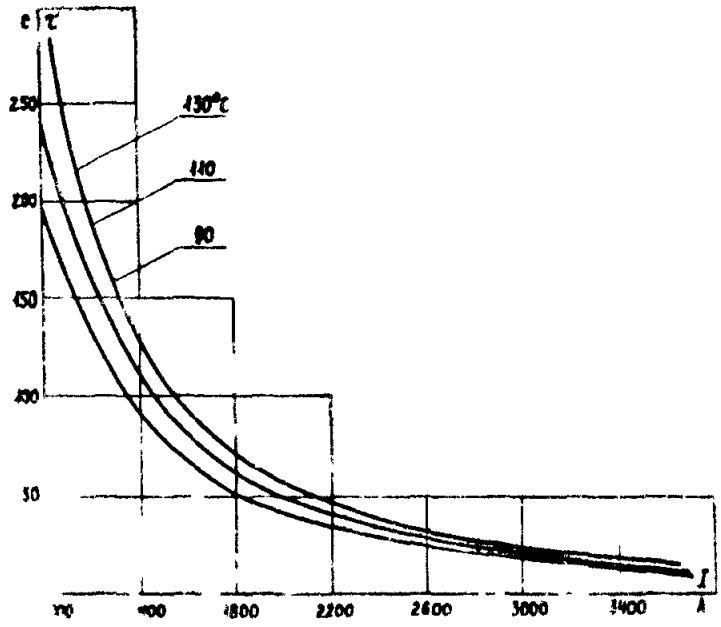


Рис.П3.I4. Зависимость нагрева провода А I50 от режима плавки

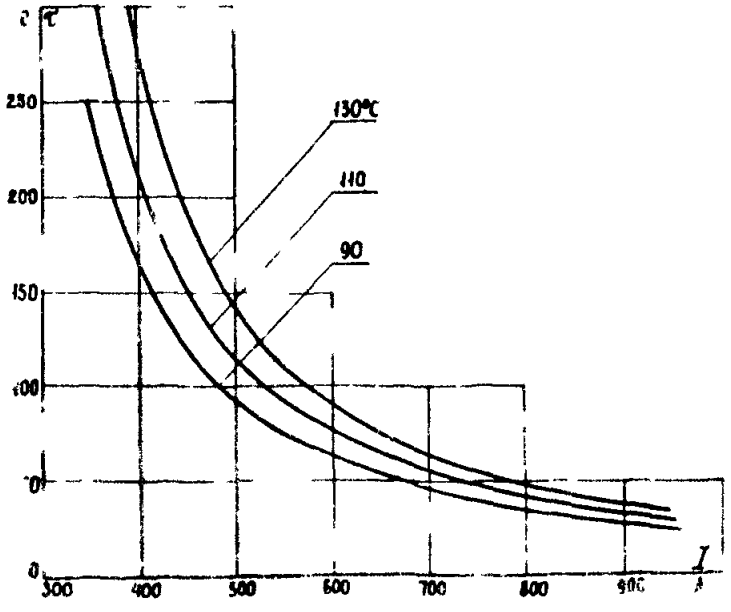


Рис.П3.I5. Зависимость нагрева провода М 35 от режима плавки

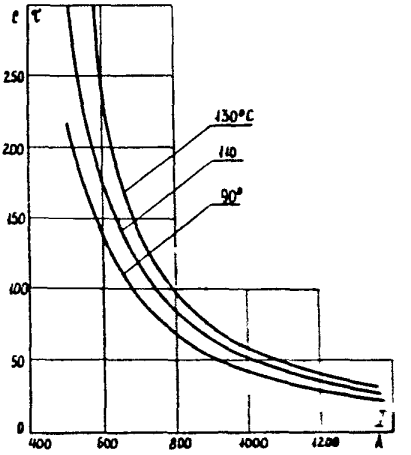


Рис.П3.16. Зависимость нагрева провода М 150 от режима плавки

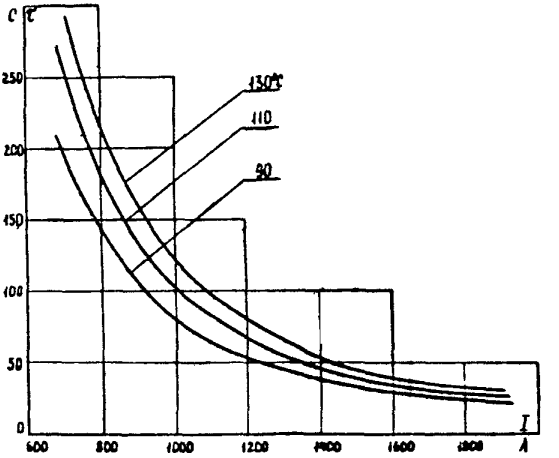


Рис.П3.17. Зависимость нагрева провода М 70 от режима плавки

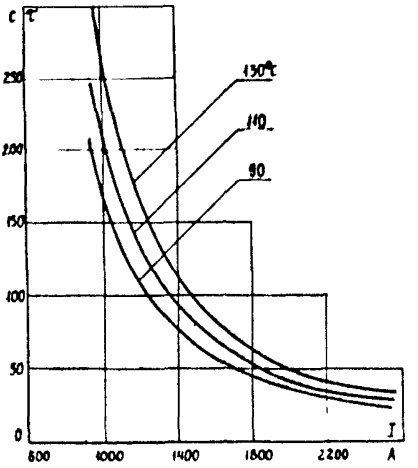


Рис.П3.I8. Зависимость нагрева провода М 95 от режима плавки

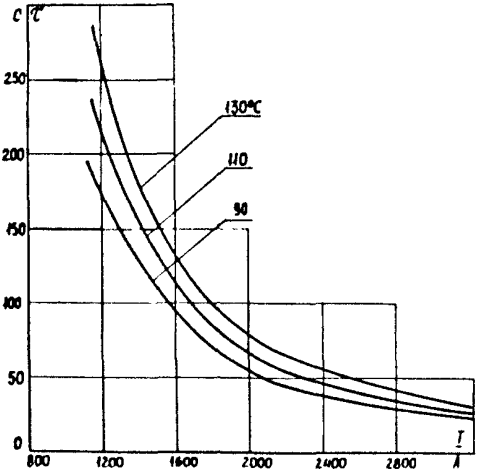


Рис.П3.I9. Зависимость нагрева провода М I20 от режима плавки

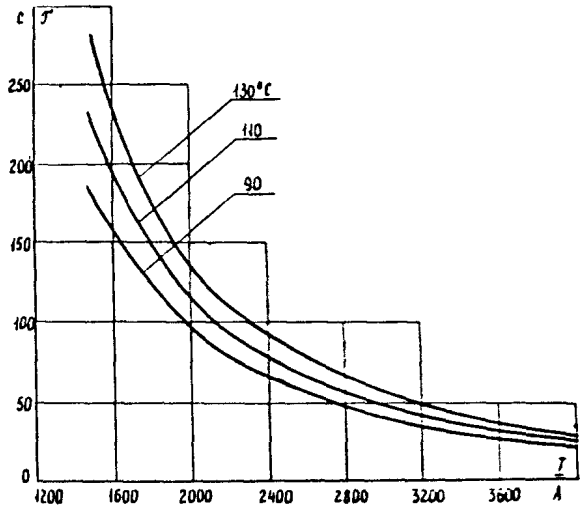


Рис.П3.20. Зависимость нагрева провода М 150 от режима плавки

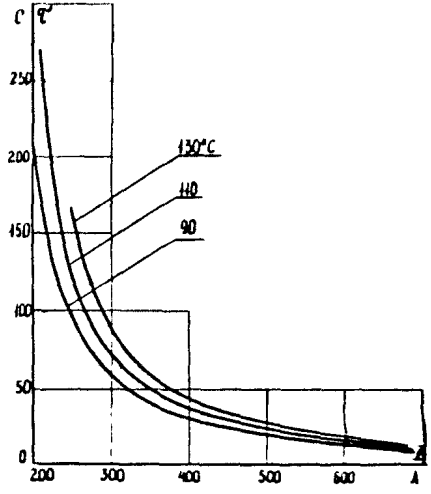


Рис.П3.21. Зависимость нагрева провода АН 25 от режима плавки

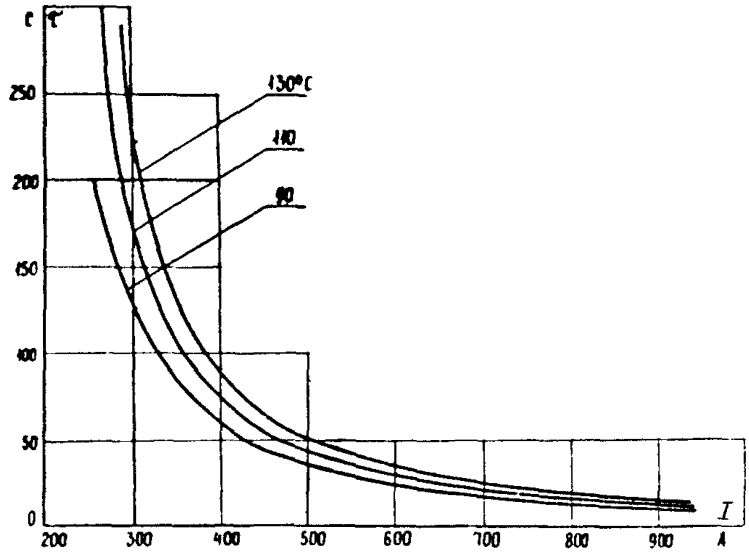


Рис.П3.22. Зависимость нагрева провода АН 35 от режима плавки

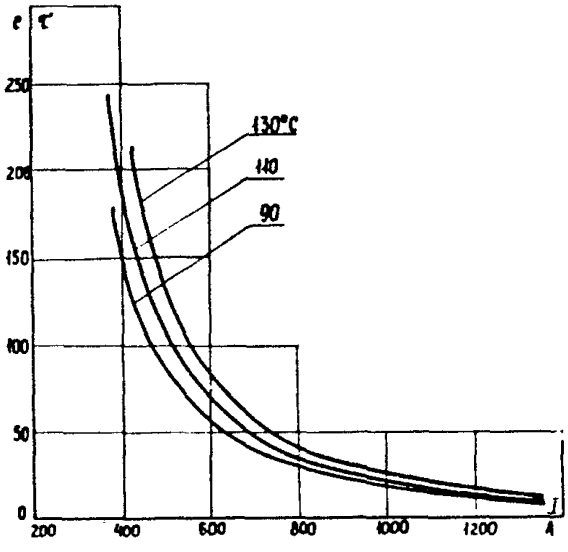


Рис.П3.23. Зависимость нагрева провода АН 50 от режима плавки

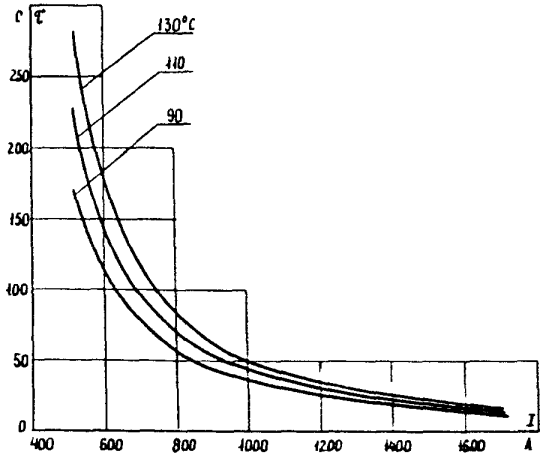


Рис.П3.24. Зависимость нагрева провода АН 70 от режима плавки

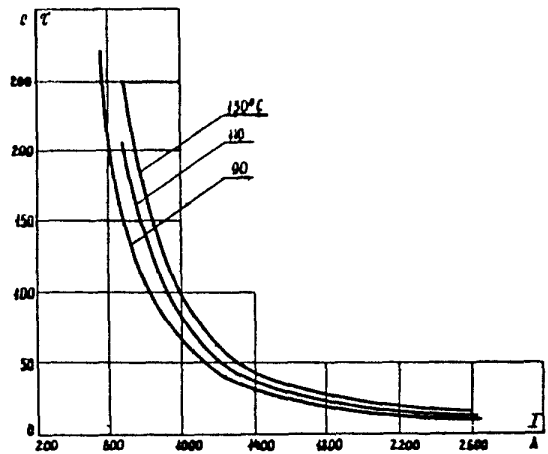


Рис.П3.25. Зависимость нагрева провода АН 95 от режима плавки

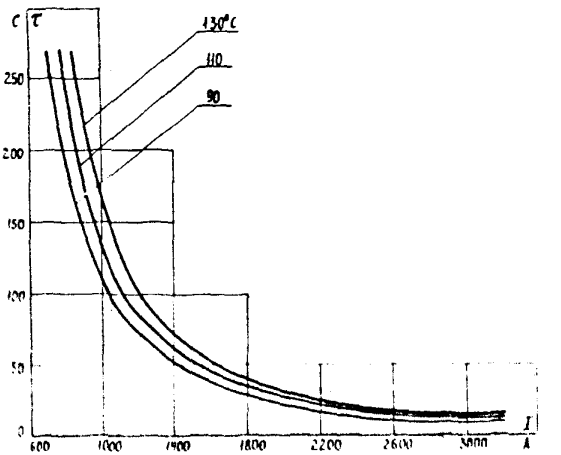


Рис.П3.26. Зависимость нагрева провода АЖ 120 от режима плавки

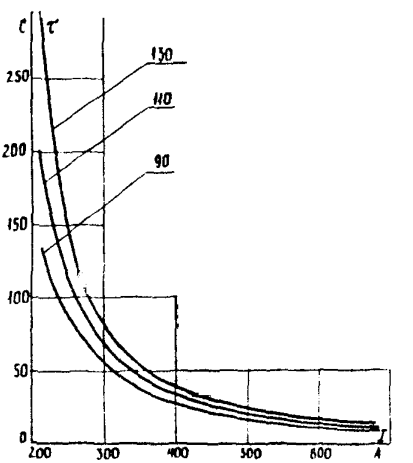


Рис.П3.27. Зависимость нагрева провода АЖ 25 от режима плавки

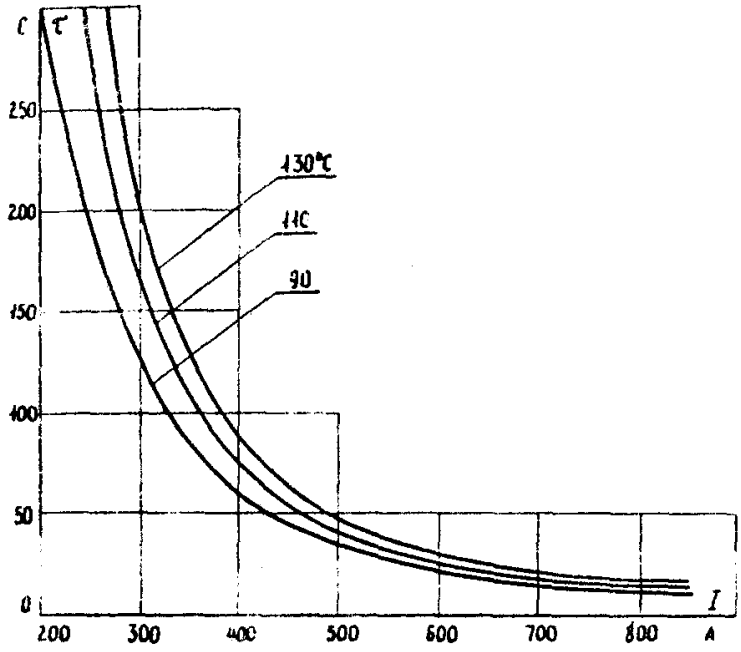


Рис.П3.28. Зависимость нагрева провода АЖ 35 от режима плавки

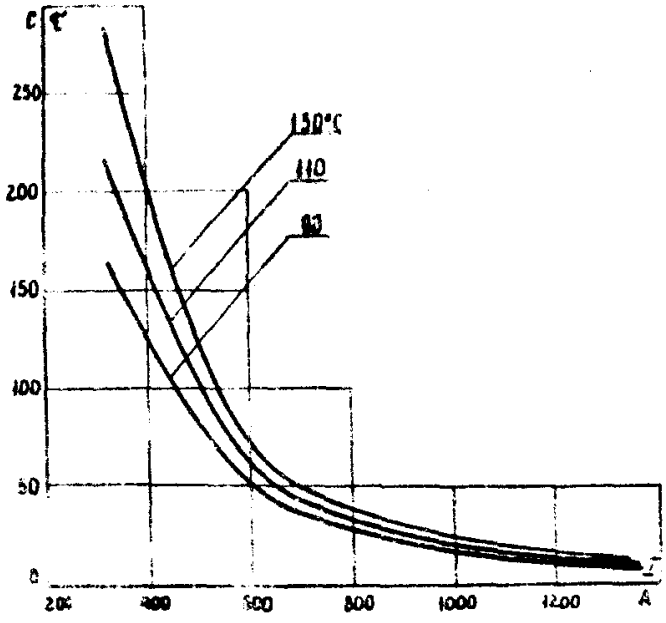


Рис.П3.29. Зависимость нагрева провода АЖ 50 от режима плавки

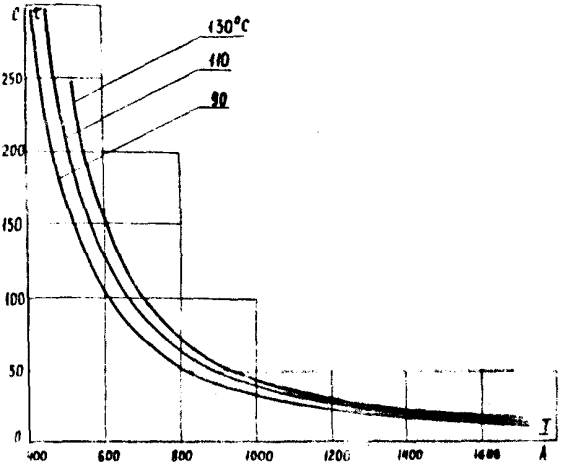


Рис.П3.30. Зависимость нагрева провода АЖ от режима плавки

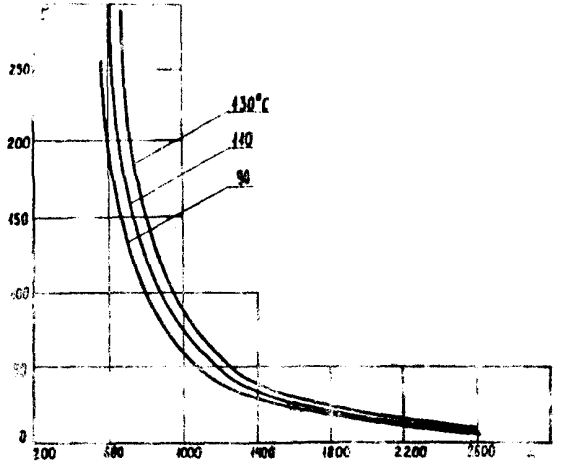


Рис.П3 Зависимость нагрева провода АЖ 06 от режима плавки

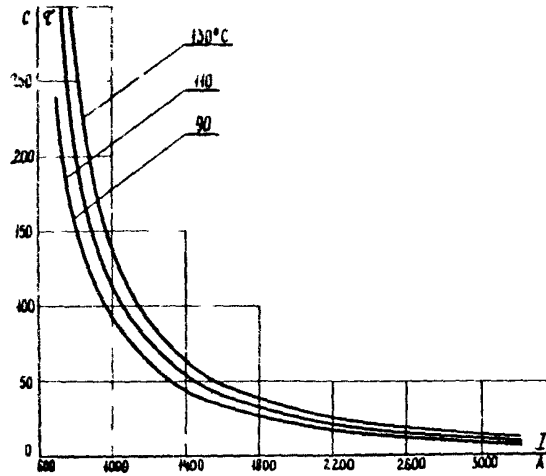


Рис.П3.32. Зависимость нагрева провода АЖ 120 от режима плавки

Приложение 4

ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА И ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ОДНОСТОРОННЕГО ГОЛОЛЕДА

Цифры у кривых означают: в числителе - температура воздуха (°С), в знаменателе - скорость ветра (м/с).

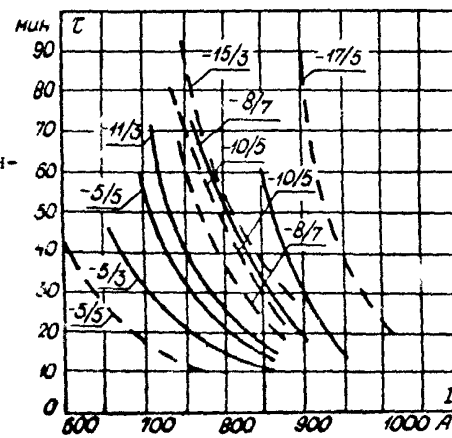


Рис.П4.1. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда на проводах АС 240/ 9:

——— толщина стенки 3 см;
– – – толщина стенки 1 см

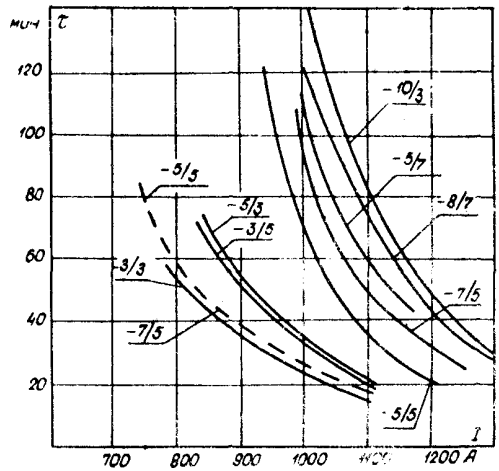


Рис.П4.2. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда на проводах АС 500/27:

——— односторонний гололед с толщиной стенки 3 см;

– – – односторонний гололед, с толщиной покрытый снегом

П р и л о ж е н и е

ЗАВИСИМОСТИ ТОКА В ПРОВОДАХ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЮ ГОЛОЛЕДА

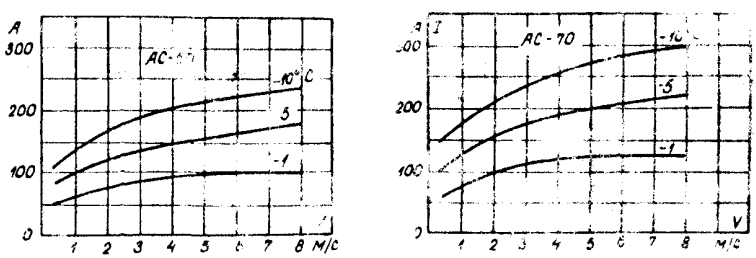


Рис.П5.I. Токи в проводах АС 50/8,0 и АС 70/II, препятствующие образованию гололеда

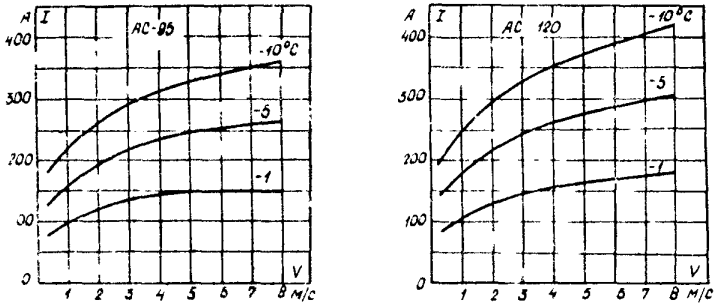


Рис.П5.2. Токи в проводах АС 95/16 и АС 120/19, препятствующие образованию гололеда

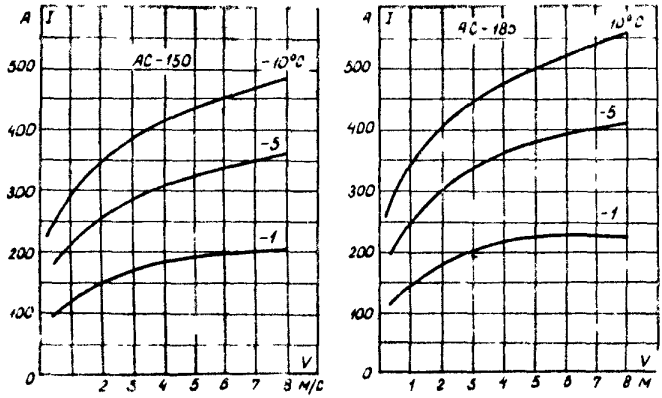


Рис.П5.3. Токи в проводах АС 150/24 и АС 185/29, препятствующие образованию гололеда

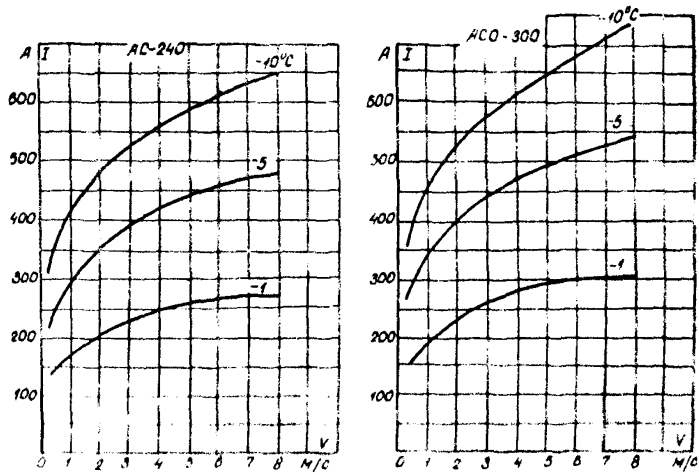


Рис.П5.4. Токи в проводах АС 240/39 и АС 300/48, препятствующие образованию гололеда

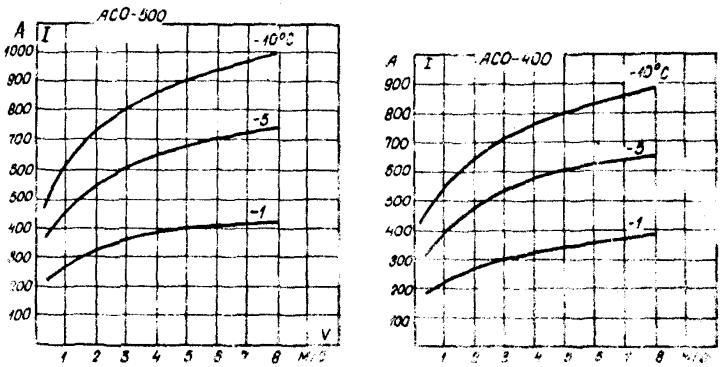


Рис.П5.5. Токи в проводах АС 400/51 и АС 500/64, препятствующие образованию гололеда.

Приложение 6

СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

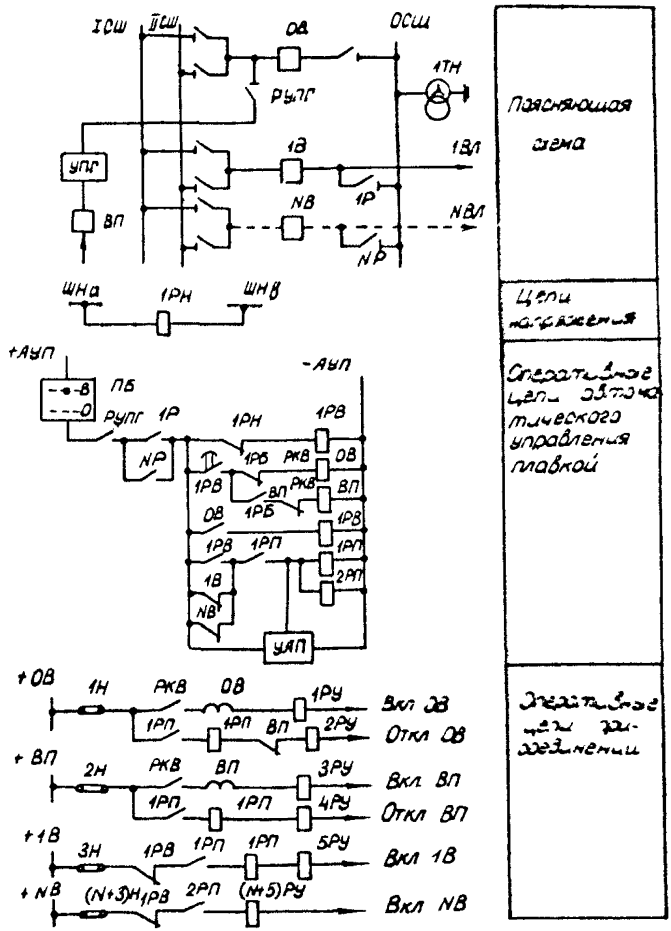


Рис.П6.I. Схема автоматического управления плавкой на подстанции с УПГ

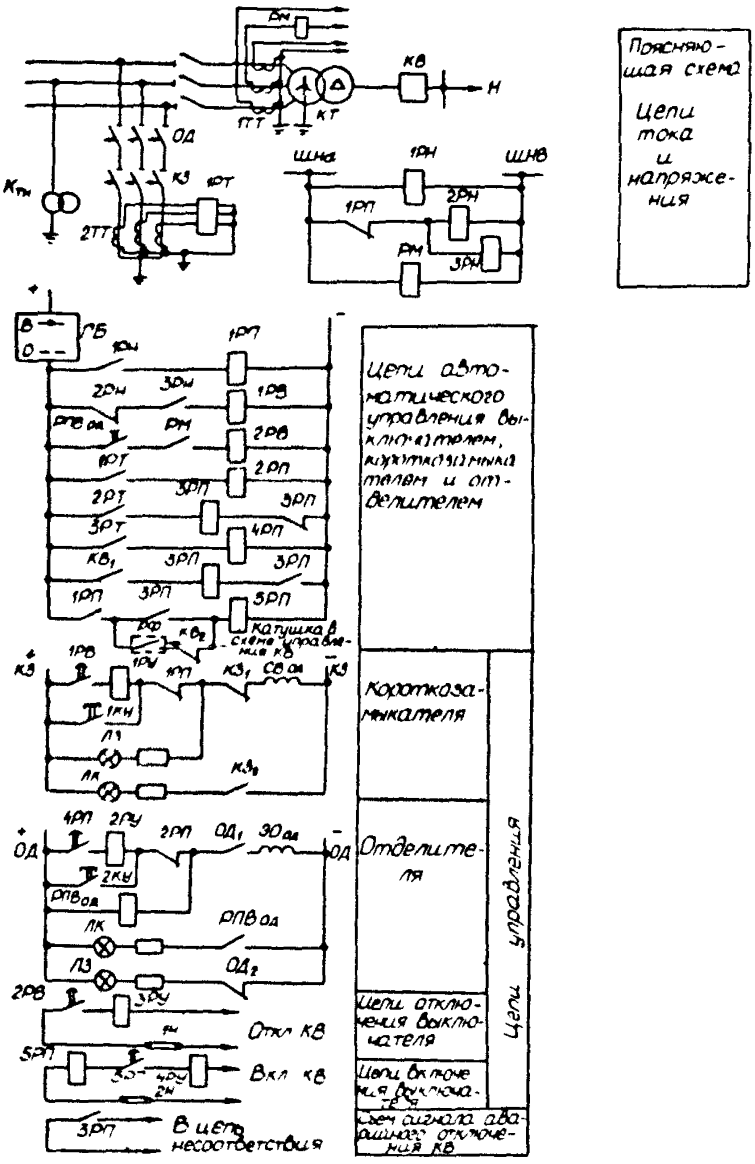


Рис.П6.2. Схема автоматики оконечной подстанции при плавке гололеда переменным током

Приложение 7

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

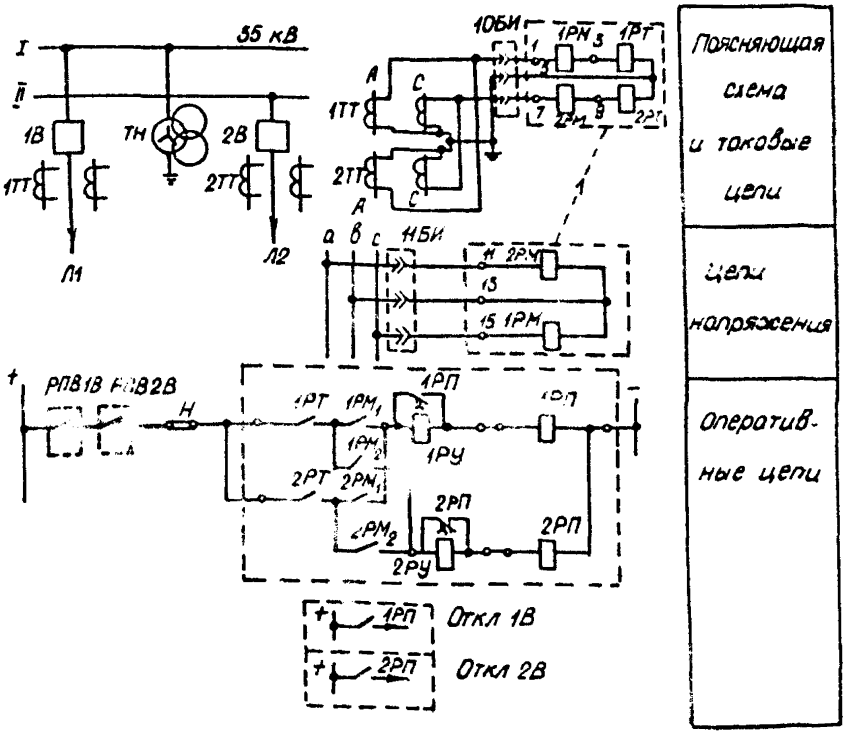
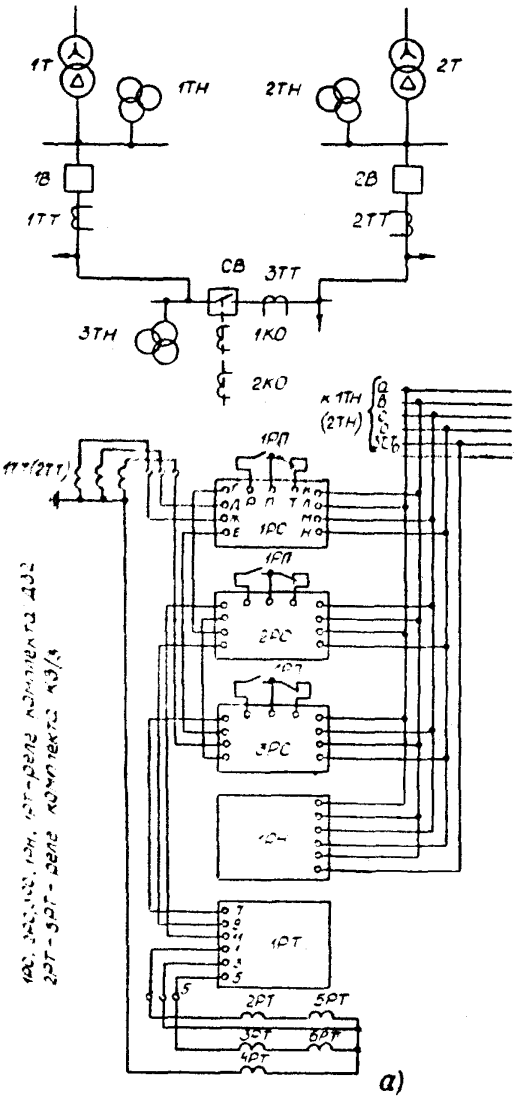


Рис. [illegible]. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на П/3, размещенных на одной подстанции:

1РТ, 2РТ – реле тока РТ40; 1РМ, 2РМ – реле мощности РБ/127I; 1РП, 2РП – промежуточное реле РП 261 (220 В); 1РУ, 2РУ – указательное реле РУ21/-С,025 (0,025 А); 10БИ, 1БИ – испытательный блок БИ-4; М – отключающее устройство ПКР2


1Т
1ТН
2ТН
2Т
1В
2В
1ТТ
2ТТ
СВ
3ТТ
3ТН
1КО
2КО
к 1ТН (2ТН)
1РП
1РС
2РС
3РС
1РТ
2РТ
3РТ
4РТ
5РТ
6РТ
Двухступенчатая направленная дистанционная защита
Блокировка от обрыва цепей напряжения
Трехфазное реле тока
Двухступенчатая токовая защита и реле нулевой последовательности
а)

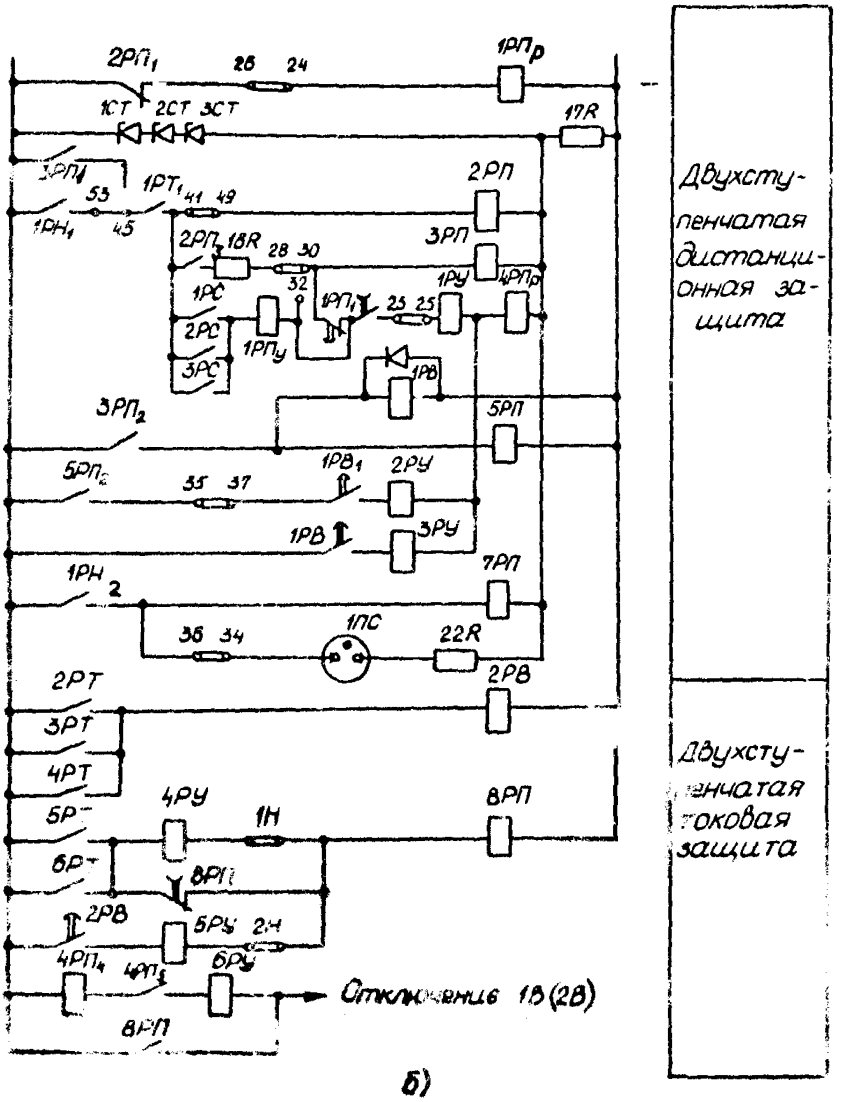


Рис.П7.2. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололедь переменным током от источников, сдвинутых по фазе на П/3: поясняющая схема, цепи тока и напряжения; *б* - оперативные цепи

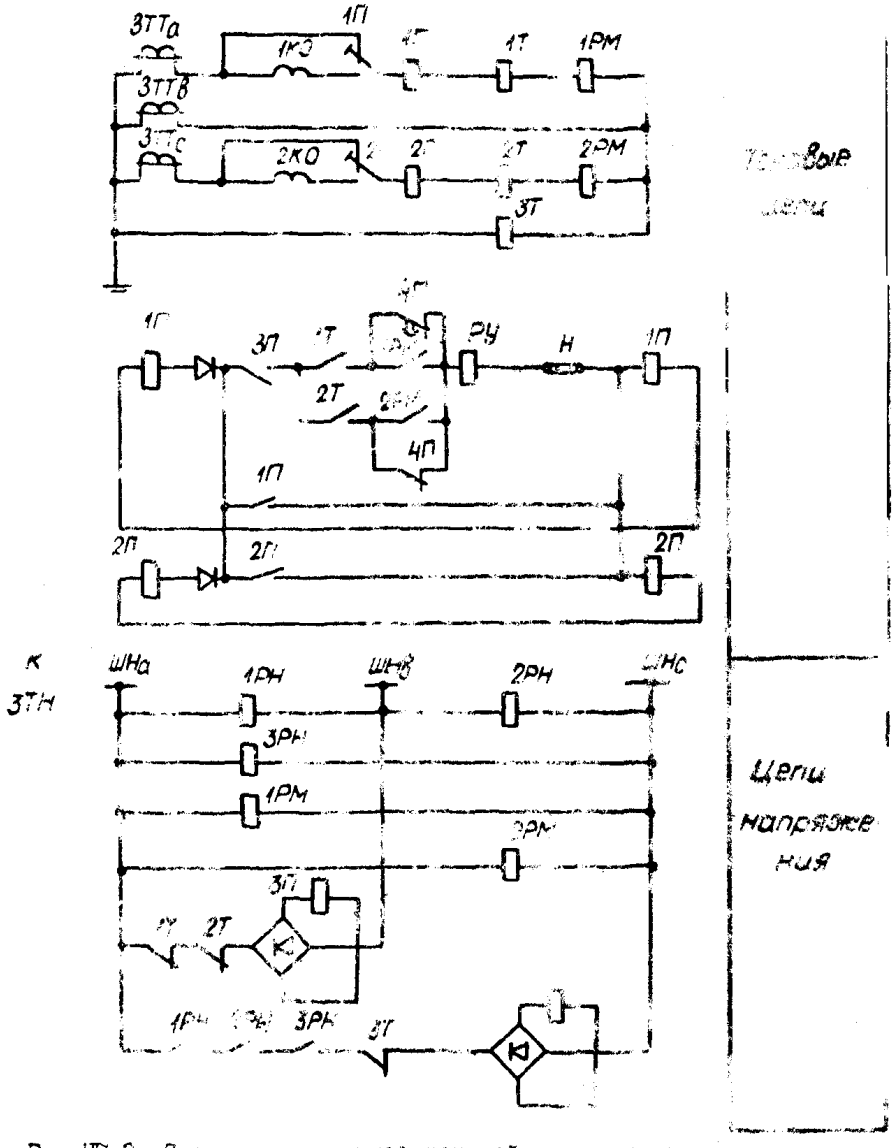


Рис.П7.3. Схема направленной токовой [illegible] на [illegible]ние на секционирующем выключателе при [illegible] переменным током на кольцевой ВЛ-10-35 [illegible]

1, 2Т, 3Т – реле тока Т-40; 1РН, 2РН – реле напряжения [illegible] 1РМ, 2РМ – реле мощности РБМ-27[illegible]/1; 1П, 2П – реле промежуток РП341; 3П, 4П – реле РП2[illegible]; РУ – реле указательное РУ2[illegible]

Ответственный редактор Р.П.Васнева

Технический редактор Б.М.Полякова
Корректор Н.А.Тихоновская

Подписано к печати 06.06.83 Формат 60x84 1/16
Печ.л. 7,25 (усл.-печ.л.6,74) Уч.-изд.л.7,0 Тираж 1600 экз.
Заказ № 165/83 Издат. № 262/82 Цена 1 руб.65 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго
106023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
117292, Москва, ул.Ивана Бабушкина, д.23, корп.2

gost.e-ecolog.ru