

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА
ДЕРЖАВНЫМ ТОВАРОМ**

Часть I

(РД 34.20.511
(СО 153-34.20.511)

Р А З Р А Б О Т А Н Украинским 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.ХРУЦ (ЛПИ)

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

Заместитель начальника К.М.АНТИПОВ

Главниипроектom

Главный инженер В.К.ГУСЕВ

СО Д Е Р Ж А Н И Е

| | |
|--|----|
| 1. Общие положения | 3 |
| 2. Методы и время плавки гололеда на проводах и линиях электропередачи | 6 |
| 3. Способы питания при плавке гололеда переменным током | 13 |
| 3.1. Подстанции с регулированием напряжения посредст- вом изменения коэффициента трансформации транс- форматоров и автотрансформаторов | 14 |
| 3.2. Подстанции с регулированием напряжения посредст- вом линейных регулировочных трансформаторов | 14 |
| 3.3. Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодо- бавочный трансформатор | 15 |
| 3.4. Подстанции с шунтирующими реакторами | 16 |
| 4. Схемы, расчет режимов работы и зоны применения плавки гололеда переменным током на проводах | 16 |
| 4.1. Плавка гололеда коротким замыканием | 16 |
| 4.2. Плавка гололеда уравнительными токами | 18 |
| 4.3. Плавка гололеда перераспределением нагрузок | 22 |
| 4.4. Плавка гололеда наложением токов | 23 |
| 4.5. Способы питания схем плавки гололеда постоянным током | 24 |
| 4.5.1. Подстанции с регулированием напряжения посредст- вом изменения коэффициента трансформации транс- форматоров и автотрансформаторов | 24 |
| 4.5.2. Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодо- бавочный трансформатор | 26 |
| 4.5.3. Подстанции с шунтирующими конденсаторными бата- реями | 26 |
| 4.6. Схемы, расчет режимов и зоны применения плавки гололеда постоянным током | 26 |
| 4.6.1. Плавка от источника, подключенного к шинам трансформатора | 26 |
| 4.6.2. Плавка от установок с блоком автотрансформатор- добавочный трансформатор | 27 |

| | |
|---|----|
| 7. Схемы, расчеты режимов и области применения плавки гололеда на тросах | 2 |
| 8. Работа оборудования электрической сети | 3 |
| Изоляция электрической сети | 4 |
| Провода и тросы | 4 |
| Перегрузочная способность оборудования | 4 |
| П р и л о ж е н и е I. Сопротивления проводов и оптимальные токи плавки гололеда | 32 |
| П р и л о ж е н и е 2. Зависимость времени плавки гололеда и изморози от значения тока для различных марок проводов | 33 |
| П р и л о ж е н и е 3. Методика расчета режимов плавки в повторно-кратковременном режиме КЗ | 34 |
| П р и л о ж е н и е 4. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда | 35 |
| П р и л о ж е н и е 5. Зависимости тока в проводах различных марок, препятствующие образованию гололеда | 36 |
| П р и л о ж е н и е 6. Схемы автоматического управления плавкой гололеда переменным током | 37 |
| П р и л о ж е н и е 7. Схемы релейной защиты колесной сети при плавке гололеда переменным током | 38 |

Срок действия установлен
с 01.01.83 г.
до 01.01.90 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Отложение гололеда, изморози и мокрого снега¹ представляет большую опасность для нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛ).

1.2. Отложения гололеда могут возникнуть:

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

б) сближение проводов и тросов при их подскоке вследствие повреждения со сброса гололеда;

в) свисание проводов;

г) обрыв проводов и тросов;

д) разрушение опор;

е) перекрытие линейной изоляции ВЛ при таении вследствие значительного снижения ледоразрядных характеристик изоляторов по сравнению с ледоразрядными характеристиками, по которым обычно выбирается нормальный уровень линейной изоляции.

Самым более эффективным средством борьбы с гололедом является удаление гололеда. Она позволяет в короткий срок удалить гололед.

В целях предотвращения ВЛ, трассы которых проходят в районах гололедности, а также в районах интенсивной и частой плавки гололеда, плавку гололеда рекомендуется предусматривать на проводах с напряжением до 220 кВ включительно. Плавка гололеда на тросах

¹В 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.

1.5. 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.

1.6. Плавку гололеда следует начинать при достижении нормативных гололедно-ветровых нагрузок на проводах. Чтобы обеспечить это требование на всех линиях, взаимосвязанных по режиму плавки гололеда, следует учитывать реальные нагрузки и направление гололедо-сущего потока по отношению к трассе ВЛ, поэтому на части линий плавку гололеда следует начинать заблаговременно. Очередность плавки определяется с учетом ответственности потребителей и наличия резервного питания.

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

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

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

I.10. Для своевременного предупреждения об опасных нагрузках от гололеда должны проводиться специальные наблюдения. С этой целью заранее должны быть определены контрольные точки на линии, подвергающиеся сильному обледенению (обычно в наиболее возвышенных местах трассы), по которым можно судить об опасности гололедообразования. Наблюдения могут проводиться непосредственно на линии электропередачи или на специально смонтированных гололедных постах.

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

I.11. Как правило, схема плавки гололеда должна вводиться в работу не позднее, чем за 1,0 ч после команды диспетчера о применении плавки.

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

I.12. Сборка и разборка схем плавки гололеда производится по специальным программам, предусматривающим выдачу диспетчером комплексных оперативных заданий с учетом максимально возможной одновременности производства операций, включая необходимые изменения в релейной защите. Во всех случаях необходимо предусмотреть блокировки от ошибок при сборке схем плавки.

I.13. Релейная защита устройств плавки гололеда и электроустановок, питающих эти устройства, должна соответствовать требованиям действующих ПУЭ и Руководящих указаний по проектированию устройств плавки гололеда. Выполнение релейной защиты устройств плавки гололеда, как правило, не должно обуславливать изменений в схемах и функционировании защиты смежных элементов и сети в целом.

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

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

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

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

Допустимая температура нагрева провода определяется двумя условиями:

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

Т а б л и ц а 2.1

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

| Провода | Допустимая температура нагрева проводов, °С | |
|-------------|---|--------------------------------|
| | Длительный режим | Повторно-кратковременный режим |
| Алюминиевые | 90 | 120 |
| Медные | 90 | 120 |

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 2.1

| Провода | Допустимая температура нагрева проводов, °С | |
|-------------------------------|---|--------------------------------|
| | Длительный режим | Повторно-кратковременный режим |
| алюминиевые | 100 | 130 |
| из алюминиевого сплава АЛ, АН | 80 | 100 |

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

Т а б л и ц а 2.2

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

| пересекаемый ВЛ | Расстояние до объекта, м, для ВЛ напряжением, кВ | | | |
|--|---|-----|-----|-----|
| | 35-110 | 220 | 330 | 500 |
| в населенной местности: | | | | |
| в населенной местности | 5 | 6 | 7 | 7 |
| в не населенной местности | 6 | 7 | 6,5 | 7 |
| в населенной местности связи | 2 | 3 | 4 | 4 |
| в населенной местности железной дороги | 6,5 | 7,5 | 8 | 8,5 |
| в населенной местности дороги | 6,0 | 7 | 7,5 | 8 |
| в населенной местности железной дороги | 2 | 3 | 4 | 4 |

Т а б л и ц а 2.3

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

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

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

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

Определение наибольших допустимых токов плавки может быть произведено по формуле:

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

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

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

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

d - диаметр провода или троса, см;

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

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

t - температура воздуха, °С;

v - скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погоды со скоростью ветра менее 1,0 м/с; вторая - со скоростью ветра более 1,0 м/с. В табл. П.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:

$$I_n = \frac{\Delta t}{R_{T0} + R_{T1}} \left(108 d b + \frac{0,045 \delta T^2}{R_{T0} + R_{T1}} \left(R_{T1} + 0,22 \frac{R_{T0}}{\lg \frac{D}{d}} \right) \Delta t + \sum C \delta_n S \Delta t \right), \quad (2.3)$$

где I_n - ток плавки, А;

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

T - время плавки, ч;

- Δt - разность между температурой провода и воздуха, $^{\circ}\text{C}$;
 γ_r - объемный вес гололеда, г/см^3 ;
 δ - толщина стенки гололеда, см ;
 d - диаметр провода, см ;
 D - внешний диаметр провода с гололедом, см ;
 R_{TO} - тепловое сопротивление I м гололедного цилиндра при переходе от внутренней к наружной поверхности, $\frac{\text{м}^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$;

$$R_{TO} = \frac{\lg \frac{D}{d}}{273\lambda}, \quad (2.4)$$

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

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

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

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

$$\lambda = (2,1 + 42\gamma_r + 216\gamma_r^3) 10^{-4}, \quad \text{Вт/см}^{\circ}\text{C}, \quad (2.7)$$

- C - теплоемкость материала провода $\text{Вт} \cdot \text{с}/(\text{г} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 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 .

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

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

2.7. Учитывая возможное изменение погодных условий и по возможности 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 плавки примерно соответствует времени плавки цилиндрического гололеда с толщиной стенки 8 мм. В приложениях 4 приведены значения требуемых токов и время плавки, полученные экспериментальным путем.

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

2.10. Ток профилактического нагрева может быть рассчитан по формулам, приведенным в п.2.4, с учетом температуры провода, разницей 1°C .

В приложениях 5 и 6 приведены кривые токов для профилактического нагрева проводов при различных температурах воздуха и скоростях ветра.

3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

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

Подстанции с регулированием напряжения посредством
изменения коэффициента трансформации
трансформаторов и автотрансформаторов:

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

В схемах подстанций должна предусматриваться перемычка (П), подключаемая с одной стороны к линии или к обходной системе шин (ОСШ) через разъединитель РПГ соответствующего класса напряжения 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 проводить через обходной выключатель ОВ (см.рис.2). На противоположном конце ВЛ целесообразно предусмотреть короткозамкатель 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 входным выключателем схемы управления и автоматизации плавки гололеда могут быть выполнены без установки дополнительных коммутационных аппаратов

Подстанции с регулированием напряжения посредством
линейных регулировочных трансформаторов

3.3. Наличие на подстанции линейного регулировочного трансформатора (ЛРТ) позволяет использовать его в качестве источника плавки гололеда. Если уровень напряжения на линиях 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) вольтдобавочного трансформатора, соединенная треугольником, отключена от ввода НН автотрансформатора и к ней присоединены провода обогреваемой ВЛ, замкнутые на противоположном конце ВЛ. Регулирующая обмотка (РО) вольтдобавочного трансформатора остается подключенной к нейтральным выводам АТ. Включение ВО вольтдобавочного трансформатора от ввода НН автотрансформатора должно производиться только при условии отсутствия на ВО вольтдобавочного трансформатора. В такой схеме при включении в работу РО вольтдобавочного трансформатора и при изменении тока нагрузки через АТ от обмотки ВН к обмотке СН ток его общей обмотки протекает также через РО вольтдобавочного 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 перетекания через АТ, ток общей части обмотки АТ практически не зависит от сопротивления обогреваемой ВЛ. Таким образом вольтдобавочный трансформатор переводится в режим трансформатора тока. В схеме рис.5 предусмотрен выключатель КЗ быстродействующий дуговой высоковольтный короткозамыкатель, на включение которых действуют защиты вольтдобавочного трансформатора и обогреваемого контура при повреждении 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 вольтдобавочного трансформатора в режиме регулирующего трансформатора при отключении его ВО от шин НН автотрансформатора и подключении проводов обогреваемой ВЛ к РО вольтдобавочного трансформатора, отсоединенной от нейтральных выводов АТ. В этом случае любое КЗ в контуре плавки будет эквивалентно витковому замыканию вольтдобавочного 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

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

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:

$$I_n = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z + Z_c)} \quad (4.1)$$

$$I_n = \frac{U_n}{2Z + Z_c} \quad (4.2)$$

$$I_n = \frac{U_n}{\sqrt{3}(Z_0 + Z_c + R_{защ})} \quad (4.3)$$

где U_n - линейное напряжение, кВ;
 Z - сопротивление фазы обогреваемой линии, Ом/км;

- Z_0 - сопротивление обогреваемой линии, провода которой собраны в "змеяку", Ом/км;
 Z_c - сопротивление системы, приведенное к шинам НН питающего трансформатора, Ом;
 l - длина линии, км;
 $R_{ззз}$ - сопротивление заземления, Ом.

$$Z_0 = 3r_n + r_z + j 0,445 l g \frac{D_2 D^2}{\rho^3}, \quad (4.4)$$

- r_n - сопротивление провода, Ом/км;
 r_z - сопротивление земли, принимается равным 0,05 Ом/км;
 D - среднее геометрическое расстояние между осями проводов ВЛ, м;
 ρ - расчетный диаметр провода, м;
 D_2 - глубина залегания обратного провода в земле ≈ 1000 м.

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

4.2. При применении способа двухфазного короткого замыкания плавку гололеда на линии следует производить сначала на двух фазах, а затем на третьей в сочетании с одним из освободившихся от гололеда проводов. Схему "змеяка" 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 определенных пределах.

4.3. При плавке гололеда на ВЛ 5-110 кВ по методу трехфазного и двухфазного КЗ допускается закорачивание проводов заземляющими ножами, если их спуск к контуру заземления проверен на термическую устойчивость. Если допускает схема подстанции, целесообразно параллельное включение нескольких заземляющих ножей (например, заземляющих ножей линейного и обходного разъединителей).

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

При выделении для плавки отдельного трансформатора возможно произвести регулирование напряжения во всем диапазоне имеющихся ответвлений, т.е. в пределах $\pm 2 \times 2,5\%$ для обычных трансформато-

ров (автотрансформаторов) и $\pm 16\%$ для трансформаторов, снабженных устройствами для регулирования коэффициента трансформации под нагрузкой.

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

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

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

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 $35+500 \text{ мм}^2$ 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.10).

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 рассчитывается по формуле:

$$I_n = \frac{U_n}{Z_k}, \quad (4.5)$$

где U_n - линейное напряжение источника плавки;

Z_k - полное сопротивление цепи плавки.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Т а б л и ц а 4.1

Расчетные параметры ВЛ 330-500 кВ с изолирующими дистанционными распорками

| Количество и тип проводов в фазе | Реактивное сопротивление одного провода фазы ВЛ (рис. В), 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 x AC 300/39 | 0,237 | 0,26 | 0,328 | 2,5 | - |
| 2 x AC 400/22 | 0,226 | 0,24 | 0,325 | 2,7 | - |
| 2 x AC 500/27 | 0,22 | 0,22 | 0,312 | 2,7 | - |
| 3 x AC 400/22 | 0,228 | 0,241 | 0,28 | 3,5 | 10,5 |
| 3 x AC 500/27 | 0,221 | 0,23 | 0,278 | 3,65 | 10,9 |

Зона и мощность плавки шпаледа 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 | 169 |
| 2 х АС 500/27 | Рис. 8, а, б, в, г | 186 | 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 В₀ включается. При этом на рабочий ток накладывается дополнительный ток, обусловленный разностью напряжений двух независимых источников питания, значение которого определяется из выражения:

$$I_{\text{доп}} = \frac{U_{\varphi}}{Z_K} \quad (4.10)$$

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

Схема релейной защиты кольцевой сети для случая питания от разных секций одной подстанции приведена на рис.П7.1, а для случая питания от разных подстанций - на рис.П7.2, П7.3. На линиях 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. Токсовая нагрузка обогреваемой линии повышается путем перераспределения нагрузки в сети до требуемого (для осуществления плавки) значения. Перераспределение нагрузки достигается путем:

- а) повышения нагрузки станций, передающих энергию через обогреваемую линию;
- б) повышения нагрузки подстанции, питаемых по обогреваемой линии путем переключений в сети более низкого напряжения;
- в) отключения части линий, в результате которых уменьшается передаваемая мощность по обогреваемой линии. Практически с этой целью отключают параллельную с обогреваемой линией линию, стремясь 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 $I_{ур}$ можно определить из выражения:

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

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 ском с пофазной плавкой гололеда необходимо проверить электромагнитное влияние на каналы связи.

4.21. Ток наложения подсчитывается по формуле:

$$\dot{I} = \frac{\dot{U}_g}{\dot{Z}_K}, \quad (4.12)$$

где \dot{U}_g - дополнительное напряжение, созданное в контуре, кВ;
 \dot{Z}_K - полное сопротивление контура, Ом.

Ток наложения складывается с рабочим током линии геометрически.

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

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

5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СХЕМ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Подстанции с регулированием напряжения посредством
изменения коэффициента трансформации
трансформаторов и автотрансформаторов

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

Преобразователи выполняются на неуправляемых вентильх по трехфазной мостовой схеме.

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

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

Нормальные и аварийные режимы работы сети характеризуются такими факторами, как наложение постоянной составляющей на напряжение изоляции сети, появление постоянных составляющих в токах нагрузки, режимной и др. Это может привести к отключению выключателя, к ложной работе релейной защиты. Необходимы устройства, ограничивающие воздействия, вызванные наличием преобразователя.

Пониженный уровень изоляции преобразователей для плавки гололеда в сравнении 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 ток короткого замыкания источника питания.

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 повреждения.

5.6. Наличие на контуре заземления подстанции постоянного тока при его использовании в качестве рабочего заземлителя приводит к проникновению части постоянного тока плавки через глухозаземленные обмотки трансформаторов, установленных на этой подстанции. Это приводит к некоторому увеличению тока холостого хода и потерь в трансформаторах (автотрансформаторах). Для устранения указанный ток в нейтрали трансформаторов (автотрансформаторов) следует установить специальные устройства.

5.7. С целью обеспечения высокочастотной связи по оборудованию следует обеспечить вывод постоянного тока к проводникам ВЛ. Для этого необходимо, чтобы он протекал через ВЧ заградители или установив заградитель преобразователя на стороне постоянного тока дополнительный заградитель.

Подстанции с блоками автотрансформатор-вольт- добавочный трансформатор

5.8. На подстанциях с блоками автотрансформатор-вольтдобавочный 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 линий. Выбор рациональной схемы плавки зависит от параметров электрической сети и источников питания. Некоторые из рекомендаций

мых схем плавки от УПГ с одним преобразователем приведены на рис.16-20. Примерный диапазон обогреваемых участков показан на рис.21.

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

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

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

$$I_n = \frac{1,35 E_n}{\frac{3}{\pi} X_K + R_{Kn}} \quad , \quad (6.1)$$

где E_n - линейное напряжение на шинах питания, кВ;
 X_K - индуктивное сопротивление контура коммутации преобразователя, Ом;
 R_{Kn} - омическое сопротивление контура плавки, Ом.

Плавка от установок с блоком автотрансформатор-вольто-
 добавочный трансформатор

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

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

6.5. Схемы плавки гололеда на проводах от УПГ с различным количеством преобразователей, рекомендации по проведению пофазной плавки гололеда, по четырем режимам 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, внутреннего и внешнего индуктивных сопротивлений.

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

Значения внешнего индуктивного сопротивления троса могут быть приняты в соответствии с данными табл.7.I.

Т а б л и ц а 7.I

Средние значения внешнего индуктивного сопротивления троса

| Схема плавки | Индуктивное сопротивление, Ом/км, троса сечением, мм | | |
|--------------|--|-------|------|
| | 35 | 50 | 70 |
| - трос | 0,9 | 0,85 | 0,85 |
| - земля | 0,76 | 0,77 | 0,76 |
| троса - зем. | 0,53 | 0,525 | 0,52 |

Используя графики рис.32 и данными табл.7.I, полное сопротивление троса может быть подсчитано по формуле

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_{BN} + X_N)^2}, \quad (7.1)$$

- активное сопротивление троса, Ом/км;
- 0,05 Ом/км (сопротивление земли);
- внутреннее индуктивное сопротивление троса, Ом/км;
- внешнее индуктивное сопротивление троса, Ом/км.

В частоте применяемой при плавке гололеда плотности тока в табл.7.2 даны необходимые расчетные данные о сопротивлениях тросов.

Т а б л и ц а 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 | 12,0 | 4,9 | 13,0 | 8,0 | 3,5 | 8,7 | 6,0 | 2,9 | 6,66 |
| Трос - земля | 6,05 | 2,78 | 6,65 | 4,05 | 2,07 | 4,55 | 3,05 | 1,76 | 3,52 |
| Два троса - земля | 3,05 | 1,53 | 3,42 | 2,05 | 1,18 | 2,36 | 1,55 | 1,02 | 1,85 |

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

Т а б л и ц а 7.3

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

| Напряжение плавки, кВ | Схема плавки | | |
|-----------------------|--------------|------------|-----------------|
| | Трос-трос | Трос-земля | Два троса-земля |
| 6 | 7,0 | 7,5/13 | 7,5/13 |
| 10 | 12,0 | 13/22 | 13,0/25 |
| 35 | 40 | 48/80 | 45/75 |
| 110 | 140 | 150 | 145 |

П р и м е ч а н и е. Для схемы "трос-трос" и всех схем при напряжении 110 кВ расчет сделан для линейного напряжения; в остальных случаях в числителе - для фазного, в знаменателе - для линейного напряжений.

7.6. Переменный ток плавки определяется по формуле:

$$I_n = \frac{U}{\sqrt{(R_T + R_{\text{заз}})^2 + (x_{\text{вн}} + x_n)^2}} \quad (7.2)$$

Постоянный ток плавки по формуле:

$$I_n = \frac{U}{R_T + R_{\text{заз}}}, \quad (7.3)$$

где $R_{\text{заз}}$ - 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

$$N = \frac{U \lambda_3 \cdot K_n}{L}, \quad (8.1)$$

где U - напряжение, приложенное к изоляции, кВ;

λ_3 - нормированная удельная эффективная длина пути утечки, см;

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

K_n - поправочный коэффициент использования длины пути утечки изолятора принятого типа.

$$\kappa_n = 0,9 \frac{L}{D_i} \left[0,85 + 0,15 \cdot e^{- (0,39\beta^2 - 0,5) \left(\frac{L}{D_i} \cdot \kappa_\phi \right)^2} 0,25 + \right. \\ \left. + \left(1,5 - \frac{L}{D_i} \right) 0,39\beta^2 \cdot 0,055 \right] \left[1 + \left(\frac{L}{D_i} \kappa_\phi \right)^2 (5\alpha - 5) 0,0033 \right], \quad (8.2)$$

где D_i - диаметр изолятора, см;

β - номер района загрязненности;

α - номер района гололедности;

κ_ϕ - коэффициент формы изолятора.

При $\frac{L}{D_i} \leq 1$ коэффициент $\kappa_\phi = 1$.

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

При неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке от источника переменного и постоянного тока следует принимать λ_3 по данным табл.8.1.

Т а б л и ц а 8.1

Рекомендуемые значения λ_3 (см/кВ) при неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке гололеда переменным и постоянным током

| Район гололедности | Значения λ_3 для районов загрязнения атмосферы | | | |
|--------------------|--|---------|---------|---------|
| | I | II | III | IV |
| III | 1,7/1,8 | 1,7/1,8 | 2,0/2,2 | 2,3/2,5 |
| IV | 1,7/1,8 | 1,8/1,9 | 2,1/2,3 | 2,4/2,6 |

П р и м е ч а н и е. В числителе - при плавке гололеда переменным током, в знаменателе - постоянным током.

При изменении числа изоляторов в гирлянде, пропорциональном значению воздействующего напряжения, λ_3 следует принимать для переменного напряжения по табл.8.2 и для постоянного напряжения - по табл.8.3.

Т а б л и ц а 8.2

Рекомендуемые значения λ_3 (см/кВ) при плавке переменным током и числе изоляторов в гирлянде, пропорциональном значению воздействующего напряжения

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

Т а б л и ц а 8.3

Рекомендуемые значения λ_3 (см/кВ) при постоянном U и числе изоляторов, пропорциональном воздействию U .

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

При определении количества изоляторов N при плавке гололеда в тросах постоянным током необходимо в числитель формулы (8.1) ввести поправочный коэффициент ρ , учитывающий отличие разрядных характеристик изоляции при постоянном напряжении от характеристик при переменном напряжении.

$$\rho = (0,907 + 0,093 e^{-97(\frac{U}{U_0} - 0,97)}) \times [1 + 0,0464 (2,3 - \sqrt{0,39 \beta^2}) \frac{U}{U_0} \cdot K_\phi] \quad (8.3)$$

Для изоляции тросов рекомендуется применение изоляторов из закаленного стекла.

8.3. Тросовые изоляторы должны шунтироваться искровыми промежутками для защиты от ожогов при грозových перекрытиях. Значения ключевых 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.

Т а б л и ц а 8.4

Характеристики искровых промежутков

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

Провода и тросы

8.4. Плавка гололеда на тросах должна проводиться до плавки гололеда на проводах. Если невозможно организовать плавку на всем протяжении троса, а на 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 провести 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 заградительных 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.

Т а б л и ц а 8.5

Допустимая кратность перегрузки выключателей

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

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

Т а б л и ц а 8.6

Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ,
укомплектованных выключателями

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

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 8.6

| Тип КРУ и выключателя | Допустимая кратность перегрузки для шкафов КРУ при времени плавки, мин | | | | | | |
|--------------------------------------|--|------|------|-----|------|------|-----|
| | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| КВП-10-05-1500 ВМП-10-1500-20 | 2,4 | 2 | 1,75 | 1,5 | 1,3 | 1,25 | 1,2 |
| ШВМЭ-10-19-1600 ВМПЭ-10-1600-31,5 | 4 | 3,35 | 3 | 2,5 | 2,25 | 2,1 | 1,9 |

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

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

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

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

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

Значение допустимой мощности для плавки определяется предшествующей загрузкой источников, их допустимой перегрузкой и сечением прогреваемого провода. Зависимости изменения предельной мощности плавки от сечения проводов и предшествующей загрузки трансформатора при $\cos \varphi_n = 0,9$ приведены на рис.33.

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

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

Таблица 8

Мощности турбогенераторов (%) при различных значениях коэффициента мощности

| Тип турбогенератора | Номинальная мощность, кВт | Коэффициент мощности | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1,0 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,0 |
| T2-6-2 | 6000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 88 | 84 | 79 | 76 | 73 | 71 | 70 | 70 |
| T2-12-2 | 12000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 92 | 86 | 83 | 82 | 81 | 80 | 80 | 80 |
| T2-25-2 | 25000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 92 | 86 | 83 | 82 | 81 | 80 | 80 | 80 |
| TB2-30-2 | 30000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93 | 89 | 86 | 82 | 81 | 80 | 80 | 80 |
| T2-50-2 | 50000 | 100 | 100 | 100 | 95 | 88 | 84 | 81 | 78 | 76 | 75 | 75 | 75 |
| TB-50-2 | 50000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 87 | 84 | 81 | 78 | 76 | 75 | 75 |
| TB-60-2 | 60000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 90 | 87 | 84 | 81 | 78 | 76 | 75 | 75 |
| TB2-60-2 | 60000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 91 | 87 | 85 | 80 | 79 | 77 | 77 | 77 |
| TB2-100-2 | 100000 | 100 | 100 | 100 | 95 | 88 | 84 | 81 | 78 | 76 | 75 | 75 | 75 |
| TB2-100-2 | 100000 | 100 | 100 | 100 | 100 | 91 | 87 | 86 | 80 | 79 | 75 | 75 | 75 |
| TB2-150-2 | 150000 | 100 | 100 | 95 | 90 | 83 | 79 | 76 | 73 | 72 | 70 | 70 | 70 |
| TB2-200-2 | 200000 | 100 | 100 | 100 | 95 | 86 | 84 | 80 | 76 | 74 | 70 | 70 | 70 |
| TGB-200 | 200000 | 100 | 100 | 100 | 90 | 87 | 84 | 81 | 78 | 76 | 75 | 75 | 75 |
| TB2-300-2 | 300000 | 100 | 100 | 100 | 95 | 88 | 84 | 80 | 76 | 75 | 70 | 70 | 70 |

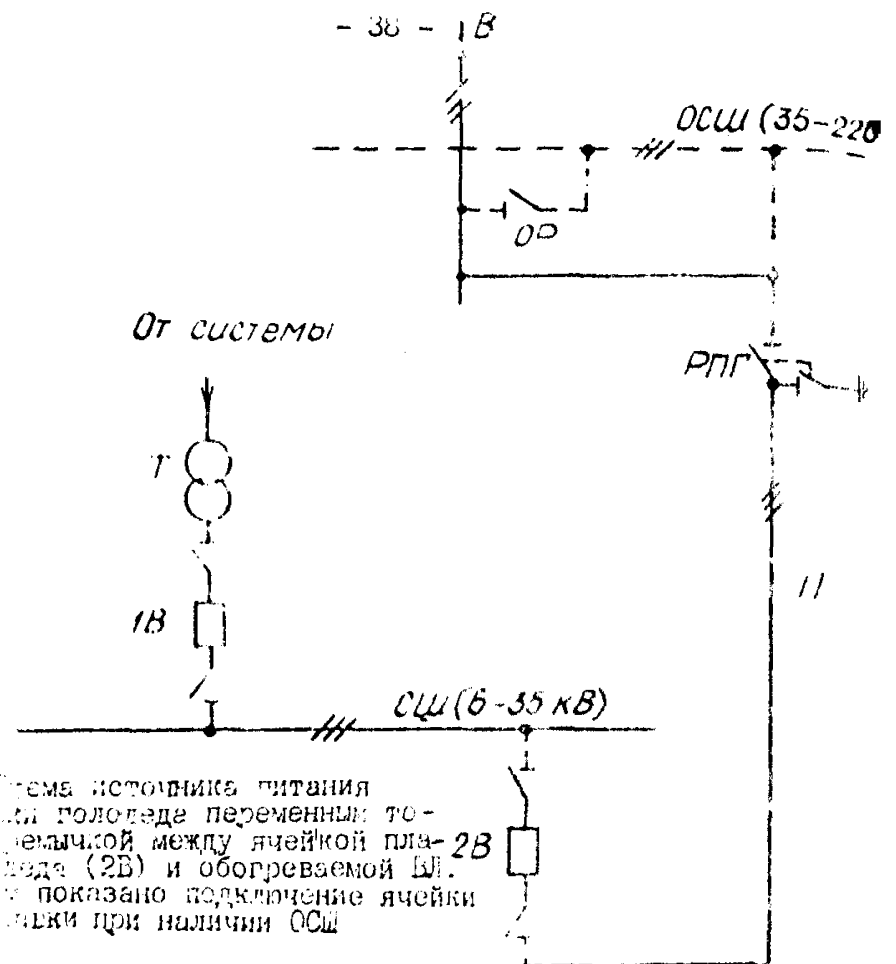


Рис. 1. Схема источника питания для нагревательного элемента переменного тока с переключением между ячейкой плавки (2В) и обогреваемой ВЛ. Прерывистая линия показывает подключение ячейки при наличии ОСШ

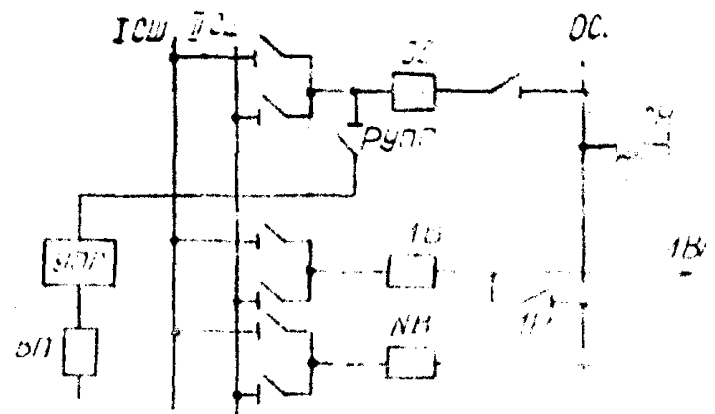


Рис. 2. Принципиальная схема источника питания для нагревательного элемента переменного тока с переключением между ячейкой плавки (2В) и обогреваемой ВЛ. Прерывистая линия показывает подключение ячейки при наличии ОСШ

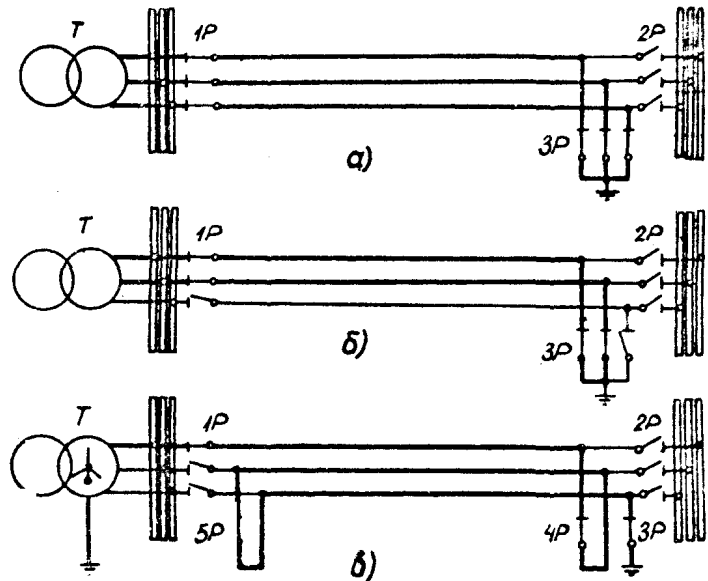
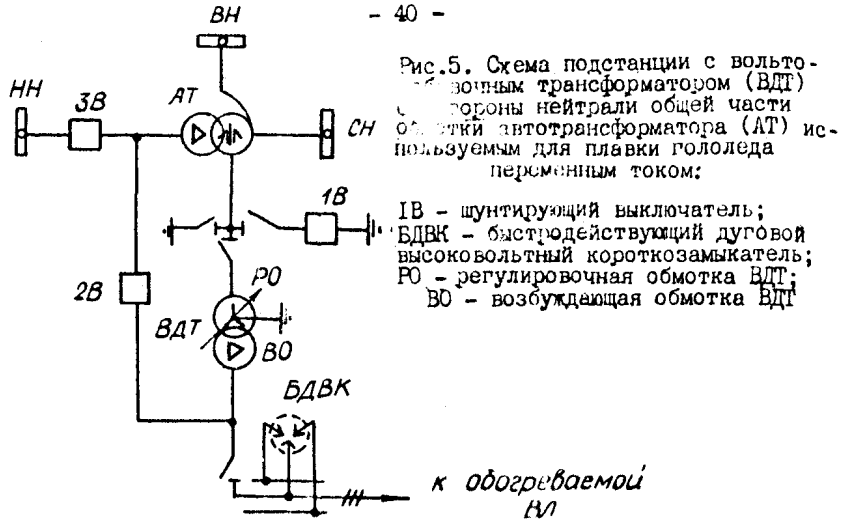


Рис.6. Схема плавки гололеда способом короткого замыкания: а - трехфазное короткое замыкание; б - двухфазное короткое замыкание; в - схема "змейка".

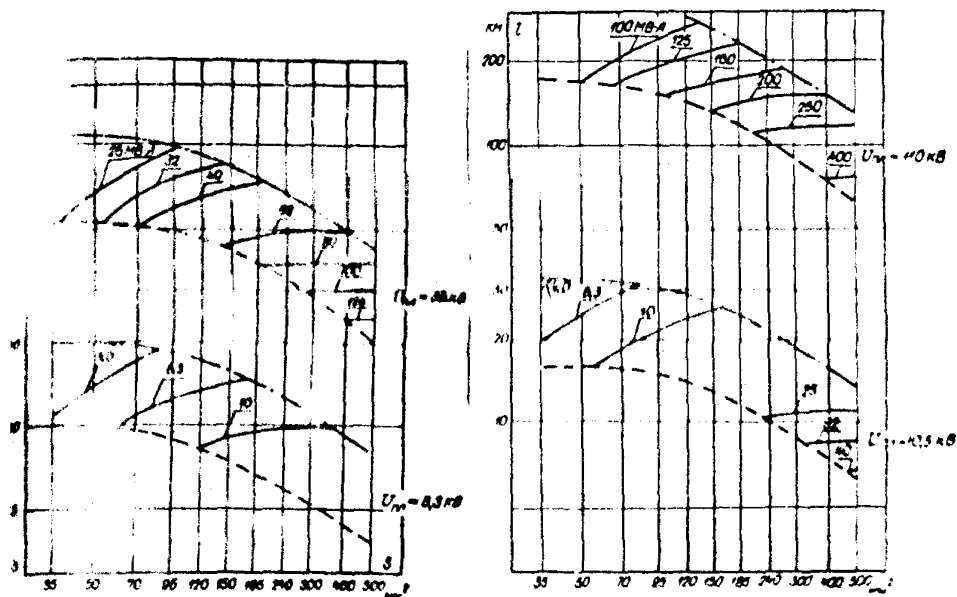
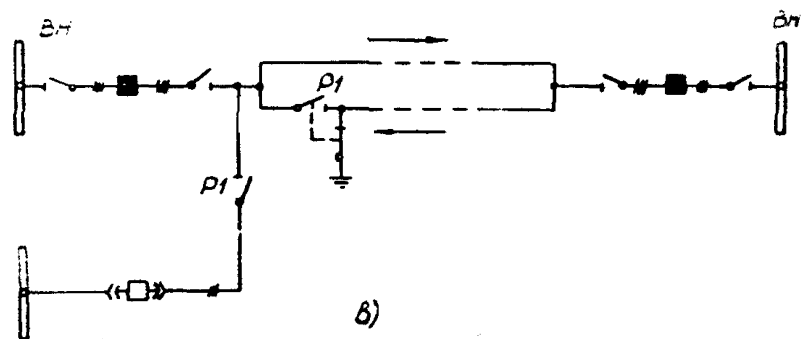
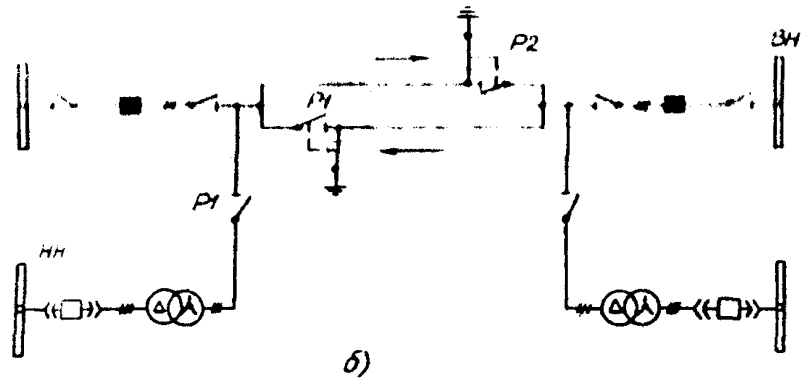
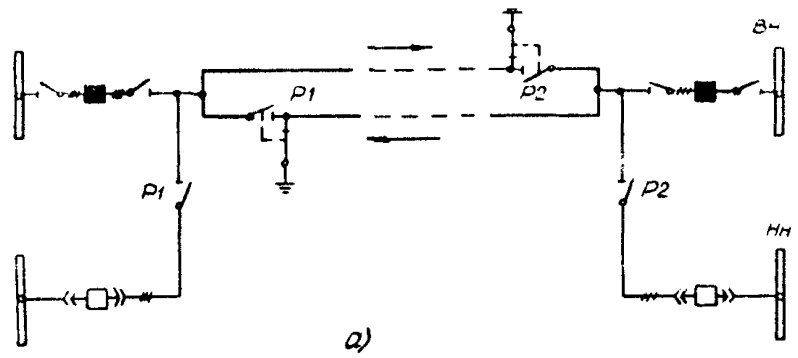


Рис. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ со сталь-
алюминиевыми проводами сечений 35-500 мм² при плавке гололеда
переменным током:

- огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от ис-
точника неограниченной мощности;
- огибающая максимальных длин ВЛ;
- огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от
источника мощностью 4-125 МВ·А;

α - при питании от источника мощностью 4-125 МВ·А; δ - при питании
от источника мощностью 4-400 МВ·А



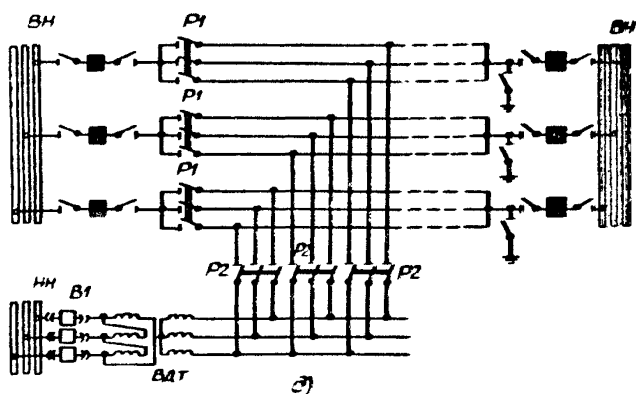
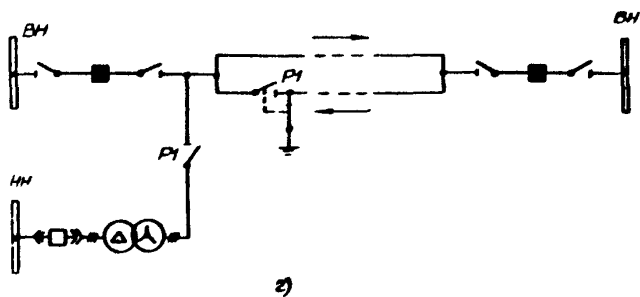


Рис.8. Схемы плавления гололеда для ВЛ с расщепленными проводами:
 а, б, в, г - расщепление на два провода; д - расщепление на три провода

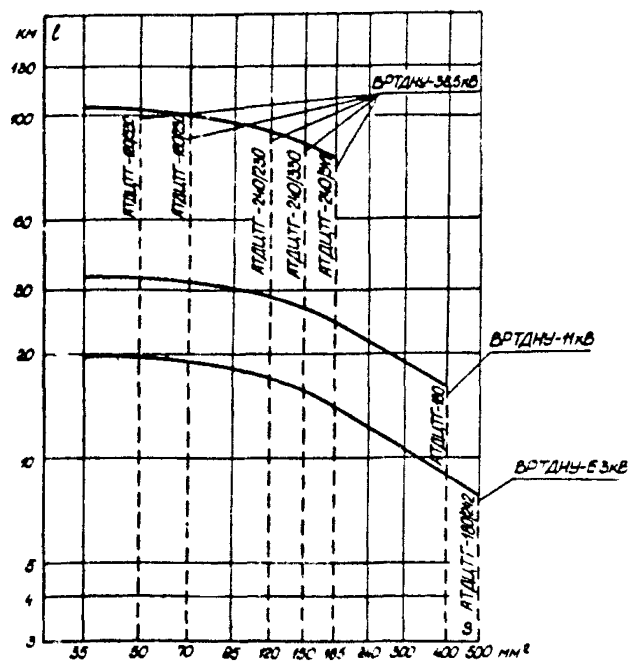


Рис.9. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ с проводниками сечений 35-500 мм² при плавке гололеда переменным током от блока АТ-ВДТ;

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

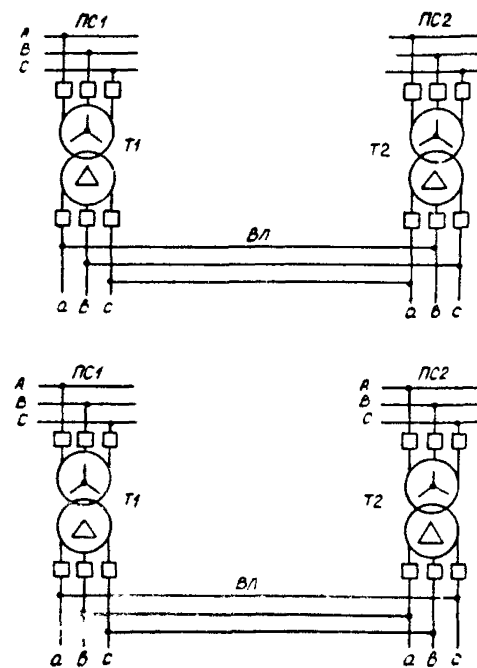


Рис.10. Схема плавки гололеда по способу встречного включения

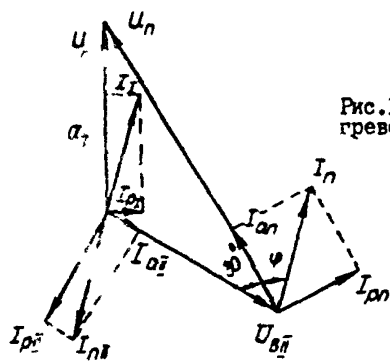


Рис. II. Векторная диаграмма при обогреве линии по способу встречного включения

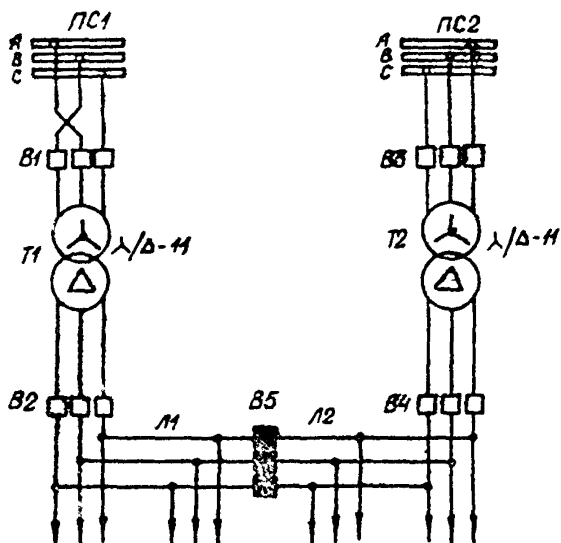


Рис. I2. Схема плавки гололеда по способу встречного включения без отключения нагрузки;

Л1, Л2 - обогреваемые ВЛ

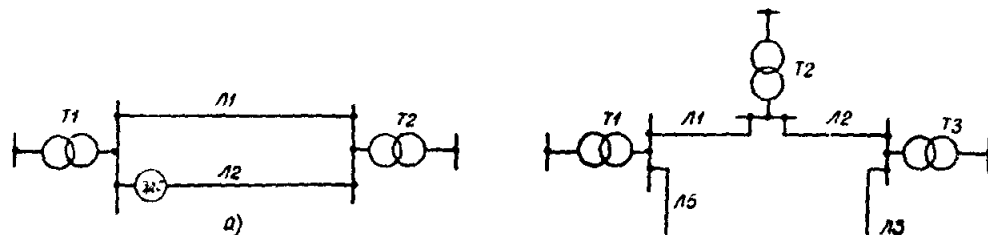


Рис.13. Схемы плавки гололеда по способу включения ЭДС в контур

а - при параллельных линиях;

б - при кольцевой сети

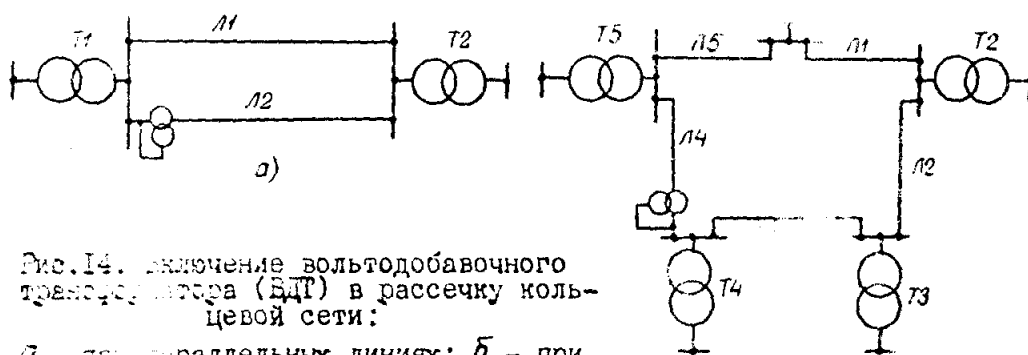


Рис.14. Включение вольтодобавочного трансформатора (ВДТ) в рассечку кольцевой сети:

а - при параллельных линиях; б - при кольцевой сети

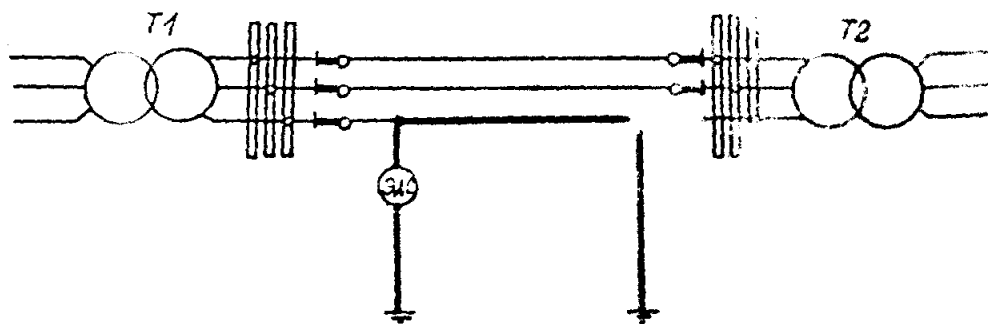


Рис.15. Схема пофазной плавки тока и напряжения

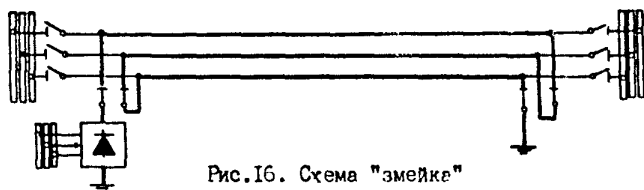


Рис.16. Схема "змеяка"

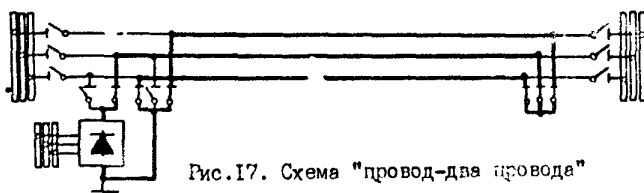


Рис.17. Схема "провод-два провода"

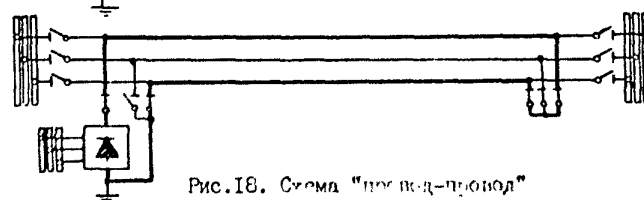


Рис.18. Схема "один провод-один провод"

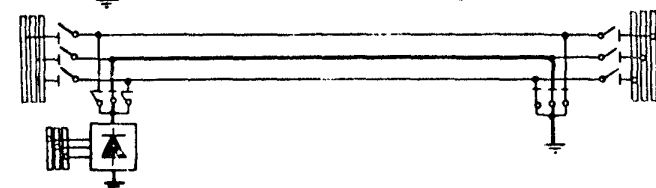


Рис.19. Схема "провод-земля"

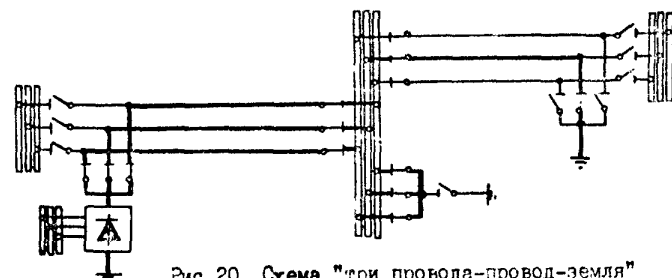
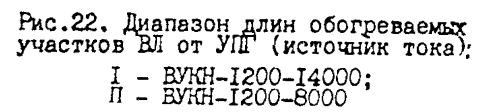
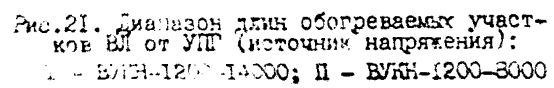


Рис.20. Схема "три провода-провод-земля"



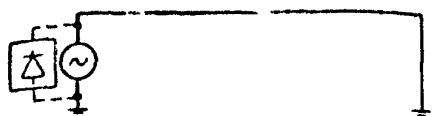


Рис.23. Схема "трос-земля"

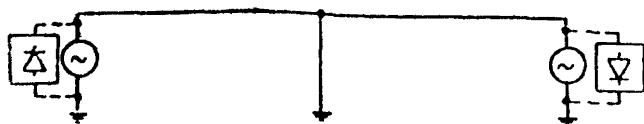


Рис.24. Схема "трос-земля" при подключении источников
главки с двух концов троса

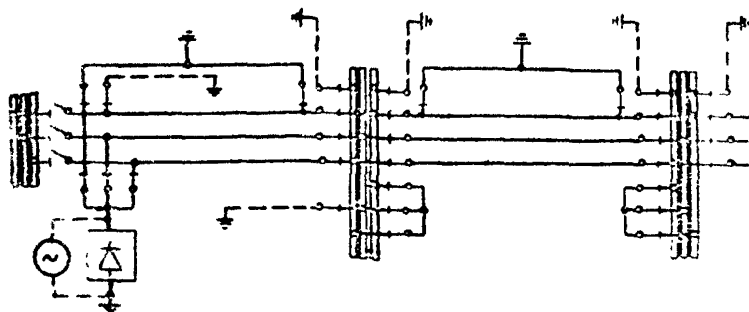


Рис.25. Использование проводов отключенной ВЛ для подачи
напряжения плавки на обогреваемый трос

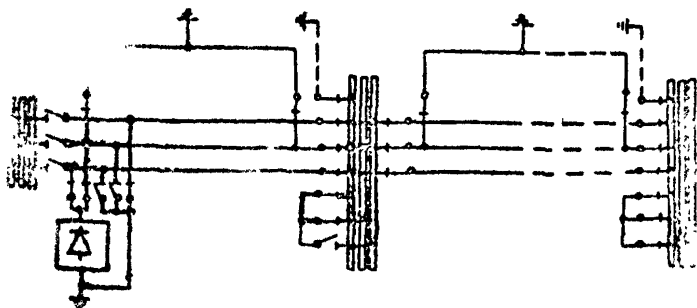


Рис.26. Одновременная плавка гололеда на проводах и трос-
сах

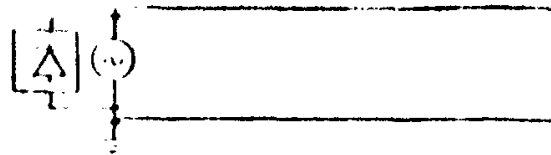


Рис.27. Схема трос-трос"

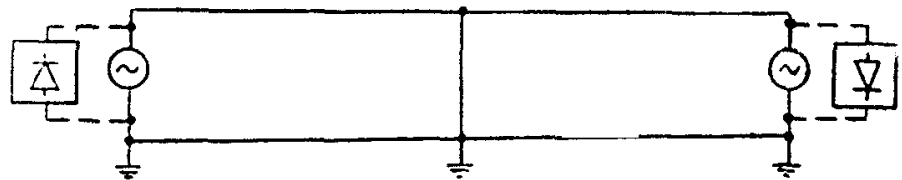


Рис.28. Схема "трос-трос" при подключении источников плавки с двух концов троса



Рис.29. Схема "два троса-земля"

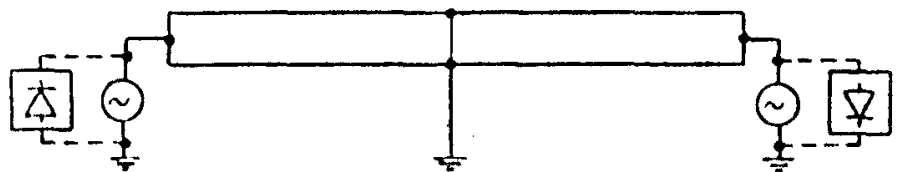


Рис.30. Схема "два троса-земля" при подключении источников плавки с двух концов троса

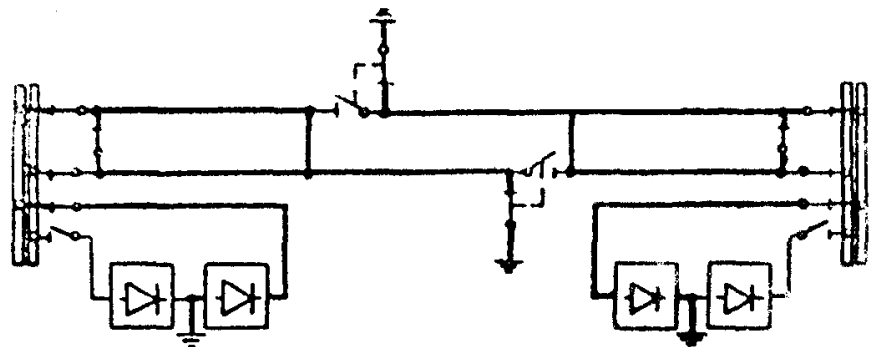


Рис.31. Схема для плавки в два этапа: "трос-трос" и "два троса-трос-земля"

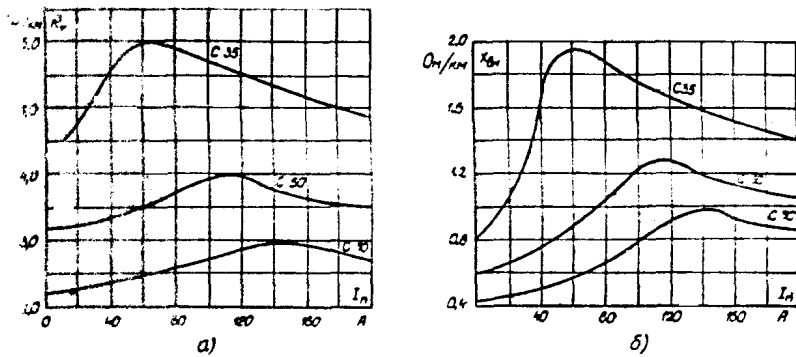


Рис.32. Зависимости активного R_T (а) и внутреннего индуктивного X_{β_H} (б) сопротивлений стальных тросов от тока

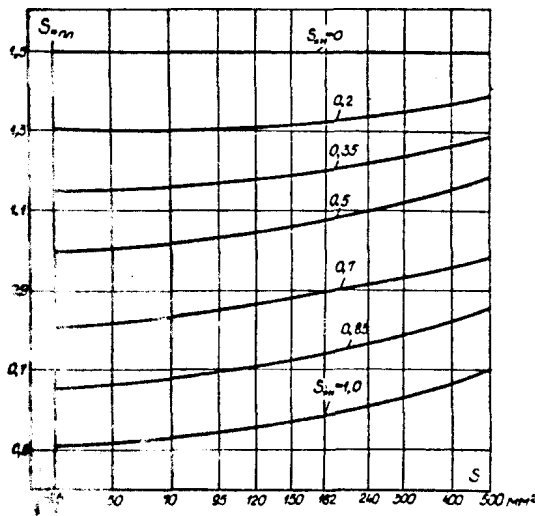


Рис.33. Зависимость изменения предельной мощности плавки ($S_{*пл}$), сечения проводов (F), предшествующей загрузки трансформаторов ($S_{*Н}$)

Приложение I

СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ И ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Таблица III.I

Сопротивления проводов при различных температурах

| Марка провода | Сопротивление провода (См) при температуре провода, °С | | | | | | | | |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| М 25 | 0,667 | 0,721 | 0,771 | 0,823 | 0,875 | 0,927 | 0,960 | 0,988 | - |
| М 35 | 0,477 | 0,515 | 0,551 | 0,586 | 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 | 0,341 | 0,356 | 0,366 | - |
| М 95 | 0,177 | 0,191 | 0,204 | 0,216 | 0,232 | 0,246 | 0,255 | 0,262 | - |
| М 120 | 0,143 | 0,154 | 0,165 | 0,175 | 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 | 1,06 | 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 | 0,245 | 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 | 2,425 | 2,495 |
| АС 5/4,2 | 1,061 | 1,146 | 1,231 | 1,316 | 1,401 | 1,486 | 1,526 | 1,570 | 1,614 |
| АС 35/6,2 | 0,715 | 0,773 | 0,830 | 0,886 | 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 |

| | | | | | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | | | | 0,482 | 0,513 | 0,544 | 0,560 | 0,575 | 0,591 |
| | | | | | 0,361 | 0,364 | 0,477 | 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 | 0,421 |
| AC 95/141 | 0,292 | 0,316 | 0,339 | 0,363 | 0,366 | 0,410 | 0,421 | 0,432 | 0,432 | 0,444 |
| AC 120/19 | 0,227 | 0,245 | 0,263 | 0,271 | 0,299 | 0,316 | 0,326 | 0,336 | 0,345 | 0,345 |
| AC 120/27 | 0,231 | 0,249 | 0,267 | 0,266 | 0,304 | 0,323 | 0,332 | 0,342 | 0,351 | 0,351 |
| AC 150/19 | 0,181 | 0,195 | 0,209 | 0,224 | 0,238 | 0,253 | 0,260 | 0,269 | 0,275 | 0,275 |
| AC 150/24 | 0,180 | 0,194 | 0,208 | 0,223 | 0,237 | 0,251 | 0,259 | 0,266 | 0,274 | 0,274 |
| AC 150/34 | 0,181 | 0,196 | 0,211 | 0,225 | 0,240 | 0,254 | 0,260 | 0,268 | 0,275 | 0,275 |
| AC 185/24 | 0,143 | 0,154 | 0,165 | 0,177 | 0,188 | 0,200 | 0,206 | 0,212 | 0,217 | 0,217 |
| AC 185/29 | 0,147 | 0,159 | 0,171 | 0,183 | 0,194 | 0,206 | 0,212 | 0,2176 | 0,223 | 0,223 |
| AC 185/43 | 0,144 | 0,156 | 0,168 | 0,179 | 0,191 | 0,202 | 0,207 | 0,213 | 0,219 | 0,219 |
| AC 185/128 | 0,144 | 0,155 | 0,166 | 0,178 | 0,189 | 0,201 | 0,207 | 0,213 | 0,219 | 0,219 |
| AC 205/27 | 0,130 | 0,140 | 0,150 | 0,161 | 0,171 | 0,181 | 0,187 | 0,192 | 0,198 | 0,198 |
| AC 240/32 | 0,109 | 0,118 | 0,127 | 0,135 | 0,144 | 0,153 | 0,157 | 0,161 | 0,166 | 0,166 |
| AC 240/39 | 0,113 | 0,122 | 0,131 | 0,140 | 0,149 | 0,158 | 0,163 | 0,167 | 0,172 | 0,172 |
| AC 240/56 | 0,111 | 0,120 | 0,129 | 0,138 | 0,147 | 0,156 | 0,160 | 0,164 | 0,168 | 0,168 |
| AC 300/39 | 0,089 | 0,096 | 0,103 | 0,110 | 0,117 | 0,124 | 0,128 | 0,131 | 0,135 | 0,135 |
| AC 300/48 | 0,091 | 0,096 | 0,105 | 0,113 | 0,120 | 0,127 | 0,131 | 0,134 | 0,138 | 0,138 |
| AC 300/66 | 0,093 | 0,100 | 0,107 | 0,115 | 0,122 | 0,130 | 0,134 | 0,137 | 0,141 | 0,141 |
| AC 300/204 | 0,090 | 0,097 | 0,104 | 0,111 | 0,119 | 0,126 | 0,129 | 0,133 | 0,137 | 0,137 |
| AC 330/27 | 0,082 | 0,089 | 0,096 | 0,102 | 0,109 | 0,115 | 0,117 | 0,121 | 0,124 | 0,124 |
| AC 330/43 | 0,081 | 0,087 | 0,093 | 0,100 | 0,106 | 0,113 | 0,116 | 0,120 | 0,123 | 0,123 |
| AC 400/22 | 0,068 | 0,073 | 0,078 | 0,084 | 0,089 | 0,095 | 0,098 | 0,1006 | 0,103 | 0,103 |
| AC 400/51 | 0,068 | 0,073 | 0,078 | 0,084 | 0,089 | 0,095 | 0,098 | 0,1006 | 0,103 | 0,103 |
| AC 400/61 | 0,069 | 0,074 | 0,079 | 0,085 | 0,090 | 0,096 | 0,099 | 0,1022 | 0,1049 | 0,1049 |
| AC 400/93 | 0,066 | 0,071 | 0,076 | 0,082 | 0,087 | 0,092 | 0,095 | 0,098 | 0,1004 | 0,1004 |

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДА

| Марка провода | Сопротивление провода, Ом, при температуре провода, °C | | | | | | | | |
|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
| АС 450/55 | 0,032 | 0,037 | 0,042 | 0,047 | 0,052 | 0,057 | 0,062 | 0,067 | 0,072 |
| АС 500/27 | 0,035 | 0,040 | 0,045 | 0,050 | 0,055 | 0,060 | 0,065 | 0,070 | 0,075 |
| АС 500/64 | 0,035 | 0,039 | 0,043 | 0,048 | 0,052 | 0,057 | 0,061 | 0,066 | 0,070 |
| АС 500/330 | 0,035 | 0,039 | 0,043 | 0,048 | 0,052 | 0,057 | 0,061 | 0,066 | 0,070 |
| АС 550/71 | 0,049 | 0,053 | 0,057 | 0,061 | 0,065 | 0,069 | 0,073 | 0,077 | 0,081 |
| АС 600/72 | 0,046 | 0,050 | 0,054 | 0,058 | 0,061 | 0,065 | 0,069 | 0,073 | 0,077 |
| АС 650/79 | 0,043 | 0,047 | 0,051 | 0,055 | 0,059 | 0,063 | 0,067 | 0,071 | 0,075 |
| АС 700/86 | 0,039 | 0,042 | 0,046 | 0,049 | 0,053 | 0,057 | 0,061 | 0,065 | 0,069 |
| АС 750/93 | 0,036 | 0,039 | 0,042 | 0,046 | 0,049 | 0,053 | 0,057 | 0,061 | 0,065 |
| АС 800/100 | 0,032 | 0,035 | 0,038 | 0,041 | 0,045 | 0,048 | 0,052 | 0,055 | 0,059 |
| АН 25 | 1,251 | 1,302 | 1,431 | 1,52 | 1,61 | 1,7 | - | - | - |
| АН 35 | 0,905 | 0,978 | 1,035 | 1,105 | 1,165 | 1,23 | - | - | - |
| АН 50 | 0,625 | 0,670 | 0,715 | 0,76 | 0,805 | 0,850 | - | - | - |
| АН 70 | 0,448 | 0,484 | 0,52 | 0,57 | 0,617 | 0,669 | - | - | - |
| АН 93 | 0,337 | 0,354 | 0,37 | 0,39 | 0,419 | 0,458 | - | - | - |
| АН 120 | 0,207 | 0,218 | 0,23 | 0,24 | 0,254 | 0,263 | - | - | - |
| АН 25 | 1,155 | 1,245 | 1,321 | 1,404 | 1,487 | 1,570 | - | - | - |
| АН 35 | 0,835 | 0,895 | 0,955 | 1,015 | 1,075 | 1,135 | - | - | - |
| АН 50 | 0,57 | 0,61 | 0,660 | 0,70 | 0,743 | 0,784 | - | - | - |
| АН 70 | 0,413 | 0,447 | 0,472 | 0,502 | 0,531 | 0,561 | - | - | - |
| АН 93 | 0,311 | 0,333 | 0,355 | 0,375 | 0,400 | 0,422 | - | - | - |
| АН 120 | 0,246 | 0,255 | 0,261 | 0,269 | 0,276 | 0,284 | - | - | - |

Т а б л и ц а П.2

Небольшие допустимые токи нагрузки для проводов
при различных погодных условиях

| Марка провода | Допустимый ток нагрузки (А) для скорости ветра (v) и температуры воздуха (t) | | | | | |
|---------------|---|----------------|-----------------|---------------------|----------------|-----------------|
| | $v = 2 \text{ м/с}$ | | | $v = 4 \text{ м/с}$ | | |
| | $t = 0^\circ$ | $t = -5^\circ$ | $t = -10^\circ$ | $t = 0^\circ$ | $t = -5^\circ$ | $t = -10^\circ$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

Температура провода 90°C

| | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| М 25 | 255 | 275 | 280 | 310 | 320 | 350 |
| 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 | 575 | 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 (U) и температуры воздуха (t) | | | | | |
|---------------|--|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| | $U = 2$ м/с | | | $U = 4$ м/с | | |
| | $t = 0^\circ$ | $t = -5^\circ$ | $t = -10^\circ$ | $t = 0^\circ$ | $t = -5^\circ$ | $t = -10^\circ$ |
| I | 2 | 3 | 4 | | 6 | 7 |
| A 500 | 1460 | 1500 | 1535 | 1680 | 1720 | 1760 |
| A 550 | 1550 | 1585 | 1625 | 1780 | 1820 | 1864 |
| A 600 | 1630 | 1670 | 1710 | 1870 | 1915 | 1960 |

Температура провода 100°C

| | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|
| AC 25/4,2 | 224 | 230 | 235 | 261 | 268 | 275 |
| AC 35/6,2 | 299 | 306 | 312 | 336 | 344 | 352 |
| AC 50/8 | 343 | 351 | 359 | 399 | 416 | 434 |
| AC 70/11 | 428 | 436 | 447 | 495 | 508 | 519 |
| AC 70/72 | 468 | 479 | 489 | 541 | 553 | 565 |
| AC 95/16 | 533 | 545 | 557 | 617 | 631 | 645 |
| AC 95/15 | 520 | 532 | 543 | 602 | 616 | 630 |
| AC 95/141 | 562 | 595 | 607 | 670 | 685 | 700 |
| AC 120/19 | 610 | 624 | 637 | 705 | 721 | 737 |
| AC 120/27 | 609 | 623 | 636 | 703 | 719 | 735 |
| AC 150/19 | 705 | 721 | 736 | 813 | 831 | 850 |
| AC 150/24 | 710 | 721 | 741 | 820 | 838 | 857 |
| AC 150/34 | 711 | 727 | 743 | 821 | 839 | 858 |
| AC 165/24 | 821 | 839 | 857 | 947 | 969 | 990 |
| AC 185/29 | 807 | 825 | 843 | 930 | 951 | 972 |
| AC 185/43 | 825 | 843 | 861 | 951 | 972 | 994 |
| AC 185/128 | 870 | 889 | 908 | 1000 | 1022 | 1045 |
| AC 205/27 | 874 | 893 | 912 | 1007 | 1030 | 1052 |
| AC 240/32 | 977 | 999 | 1020 | 1124 | 1150 | 1175 |
| AC 240/39 | 961 | 982 | 1003 | 1106 | 1131 | 1155 |
| AC 240/56 | 960 | 1001 | 1022 | 1127 | 1152 | 1177 |
| AC 300/39 | 1119 | 1143 | 1167 | 1286 | 1315 | 1343 |
| AC 300/48 | 1109 | 1133 | 1157 | 1274 | 1303 | 1331 |
| AC 300/66 | 1103 | 1182 | 1151 | 1257 | 1296 | 1324 |

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы П I . 2

| Марка провода | Допустимый ток плавки (А) для скорости ветра (U) и температуры воздуха (t) | | | | | |
|---------------|--|---------|----------|-----------|---------|----------|
| | U = 2 м/с | | | U = 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 | 1725 | 1757 | 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 | 185 | 1889 | 2071 | 2117 | 2163 |
| АС 700/86 | 1923 | 19 | 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 |

ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА И ИЗМОРОЗА
ОТ ЗНАЧЕНИЙ ТОКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК ПРОВОДА

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

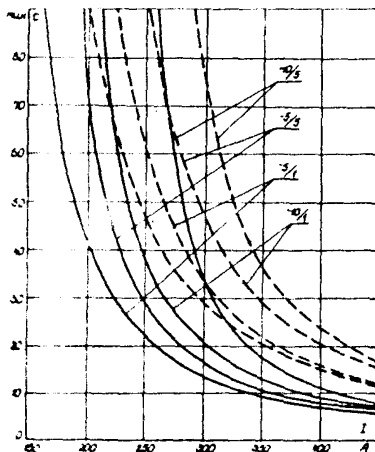


Рис. 12.1. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma=0,9$) от тока.

Провод М 50: _____ $D = 3 \text{ см}$;
----- $D = 5 \text{ см}$

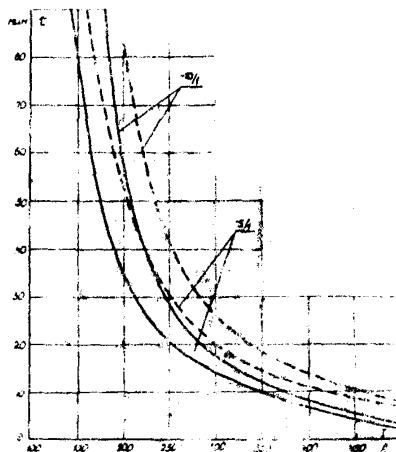


Рис. 12.2. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma=0,5$) от тока.

Провод М 50: _____ $D = 5 \text{ см}$;
----- $D = 7 \text{ см}$

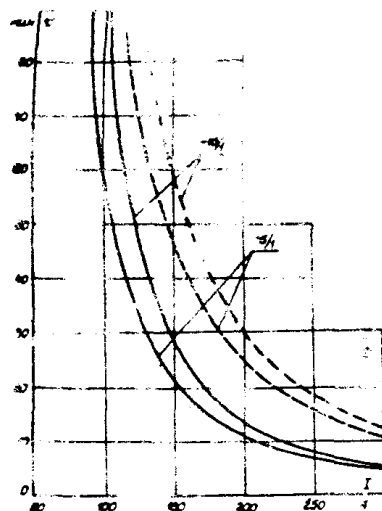


Рис. П2.3. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,2$) от тока.

Провод М 60: ————— $D = 5$ см;
 ———— $D = 10$ см

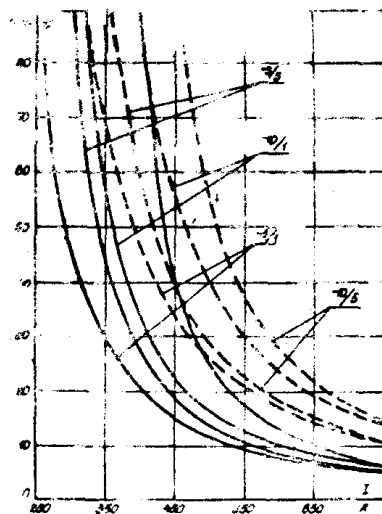


Рис. П2.4. Зависимость времени плавки гололеда ($r = 0,9$) от тока.

Провод М 70: ————— $D = 3$ см;
 ———— $D = 5$ см

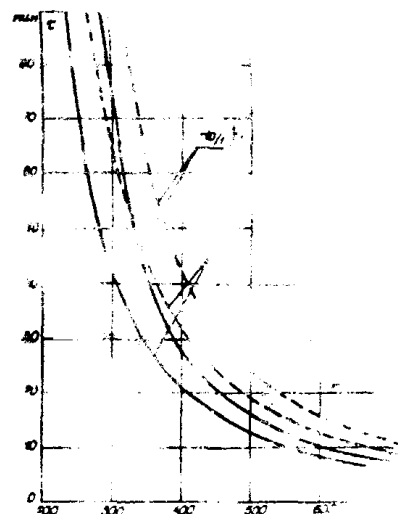


Рис. П2.5. Зависимость времени плавки изморози от тока $r = 0,5$

Провод М 70: ————— $D =$
 ———— $D =$

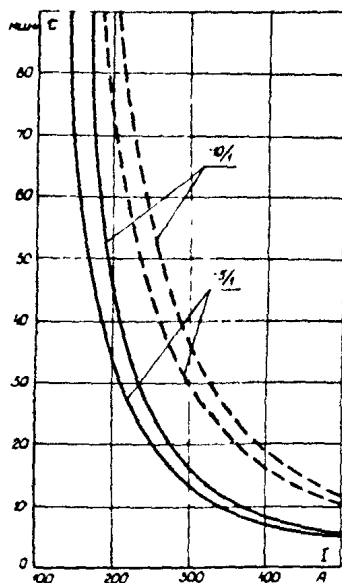


Рис. П2.6. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,2$) от тока.

Провод М 70: ——— $D = 5$ см;
 ----- $D = 10$ см

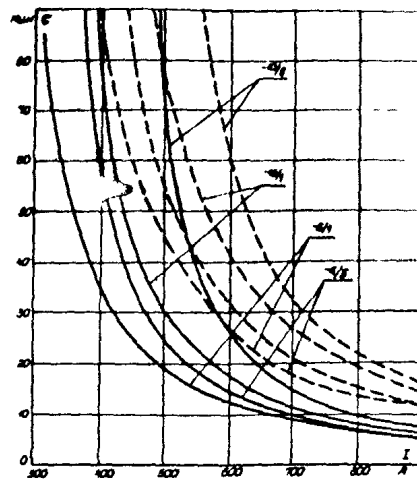


Рис. П2.7. Зависимость времени плавки гололеда ($r = 0,9$) от тока.

Провод М 95: ——— $D = 3$ см;
 ----- $D = 5$ см

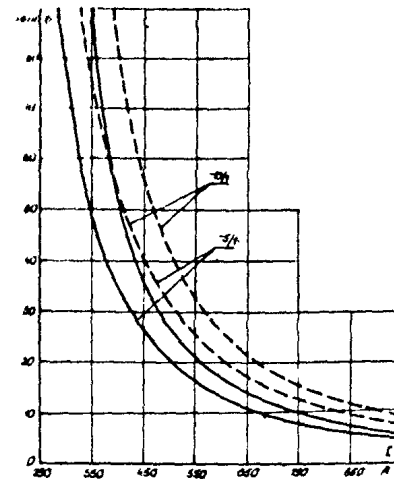


Рис. П2.8. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,5$) от тока

Провод М 95: ——— $D = 5$ см;
 ----- $D = 7$ см

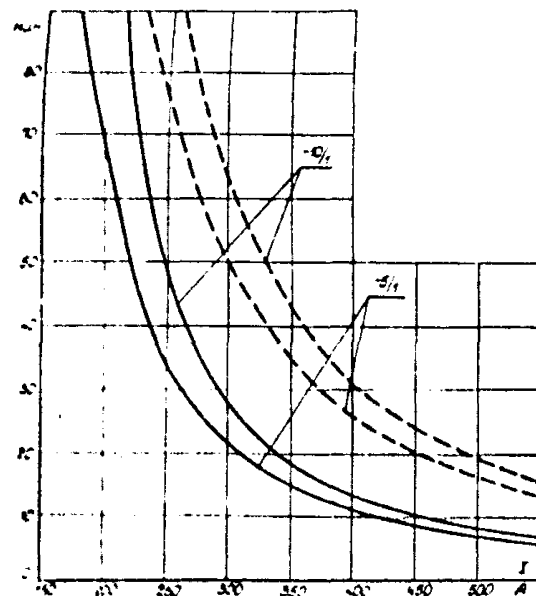


Рис.П2.9. Зависимость времени плавки
изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод № 90: ——— $D = 5$ см;
----- $D = 10$ см

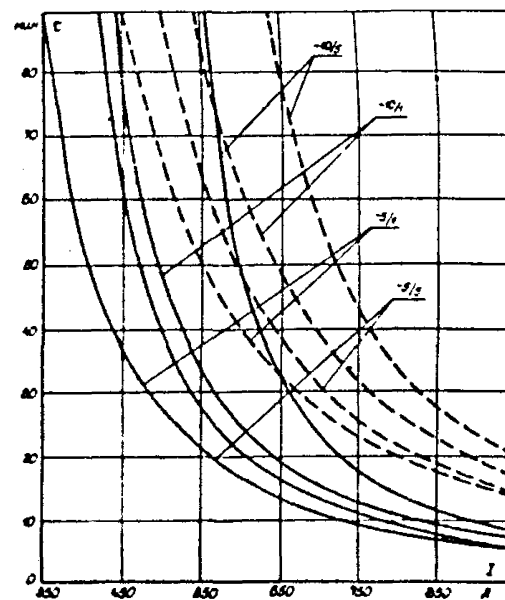


Рис.П2.10. Зависимость времени плавки
гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.

Провод № 120: ——— $D = 3$ см;
----- $D = 5$ см

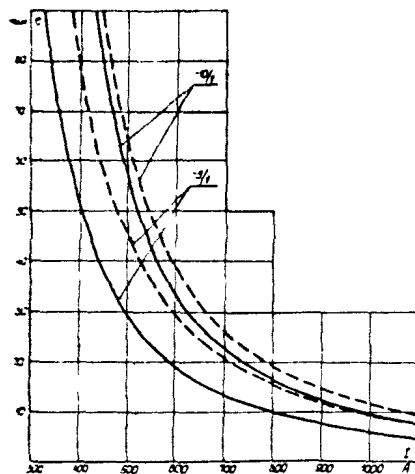


Рис. П2.11. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод М 120: ——— $D = 5$ см;
 ——— $D = 7$ см

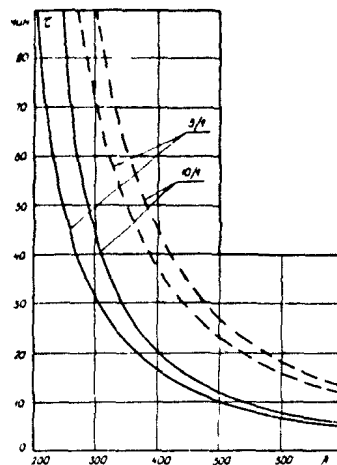


Рис. П2.12. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод М 120: ——— $D = 5$ см;
 ——— $D = 10$ см

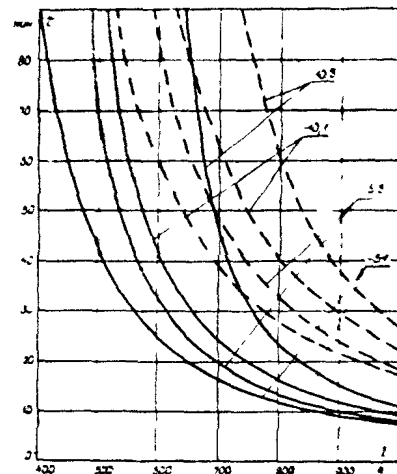


Рис. П2.13. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.

Провод М 150: ——— $D = 3$ см;
 ——— $D = 5$ см

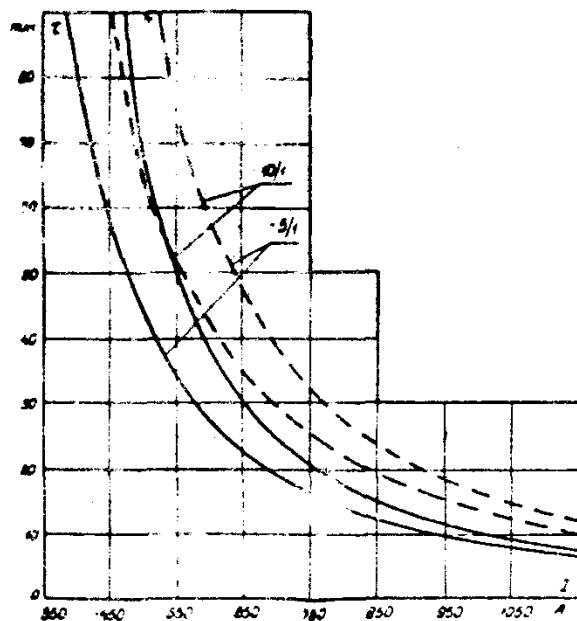


Рис. П2.14. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,5$) от тока.

Провод № 150: ——— $D = 5$ см;
 ——— $D = 7$ см

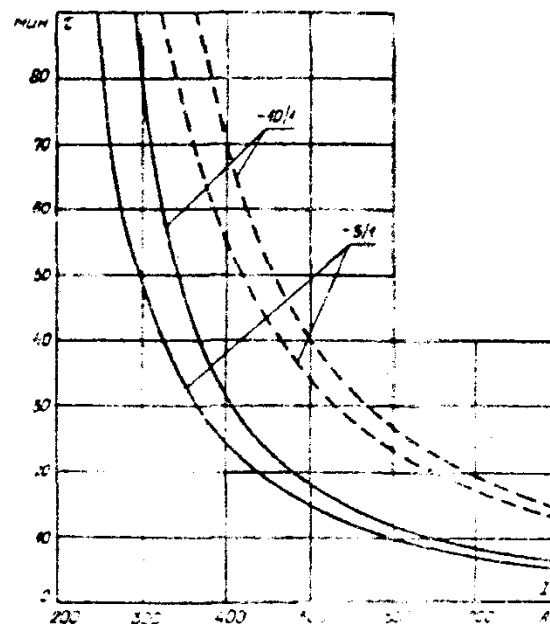


Рис. П2.15. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,2$) от тока

Провод № 150: ——— $D = 5$ см;
 ——— $D = 10$ см

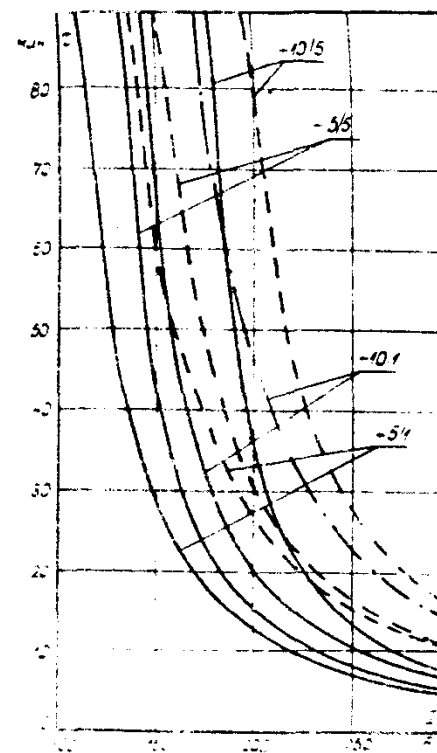


Рис. П2.16. Зависимость времени плавки гололедицы ($r = 0,9$) от тока

Провод № 25: ——— $D = 3$ см;
 ——— $D = 5$ см

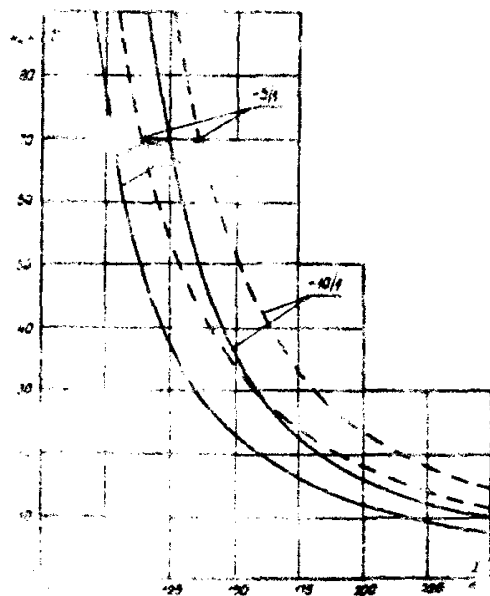
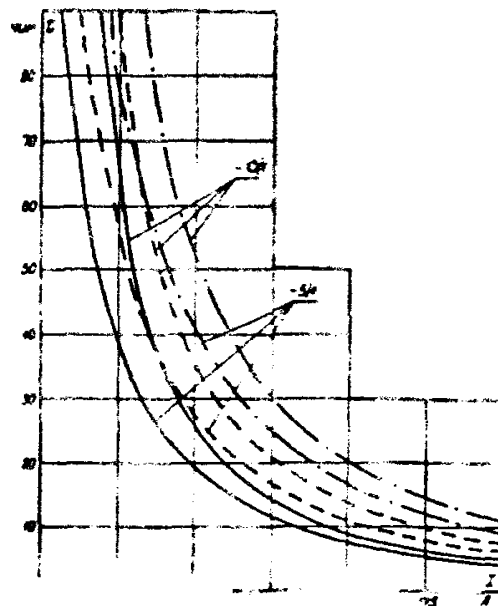


Рис. П2.17. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,8$) от тока.

$$\frac{D}{D} = 10$$



Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,8$) от тока.

$$\begin{aligned} \text{---} & D = 5 \text{ см;} \\ \text{---} & D = 7 \text{ см;} \\ \text{-.-} & D = 10 \text{ см} \end{aligned}$$

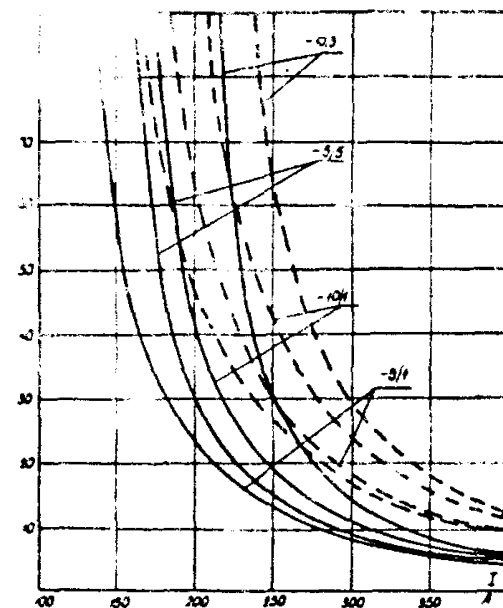


Рис. П2.19. Зависимость времени плавки гололеда ($r = 0,9$) от тока.

Провод № 35

$$\begin{aligned} \text{---} & D = 3 \text{ см;} \\ \text{---} & D = 5 \text{ см} \end{aligned}$$

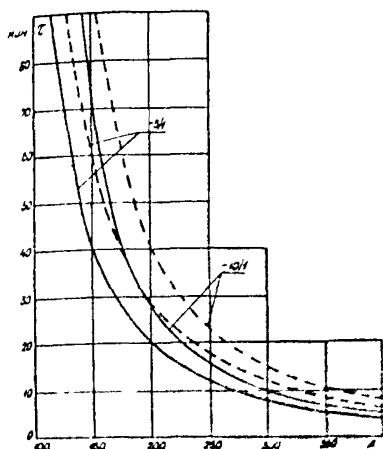


Рис.П2.20. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод А 35: — $D = 5$ см;
 --- $D = 7$ см

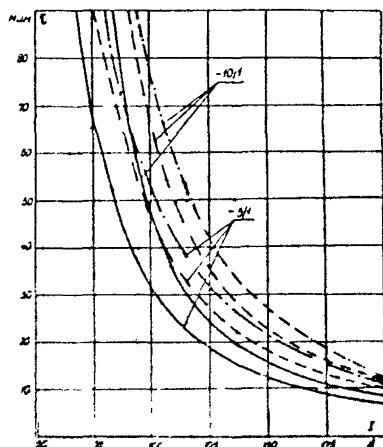
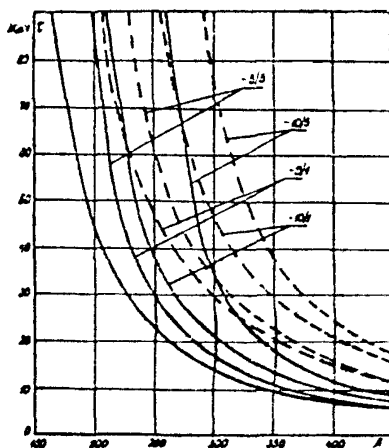


Рис.П2.21. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод А 35: — $D = 5$ см;
 --- $D = 7$ см;
 - - - $D = 10$ см

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

Провод А 50: — $D = 3$ см;
 --- $D = 5$ см



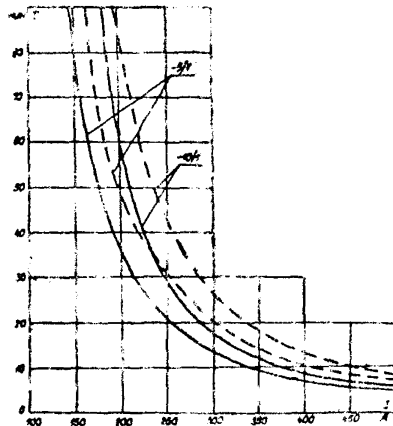


Рис. П2.23. Зависимость времени пла-
вки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод А 50: — $D = 5$ см;
--- $D = 7$ см

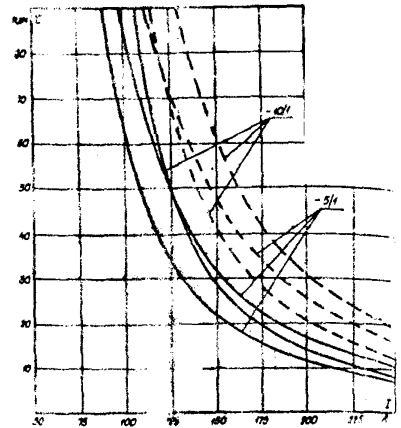


Рис. П2.24. Зависимость времени
плашки изморози ($\gamma = 0,2$)
от тока.

Провод А 50: — $D = 5$ см;
--- $D = 7$ см;
- - - $D = 10$ см

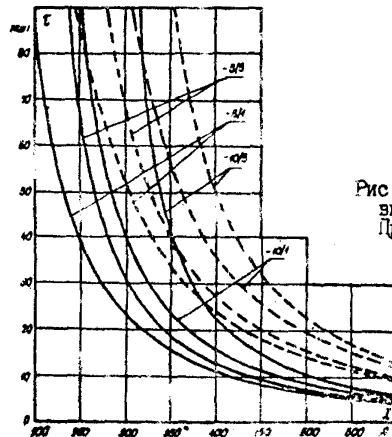


Рис. П2.25. Зависимость времени пла-
вки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока

Провод А 70: — $D = 3$ см;
--- $D = 5$ см;
- - - $D = 7$ см

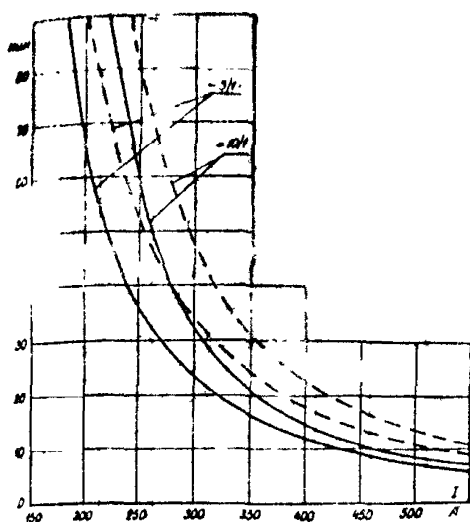


Рис. П2.26. Зависимость времени пла-
вки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод А 70: ——— $D = 5$ см;
----- $D = 7$ см

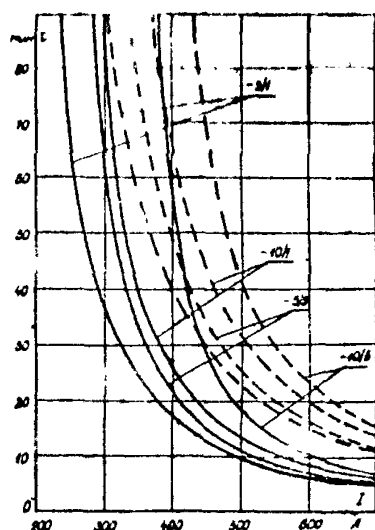
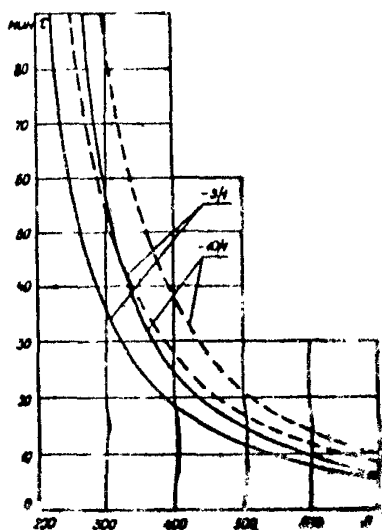


Рис. П2.27. Зависимость времени
плавки гололеда ($\gamma = 0,9$)
от тока.

Провод А 95: ——— $D = 5$ см;
----- $D = 7$ см

Рис. П2 28. Зависимость времени пла-
вки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод А 95: ——— $D = 5$ см;
----- $D = 7$ см



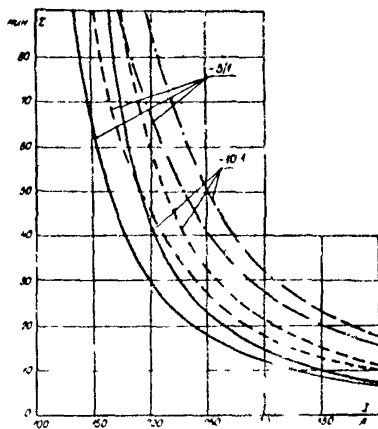


Рис.П2.29. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока!

Провод А 95: ————— $D = 5$ см;
 - - - - - $D = 7$ см;
 - . - . - $D = 10$ см

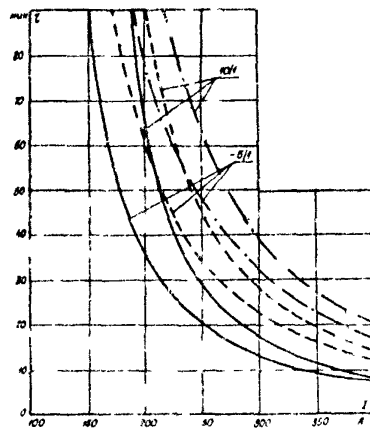


Рис.П2.30. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод А 120: ————— $D = 4$ см;
 - - - - - $D = 6$ см;
 - . - . - $D = 8$ см

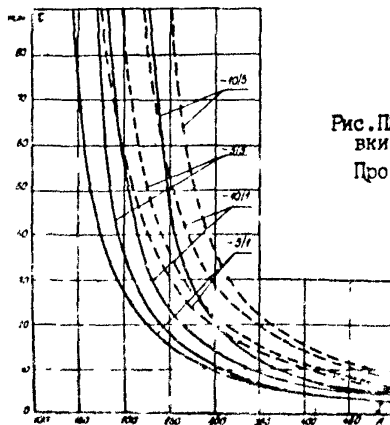


Рис.П2 31. Зависимость времени плавки снега ($\gamma = 0,9$) от тока.

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

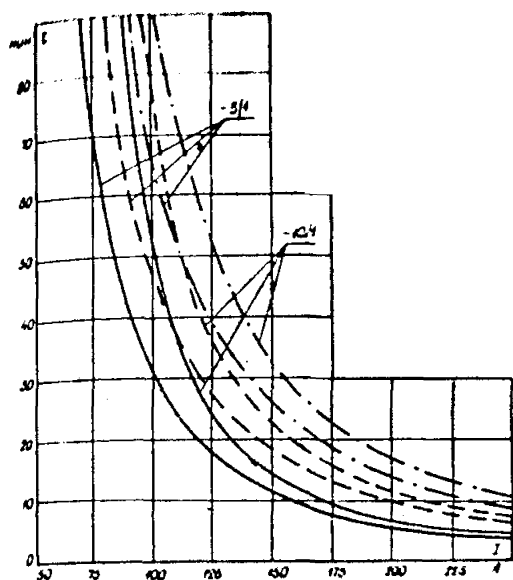


Рис. П2.32. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,2$) от тока.

Провод АС 35/6,2: — $D = 4$ см;
 --- $D = 6$ см;
 - · - $D = 8$ см

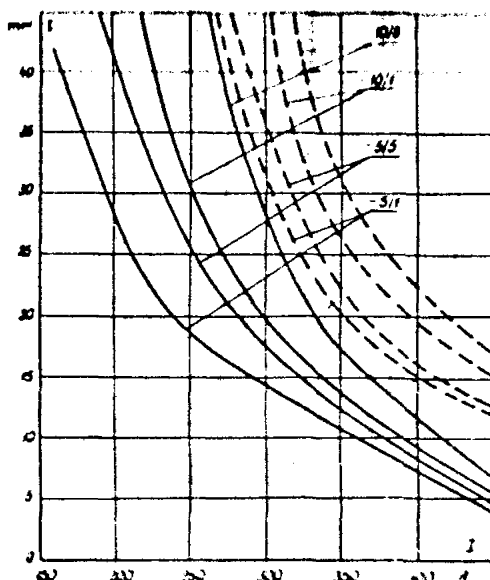


Рис. П2.33. Зависимость времени плавки гололеда ($r = 0,9$) от тока.

Провод АС 50/8,0: — $D = 3$ см;
 --- $D = 5$ см;
 - · - $D = 8$ см

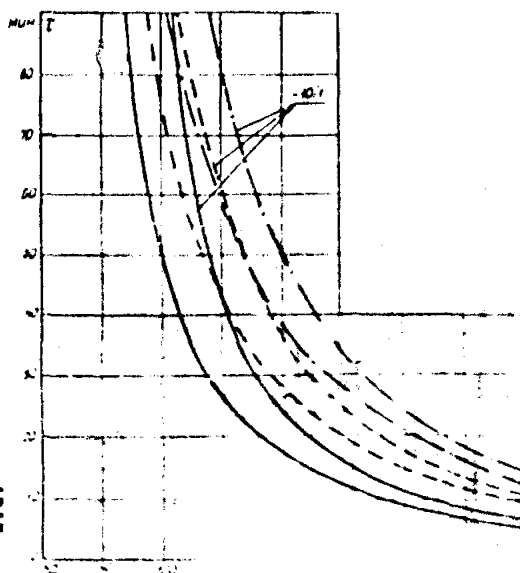


Рис. П2.34. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,2$) от тока.

Провод АС 50/8,0: — $D = 4$ см;
 --- $D = 6$ см;
 - · - $D = 8$ см

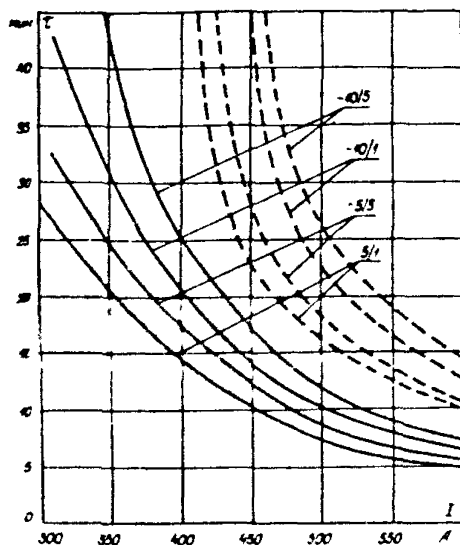


Рис. П2.35. Зависимость времени плавки подоледа ($\gamma = 0,9$) от тока.

Провод АС 70/II: ——— $D = 3$ см;
 - - - - $D = 5$ см

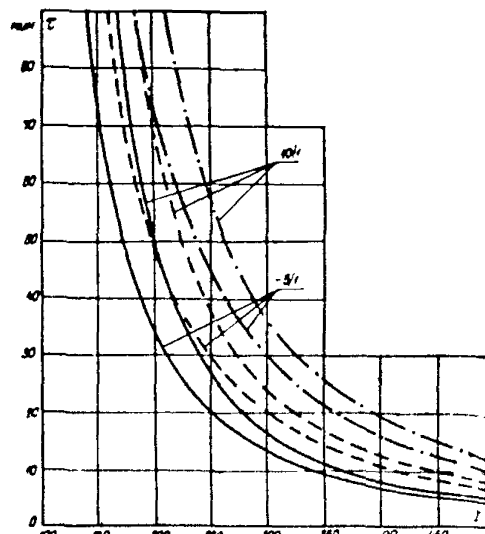


Рис. П2.36. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока.

Провод АС 70/II: ——— $D = 4$ см;
 - - - - $D = 6$ см;
 - . - - $D = 8$ см

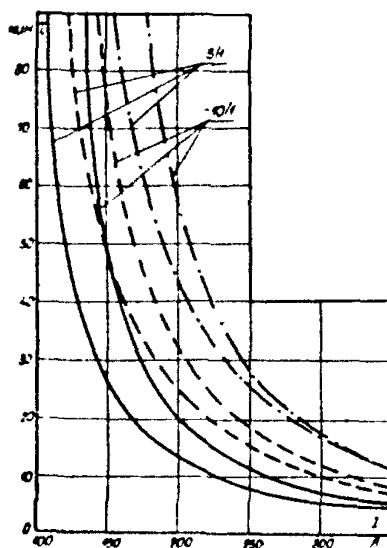


Рис. П2.37. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока.

Провод АС 70/II: ——— $D = 4$ см;
 - - - - $D = 6$ см;
 - . - - $D = 8$ см

Рис. П2.38. Зависимость времени пла-
вки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока.
Провод АС 95/16: — $D = 3,5$ см;
--- $D = 5$ см

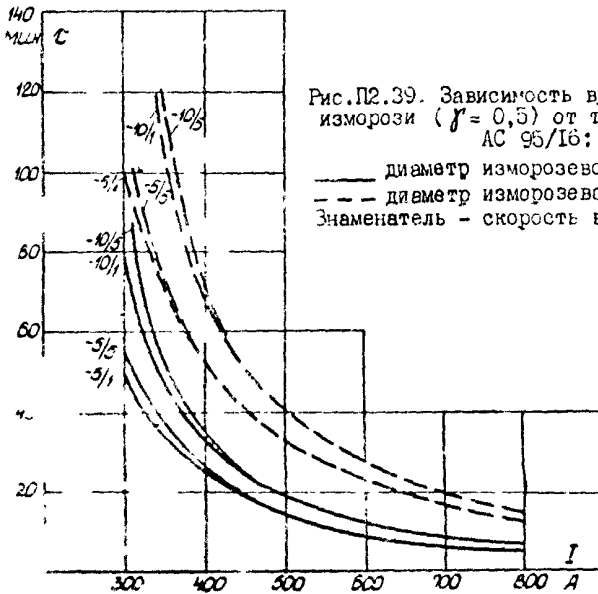
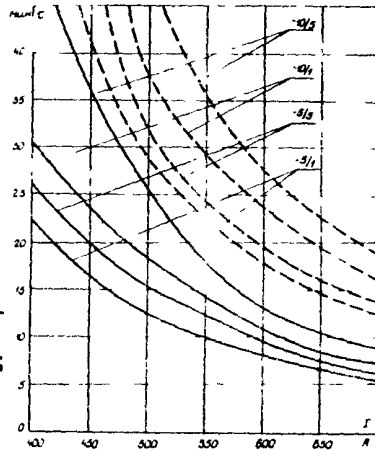


Рис. П2.39. Зависимость времени плавки
изморози ($\gamma = 0,5$) от тока. Провод
АС 95/16:
— диаметр изморозевой муфты 3 см;
--- диаметр изморозевой муфты 10 см.
Знаменатель - скорости ветра м/с

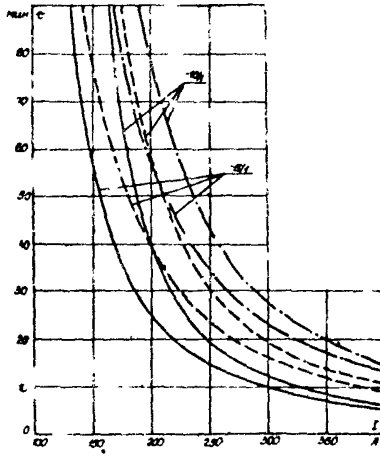


Рис. П2.40. Зависимость времени плавки изморози от тока ($r = 0,2$).

Провод АС 95/16: — $D = 4$ см;
 --- $D = 6$ см;
 - - - $D = 8$ см

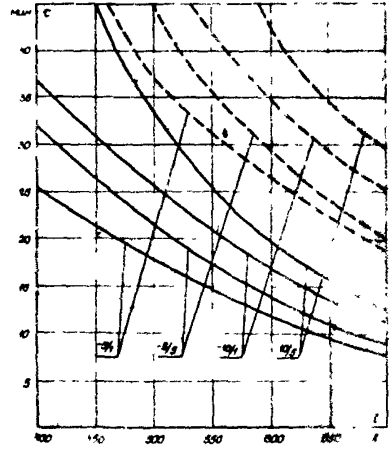


Рис. П2.41. Зависимость времени плавки гололеда ($r = 0,9$) от тока.

Провод АС 120/19: — $D = 3,5$ см;
 --- $D = 5,5$ см

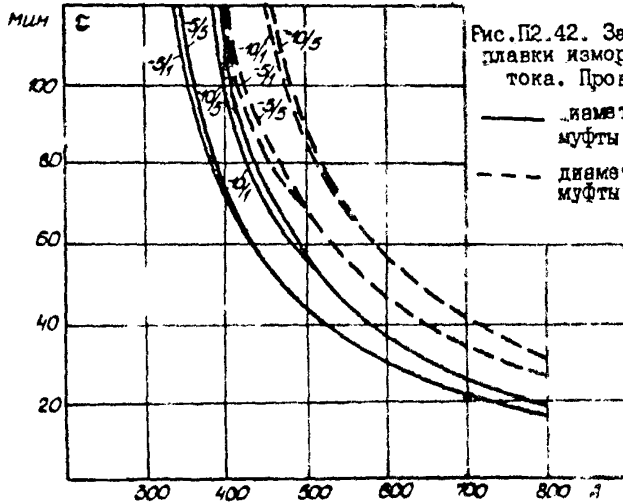


Рис. П2.42. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,5$) от тока. Провод АС 120/19:

— диаметр изморозевой муфты 10 см;
 --- диаметр изморозевой муфты 15 см

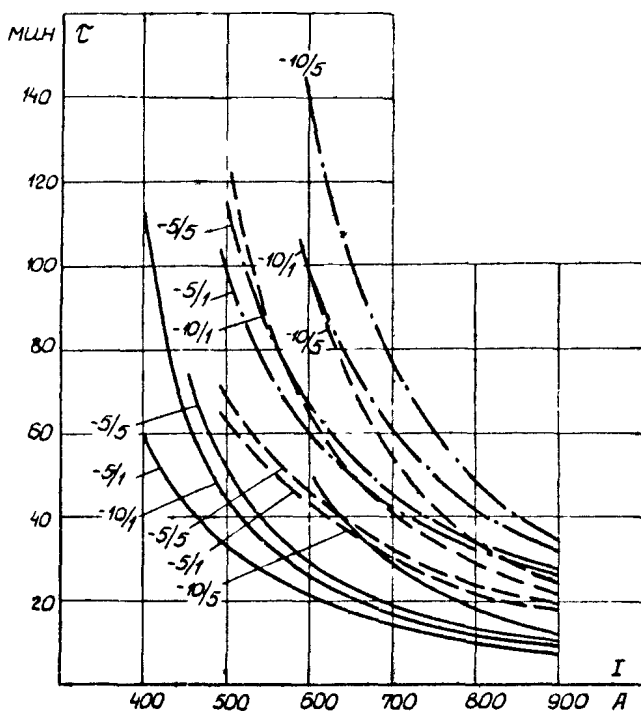


Рис.П2.43. Зависимость времени плавки голоследа ($\gamma = 0,9$) от тока. Провод АС 150/24:

- диаметр гололедной муфты 4 см;
- - - диаметр гололедной муфты 6 см;
- . - диаметр гололедной муфты 8 см

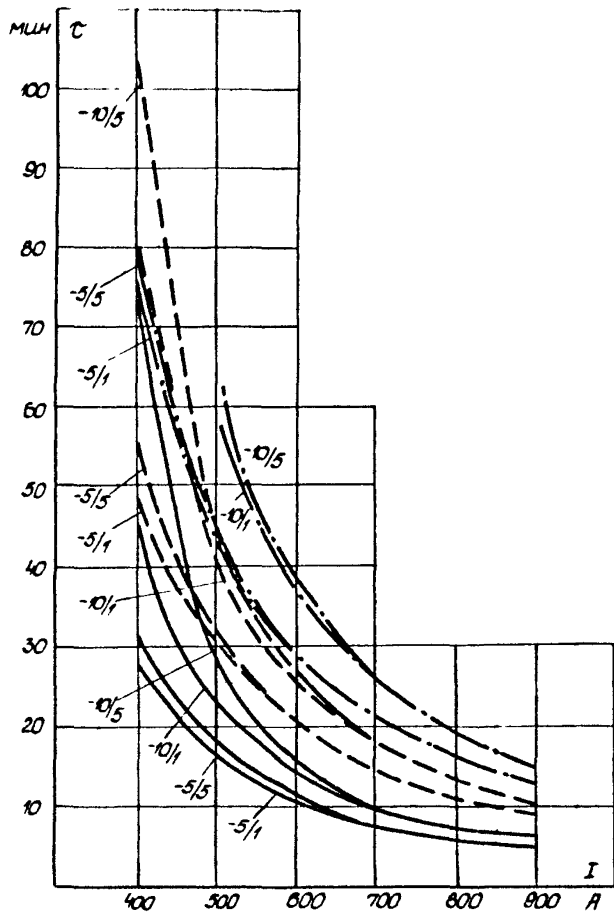


Рис. П2.44. Зависимость времени плавки изморози ($r = 0,5$) от тока. Провод АС I50/24:

- диаметр изморозевой муфты 4 см;
- - - диаметр изморозевой муфты 6 см;
- . - диаметр изморозевой муфты 8 см

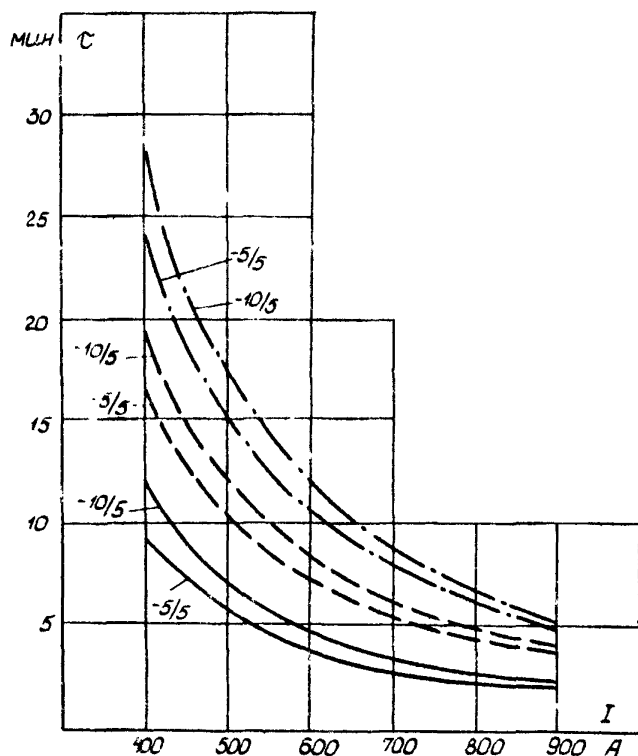


Рис. 12. Зависимость времени плавления изморози ($\gamma = 0,2$) от тока. Провод АС 150/24:

- диаметр изморозевой муфты 4 см;
- - - диаметр изморозевой муфты 6 см;
- · - диаметр изморозевой муфты 8 см

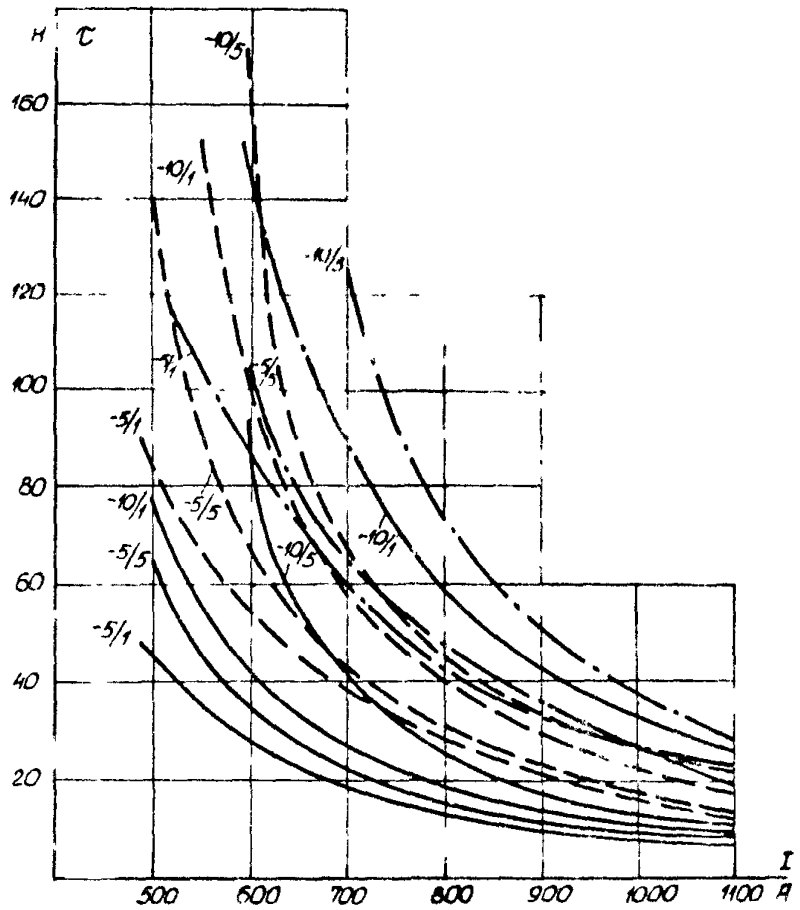


Рис. П2.46. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 9$) от тока плавки. Провод АС 185/20:

- диаметр муфты гололеда 4 см;
- - - диаметр муфты гололеда 6 см;
- · - диаметр муфты гололеда 8 см

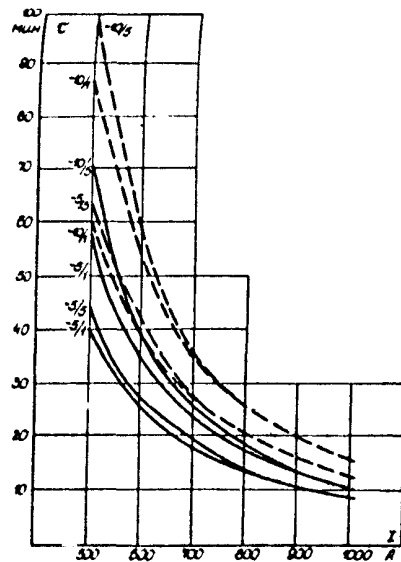


Рис. П2.47. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока плавки.
Провод АС 185/29:

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

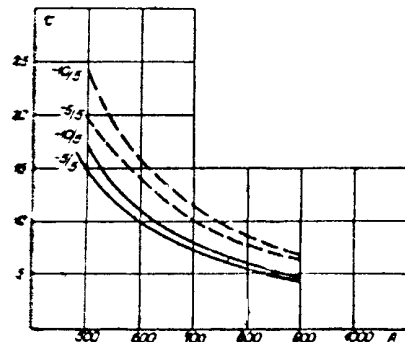


Рис. П2.48. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока плавки.
Провод АС 185/29:

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

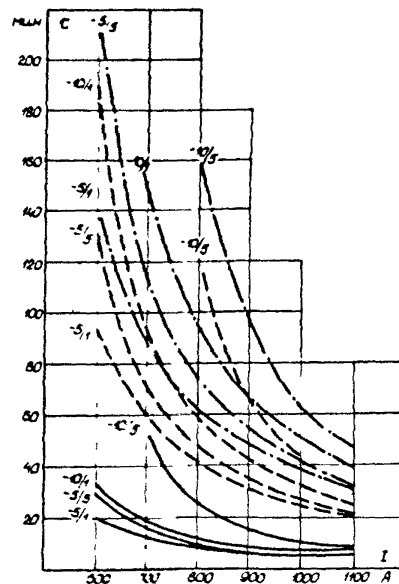


Рис.П2.49. Зависимость времени плавки гололеда ($\gamma = 0,9$) от тока. Провод АС 240/39:

— диаметр гололедной муфты 3 см;
 --- диаметр гололедной муфты 6 см;
 --- диаметр гололедной муфты 8 см

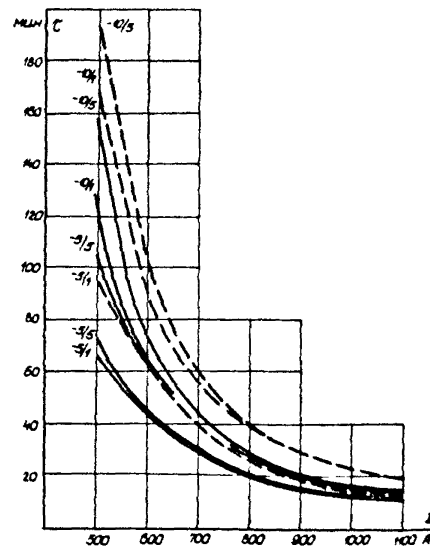


Рис.П2.50. Зависимость времени плавки изморози ($\gamma = 0,5$) от тока. Провод АС 240/39:

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

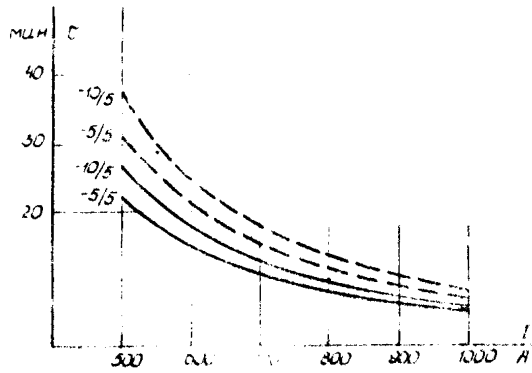


Рис.П2.51. Зависимость времени оттаивки изморози ($\gamma = 0,2$) от тока. Провод АС 240/30;

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

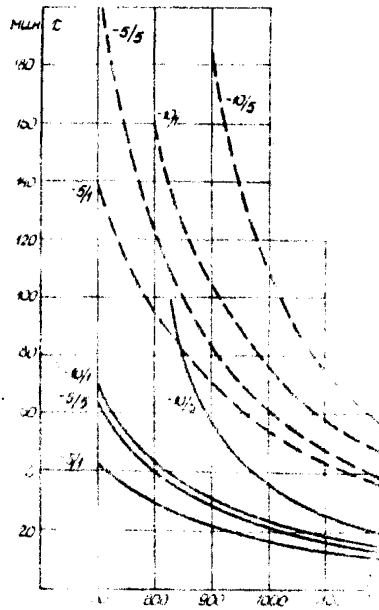


Рис.П2.52. Зависимость времени оттаивки гололеда от тока. Провод 300/40 ($\gamma = 0,9$ г/см³);

— диаметр гололедной муфты 6 см;
 --- диаметр гололедной муфты 9 см

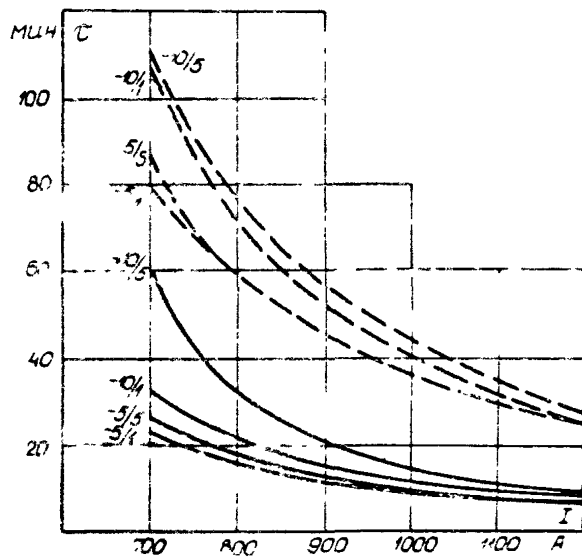


Рис. П2.53. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 ($\rho = 0,5 \text{ г/см}^3$):

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

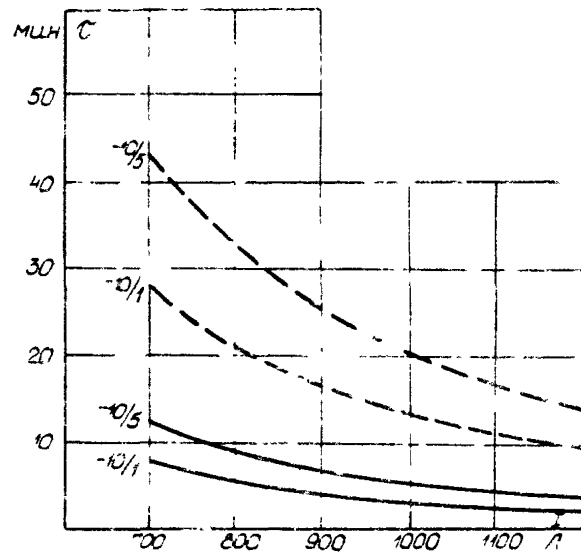


Рис. П2.54. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 ($\rho = 0,2 \text{ г/см}^3$):

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

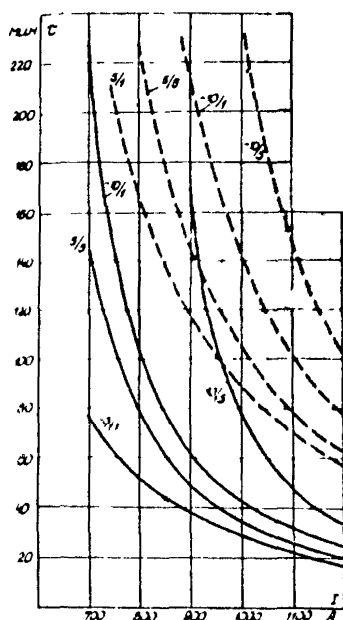


Рис.П2.55. Зависимость времени плавки гололеда от тока (провод АС 400/51 ($\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$)).

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

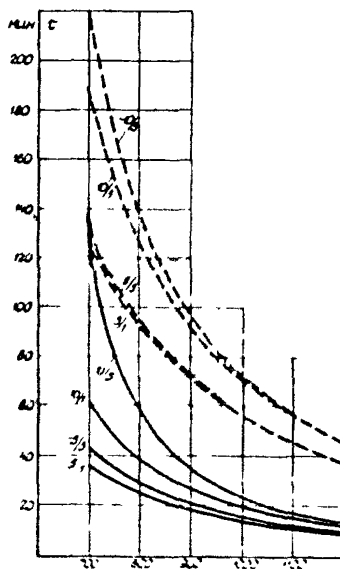


Рис.П2.56. Зависимость времени плавки изморозей от тока (провод АС 400/51 ($\rho = 0,5 \text{ г/см}^3$)).

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

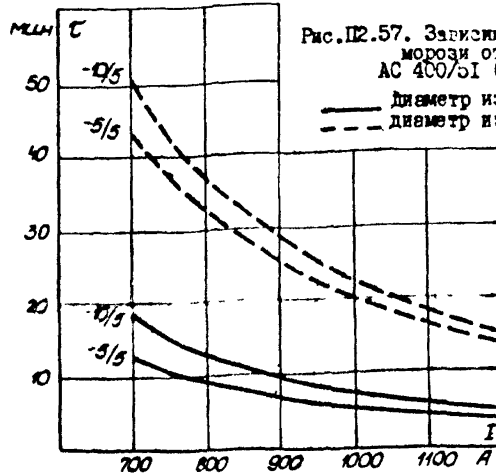


Рис.П2.57. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 400/51 ($\rho = 0,2 \text{ г/см}^3$);

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

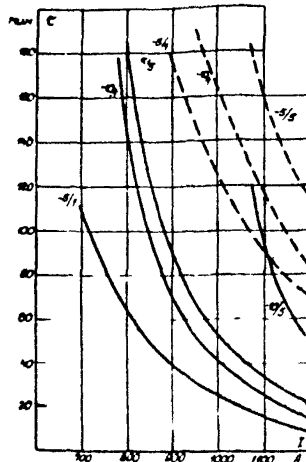


Рис.П2.58. Зависимость времени плавки гололеда от тока (пр вод АС 500/27 ($\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$);

— диаметр гололедной муфты 5 см;
--- диаметр гололедной муфты 11 см

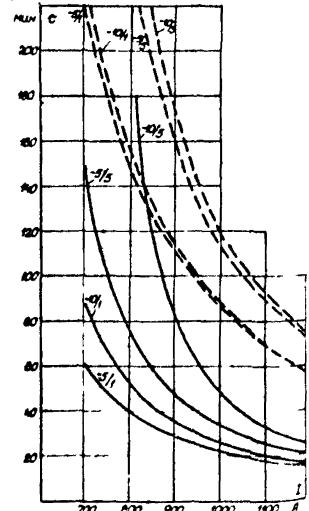


Рис.П2.59. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 500/27 ($\rho = 0,5 \text{ г/см}^3$);

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

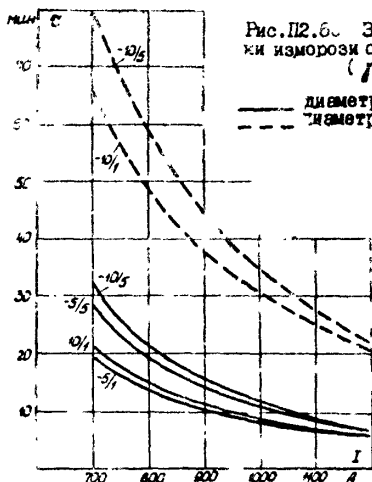


Рис. П2.60. Зависимость времени плавления изморози от тока (провод АС 500/27 ($\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$)).

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

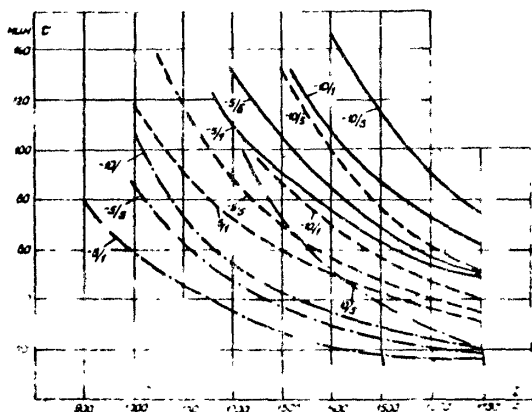


Рис. П2.61. Зависимость времени плавления гололеда от тока. Провод АС 600/72 ($\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$).

— диаметр гололедной муфты 5,3 см;
 --- диаметр гололедной муфты 7,3 см;
 - · - диаметр гололедной муфты 9,3 см

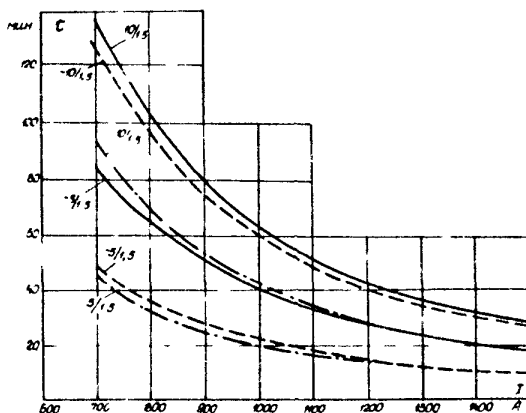


Рис. П2.62. Зависимость времени плавления изморози от тока. Провод АСО-600 ($\rho = 0,5 \text{ г/см}^3$):

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

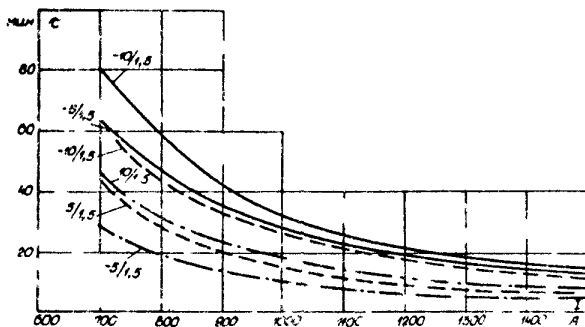


Рис. П2.63. Зависимость времени плавления изморози от тока. Провод АСО-60 ($\rho = 0,2 \text{ г/см}^3$):

- диаметр изморозевой муфты 5,3 см
- - диаметр изморозевой муфты 7,3 см
- - - диаметр изморозевой муфты 9,3 см

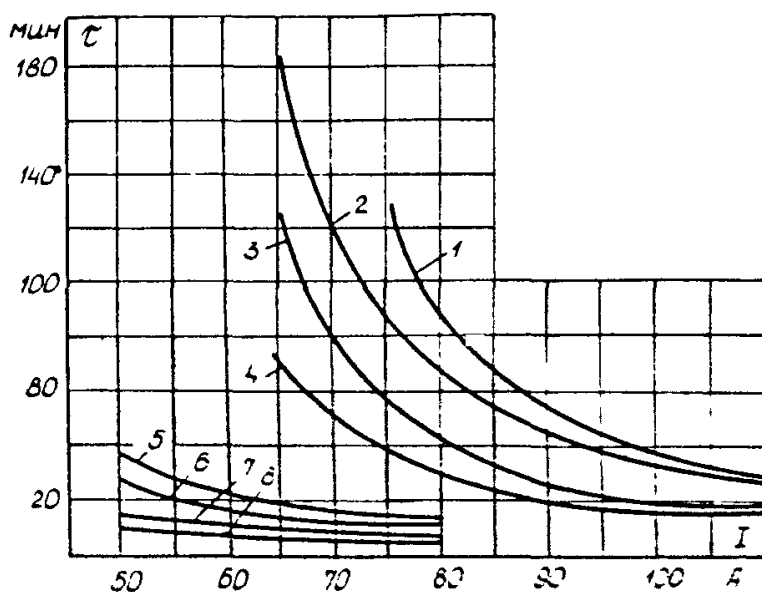


Рис. П2.64. Время и токи плавки гололеда на тросе сечением 35 мм

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

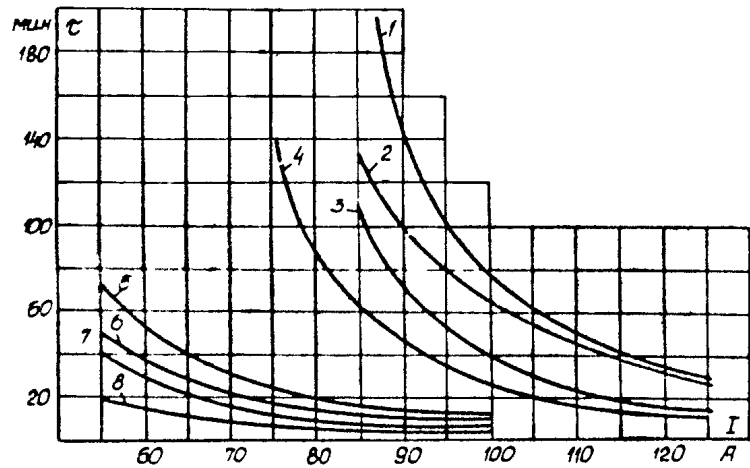


Рис.П2.65. Время и токи плавки гололеда и изморози на тросе С-50

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

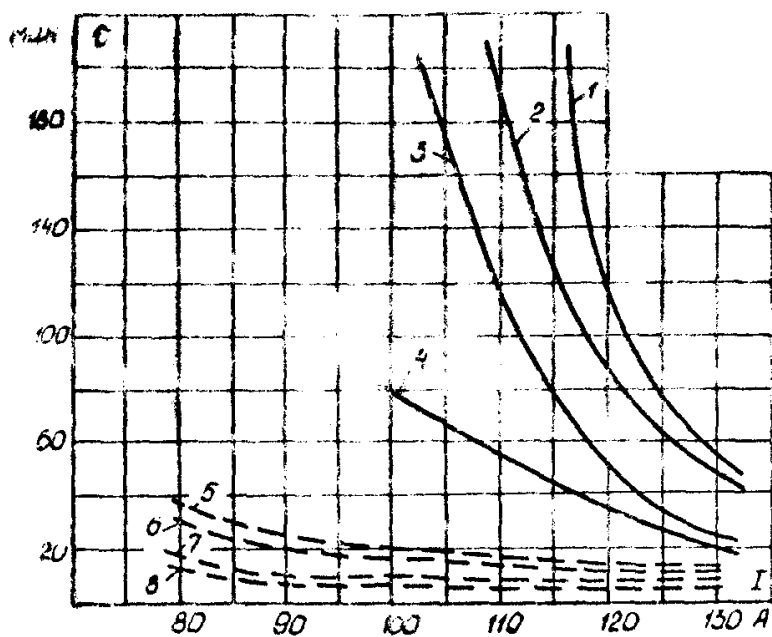


Рис. П2.66. Время и токи плавки гололеда и изморози на трассе С-70

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

Приложение 3

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА ПЛАВКИ В ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕ- МЕННОМ РЕЖИМЕ КЗ

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

При использовании этого метода необходимо руководствоваться следующим:

1. Максимально допустимая температура нагрева провода на участках, свободных от гололеда при температурах воздуха -5°C и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с п.2.1 настоящих Руководящих указаний.

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

2. В соответствии с выбранной схемой определяется ток плавки.

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

4. Суммарное время плавки T (с) определяется по формуле

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

где γ - объемный вес льда, г/см³;
 d - диаметр провода без гололеда, см;
 b - толщина стенки гололеда, см;
 D - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;
 t - абсолютное значение температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$;
 S - теплоемкость материала провода, Вт.с/(г. $^{\circ}\text{C}$) (для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38);
 r_n - объемный вес материала провода, г/см³;

S - сечение провода, см^2 ;

I - ток плавки, А ;

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

U - скорость ветра, м/с .

3. Число циклов, необходимых для плавки:

$$n = 1,2 \frac{T}{T_p}.$$

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 сталеалюминевых проводов сечением 25 и 35 мм^2 и для проводов ЛС-20 принимается равной 3 мин, сечением 50 и 70 мм^2 и для проводов ЛС-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.

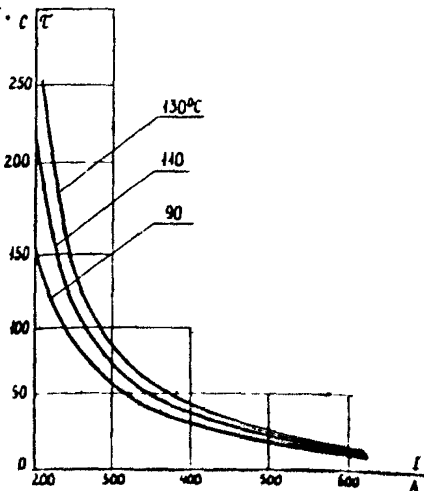


Рис. ПЗ.1. Зависимость нагрева провода АС 25/4,2 от режима плавки

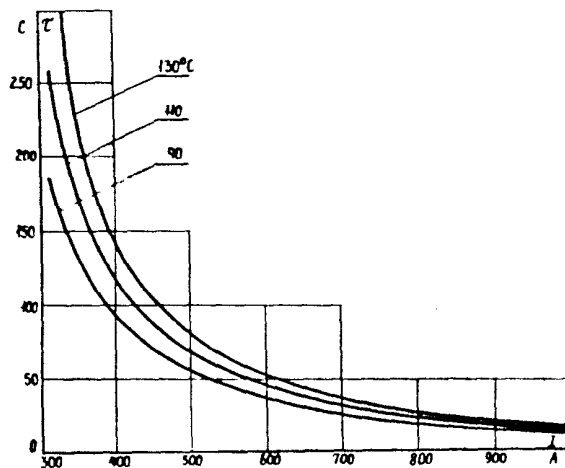


Рис.ПЗ.2. Зависимость нагрева провода АС 35/6,2 от режима плавки

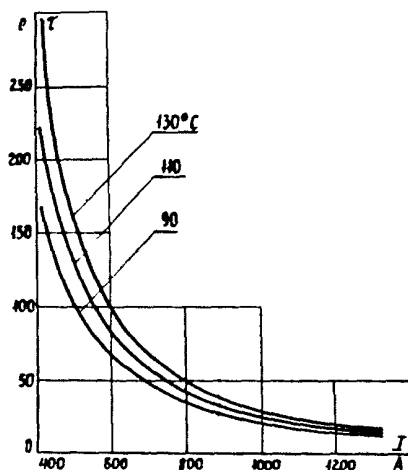


Рис.ПЗ.3. Зависимость нагрева провода АС 50/8,0 от режима плавки

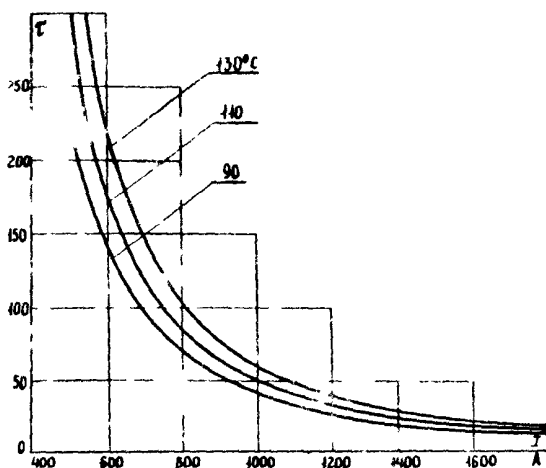


Рис. 13.4. Зависимость нагрева провода АС 70/II от режима пл км

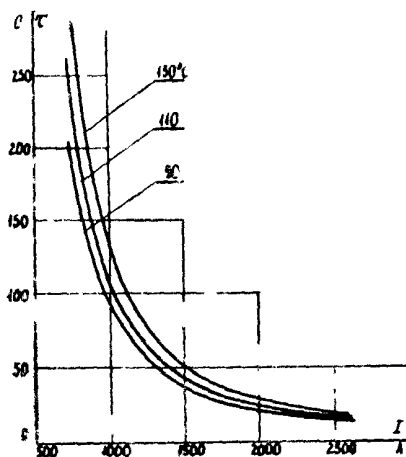


рис. 13.5. Зависимость нагрева провода АС 95/IC от режима плавки

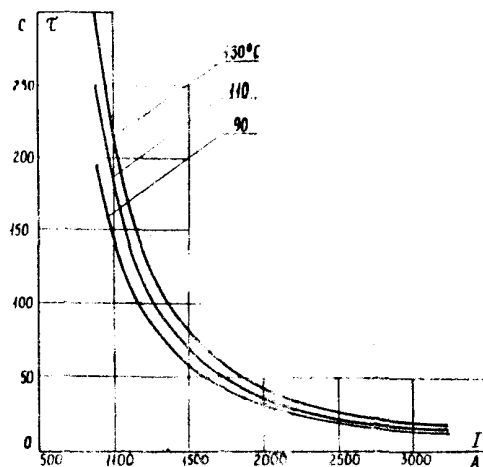


Рис.ПЗ.6. Зависимость нагрева провода АС 120/19 от режима плавки

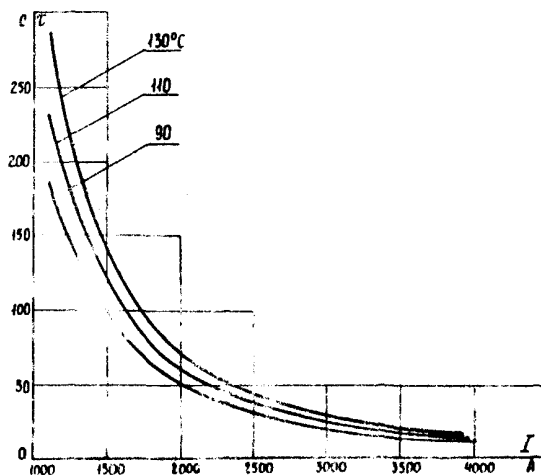


Рис.ПЗ.7. Зависимость нагрева провода АС 150/24 от режима плавки

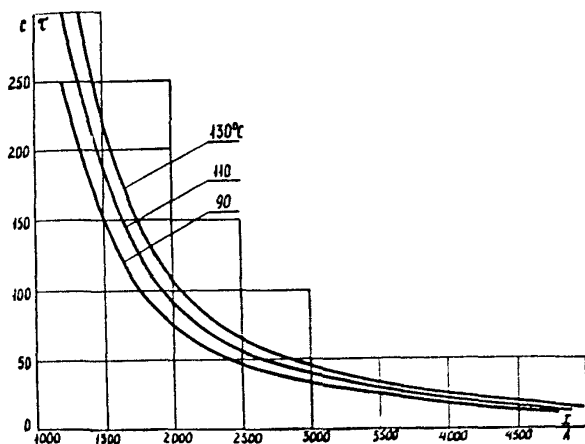


Рис.ПЗ.8. Зависимость нагрева провода АС 165/29 от режима плавки

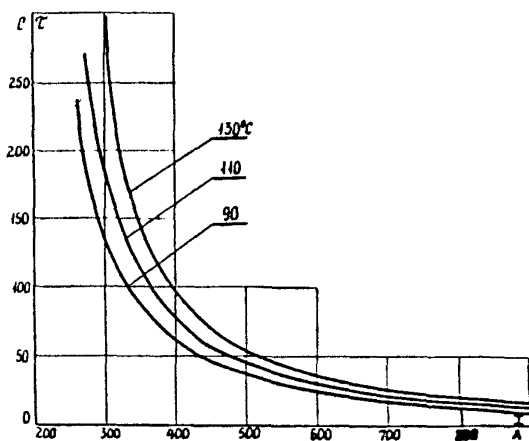


Рис.ПЗ.9. Зависимость нагрева провода А 35 от режима плавки

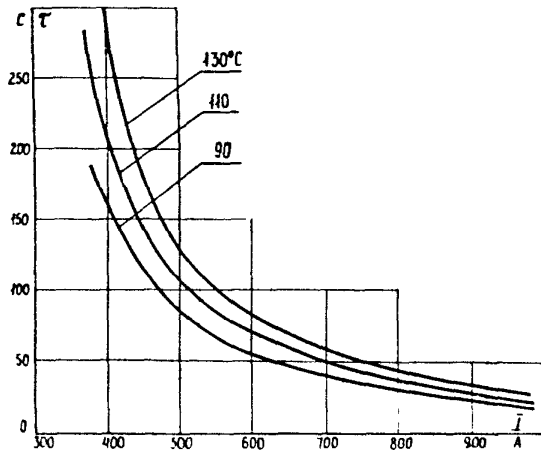


Рис.ПЗ.10. Зависимость нагрева провода А 50 от режима плавки

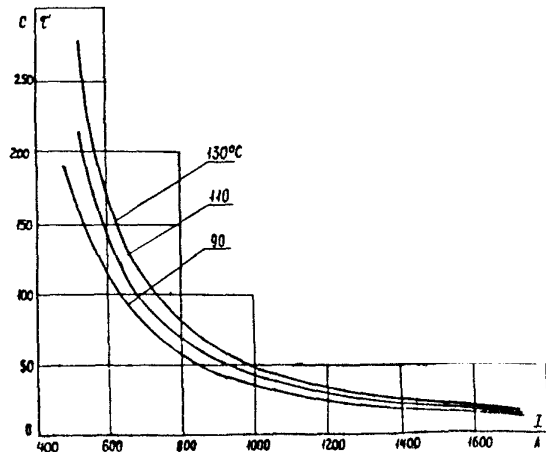


Рис.ПЗ.11. Зависимость нагрева провода А 70 от режима плавки

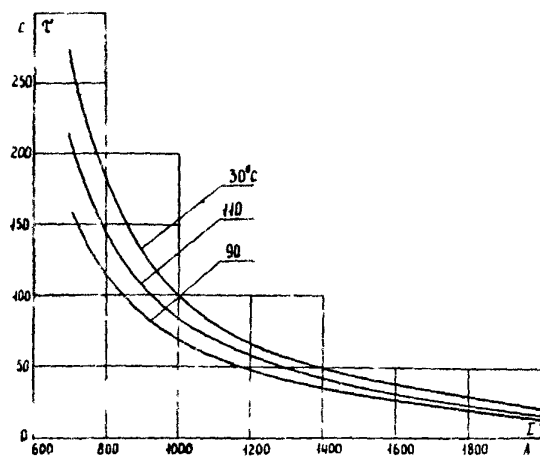


Рис.ПЗ.12. Зависимость нагрева провода А 95 от режима плавки

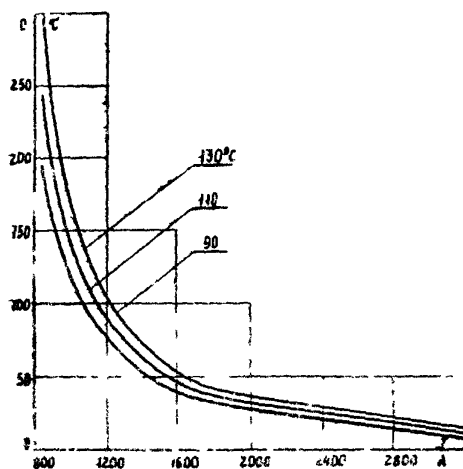


Рис.ПЗ.13. Зависимость нагрева провода А 120 от режима плавки

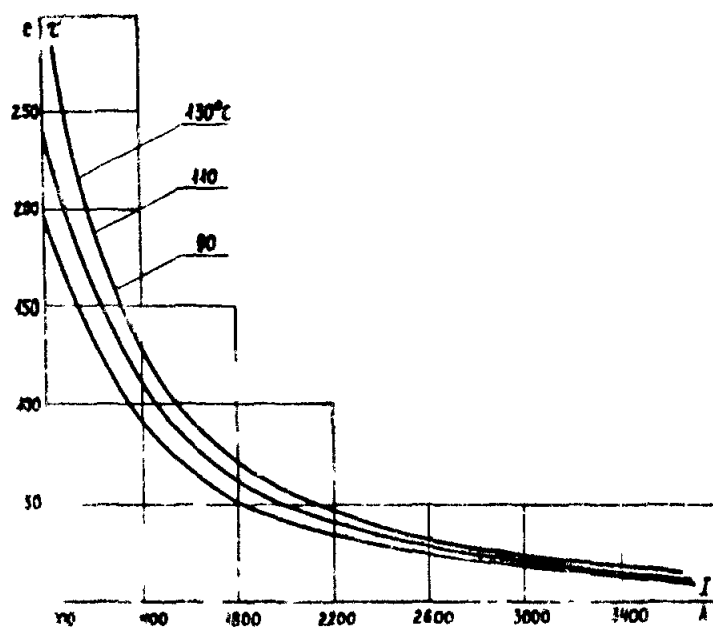


Рис.ПЗ.14. Зависимость нагрева провода А I50 от режима плавки

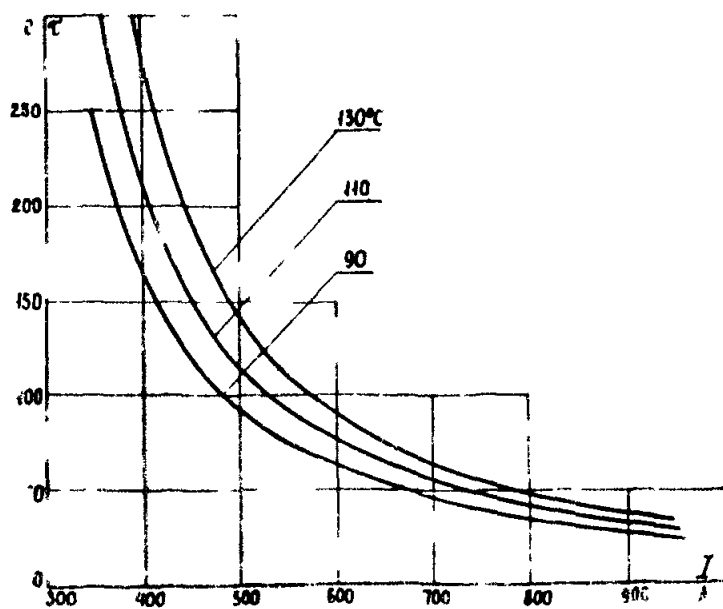


Рис.ПЗ.15. Зависимость нагрева провода М 35 от режима плавки

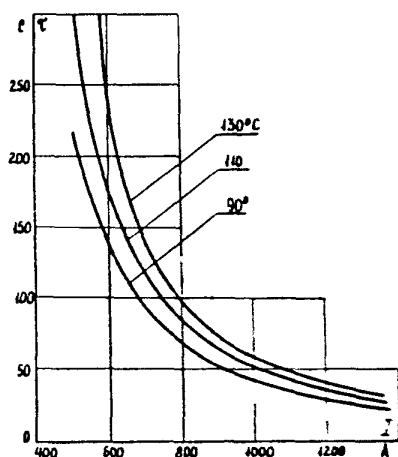


Рис.ПЗ.16. Зависимость нагрева провода М 150 от режима плавки

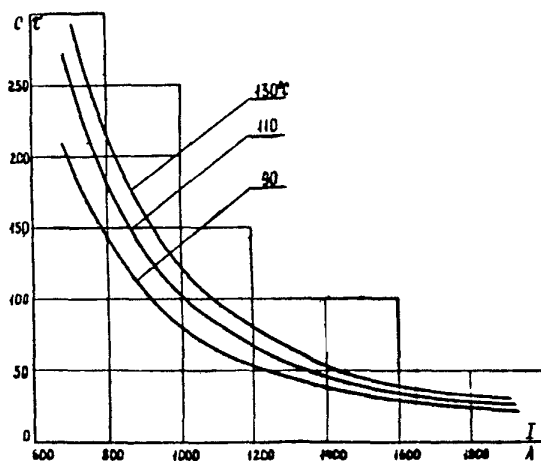


Рис.ПЗ.17. Зависимость нагрева провода М 70 от режима плавки

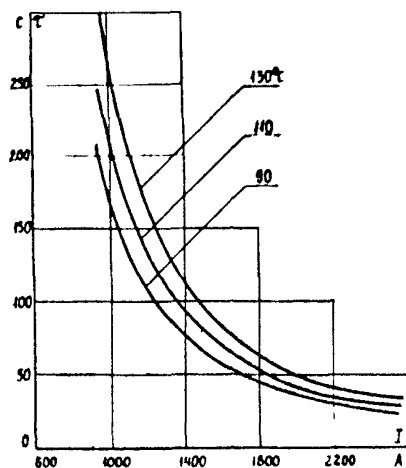


Рис.ПЗ.18. Зависимость нагрева провода М 95 от режима плавки

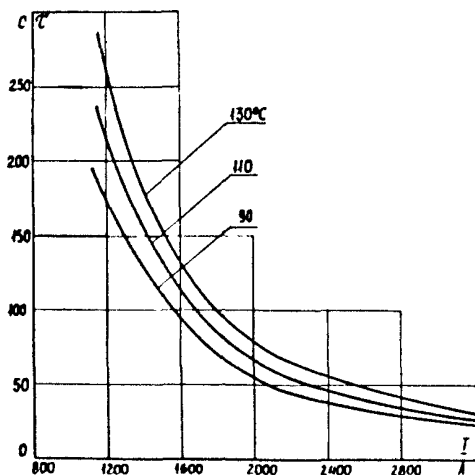


Рис.ПЗ.19. Зависимость нагрева провода М 120 от режима плавки

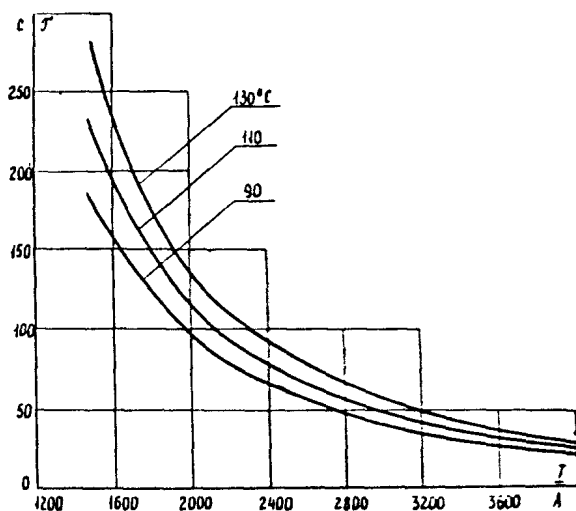


Рис.ПЗ.20. Зависимость нагрева провода М 100 от режима плавки

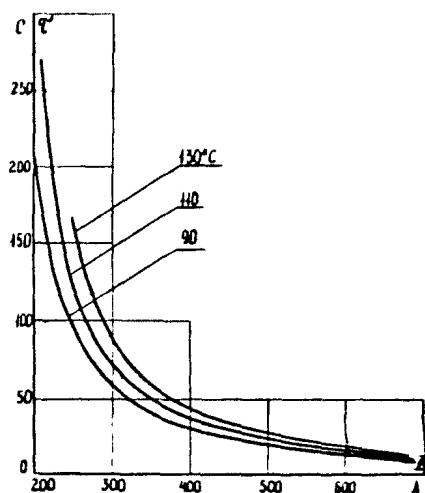


Рис.ПЗ.21. Зависимость нагрева провода AN 25 от режима плавки

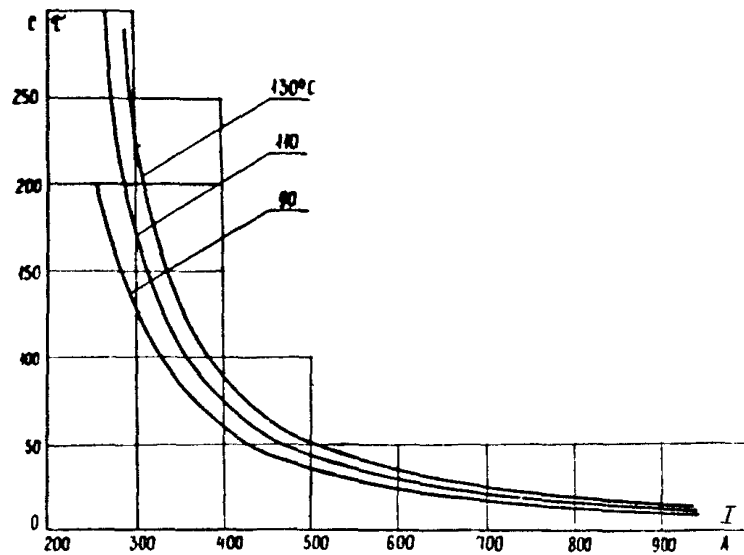


Рис.ПЗ.22. Зависимость нагрева провода АН 35 от режима плавки

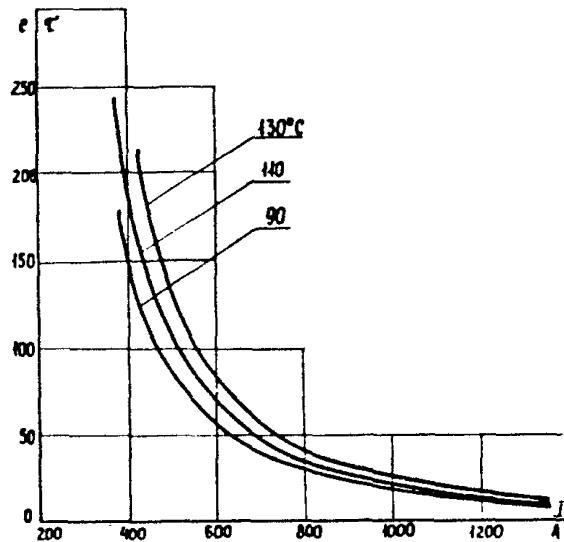


Рис.ПЗ.23. Зависимость нагрева провода АН 50 от режима плавки

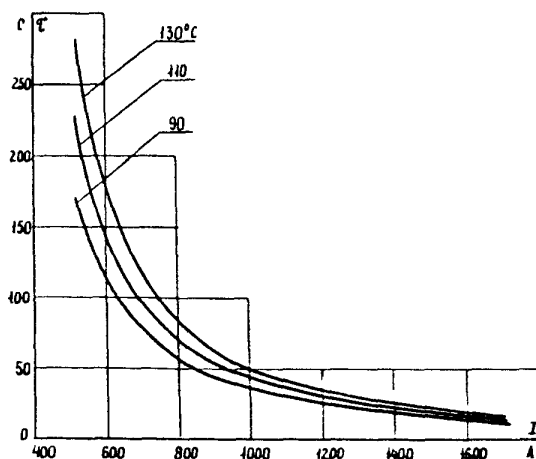


Рис.ПЗ.24. Зависимость нагрева провода АН 70 от режима плавки

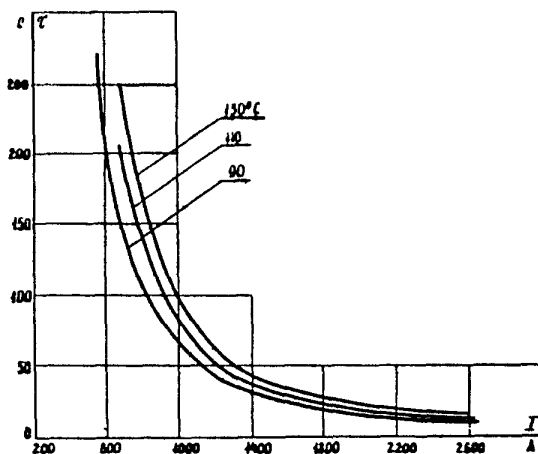


Рис.ПЗ.25. Зависимость нагрева провода АН 95 от режима плавки

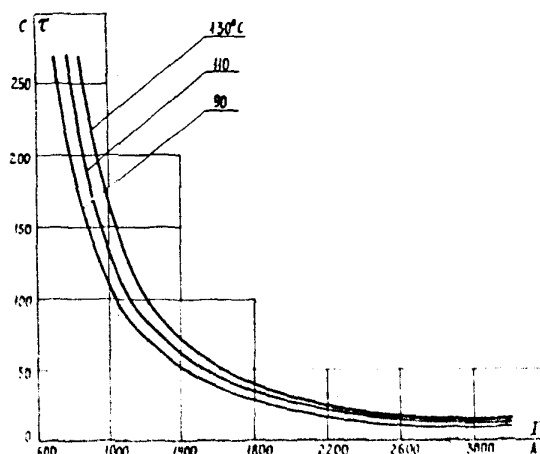


Рис.ПЗ.26. Зависимость нагрева провода Al 120 от режима плавки

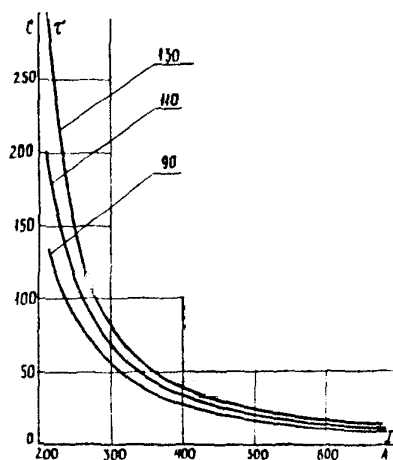


Рис.ПЗ.27. Зависимость нагрева провода АЖ 25 от режима плавки

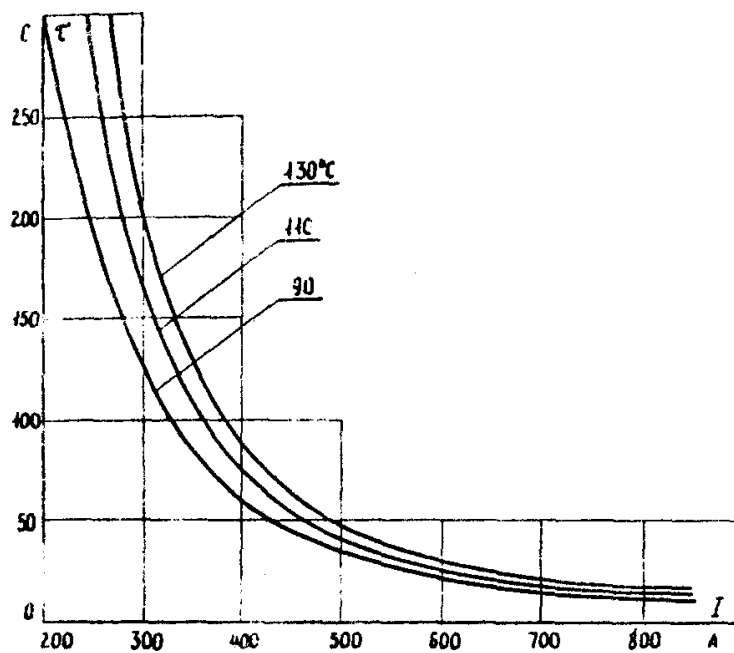


Рис. ПЗ.28. Зависимость нагрева провода АЖ 35 от режима плавки

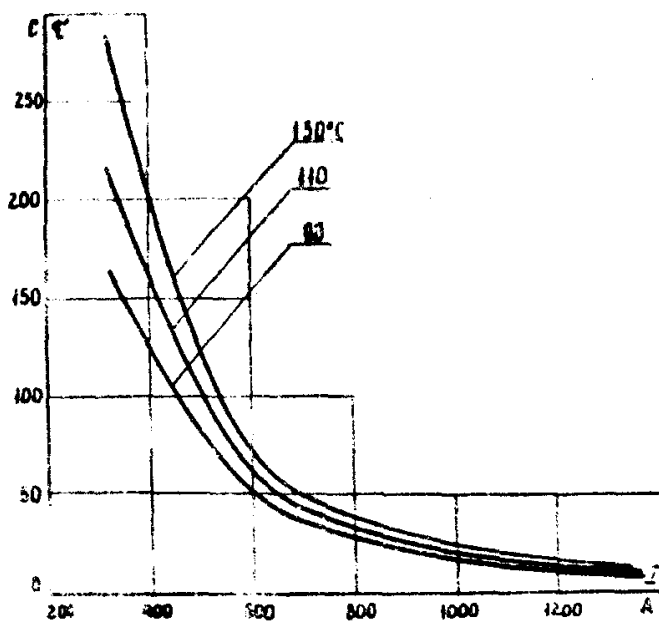


Рис. ПЗ.29. Зависимость нагрева провода АЖ 50 от режима плавки

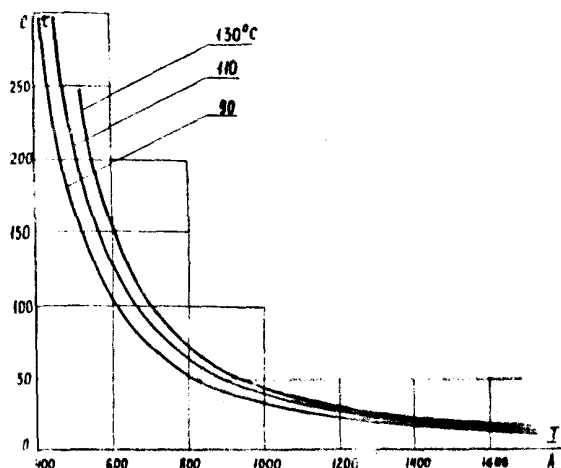


Рис.ПЗ.30. Зависимость нагрева провода АЖ от режима плавки

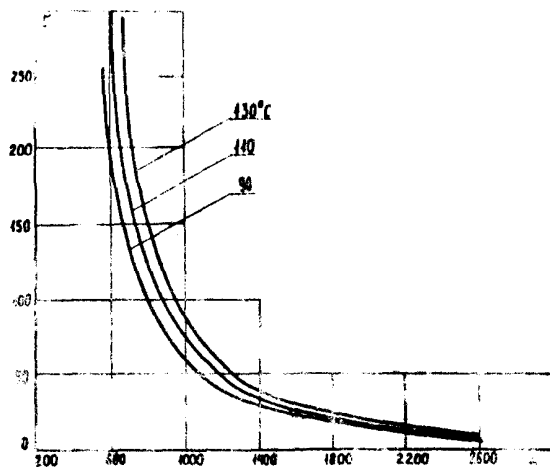


Рис.ПЗ Зависимость нагрева провода АЖ от режима плавки

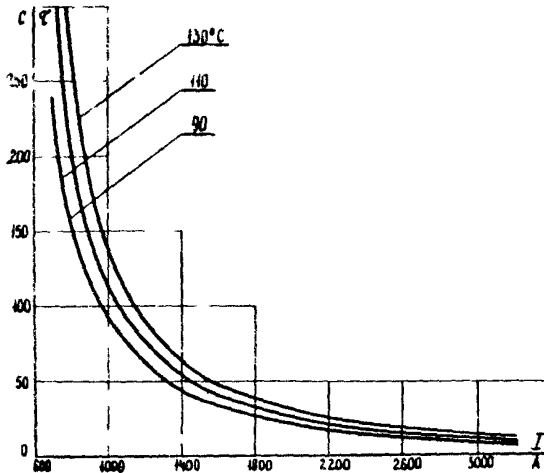


Рис.ПЗ.32. Зависимость нагрева провода АЖ 120 от режима плавки

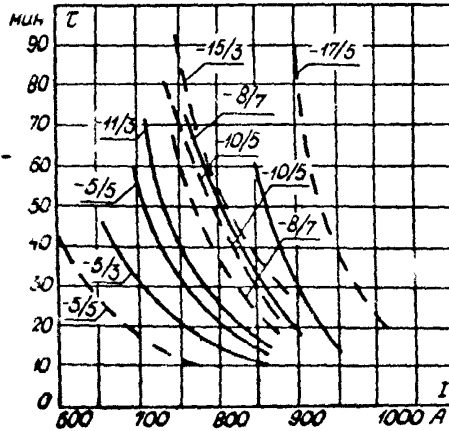
Приложение 4

ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА И ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ОДНОСТОРОННЕГО ГОЛОЛЕДИЯ

Цифры у кривых означают: в числителе – температура воздуха (°C), 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



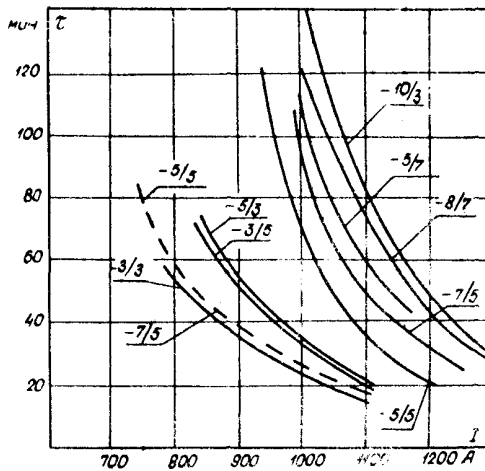


Рис. П4.2. Зависимость тока и времени плавки одностороннего гололеда на проводах АС 500/27:
 — односторонний гололед с толщиной стенки 3 см;
 - - односторонний гололед с толщиной покрытия снегом

Приложение ЗАВИСИМОСТИ ТОКА В ПРОВОДАХ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ОБРАЗОВАНИЮ ГОЛОЛЕДА

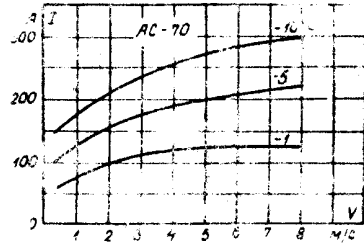
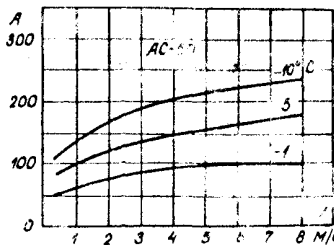


Рис. П5.1. Токи в проводах АС 50/8,0 и АС 70/11, препятствующие образованию гололеда

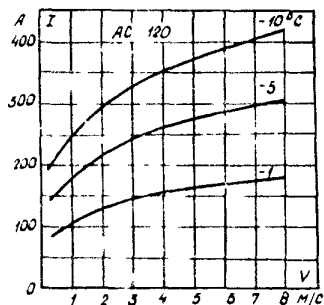
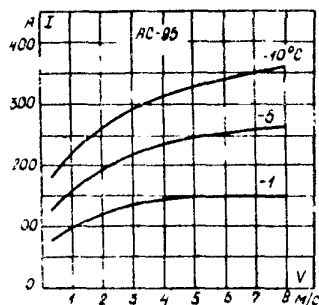


Рис.ПБ.2. Токи в проводах AC 95/16 и AC 120/19, препятствующие образованию гололеда

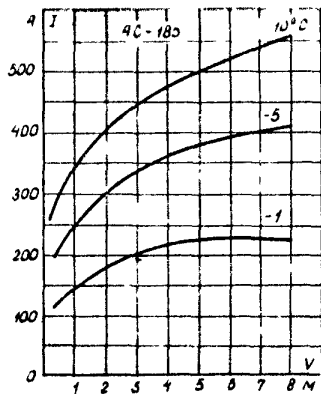
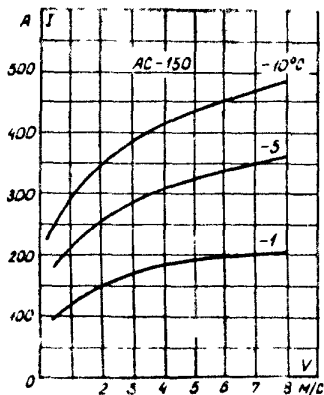


Рис.ПБ.3. Токи в проводах AC 150/24 и AC 185/29, препятствующие образованию гололеда

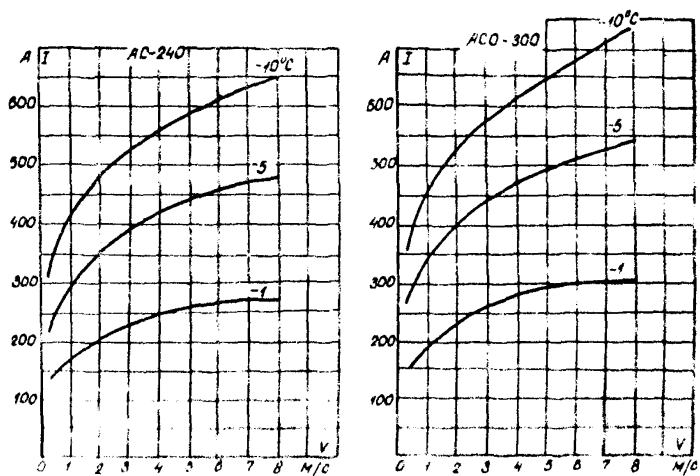


Рис.ПБ.4. Токи в проводах АС 240/39 и АС 300/48, препятствующие образованию гололеда

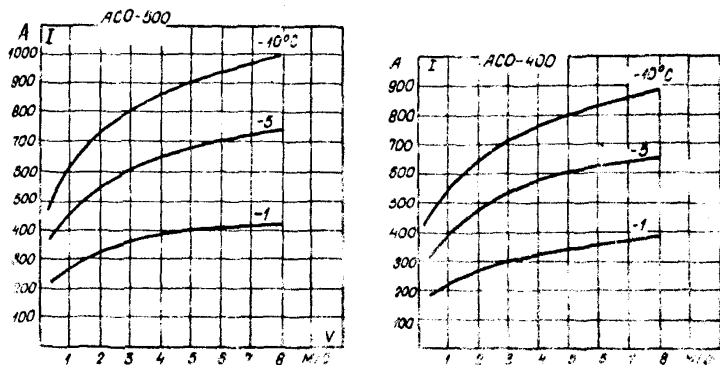


Рис.ПБ.5. Токи в проводах АС 400/51 и АС 500/47, препятствующие образованию гололеда.

СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ГОДОЛЕДА
ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

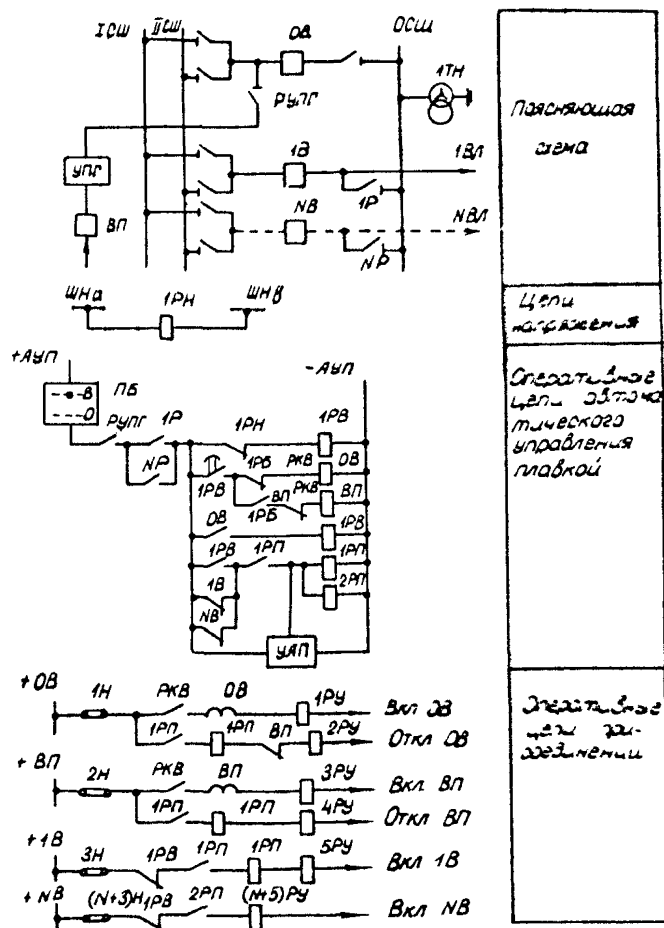
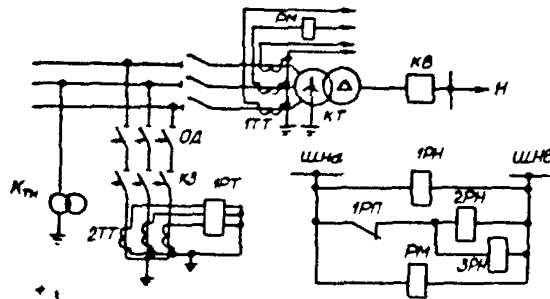


Рис.Пб.1. Схема автоматического управления плавкой на подстанции с УПГ



Прямая-
щая схема
Цепи
тока
и
напряже-
ния

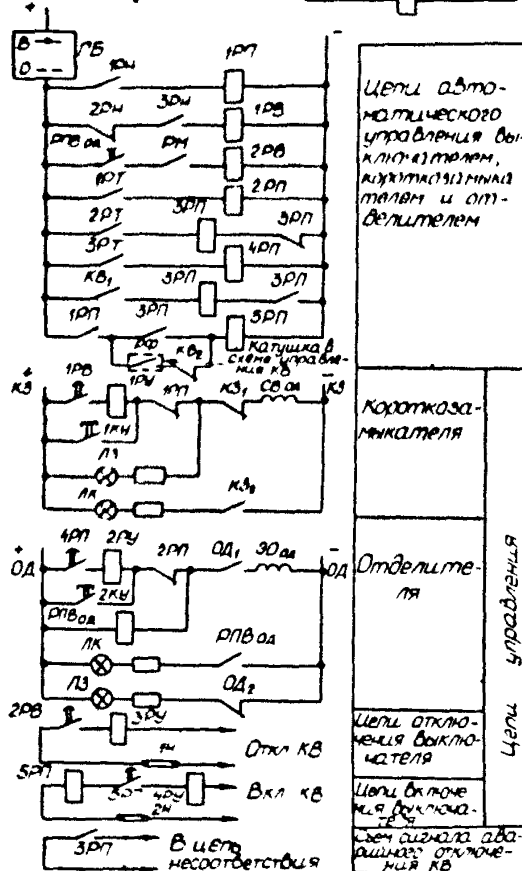


Рис.ПБ.2. Схема автоматики оконечной подстанции при плавке гололеда переменным током

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КОЛЛЕКТОРНОЙ СЕТИ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА
ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

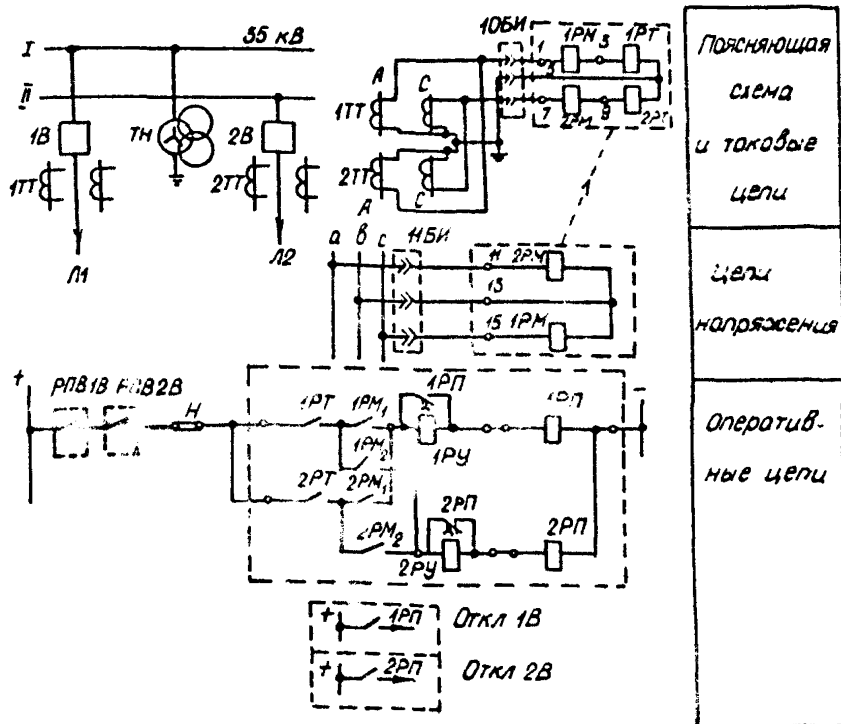
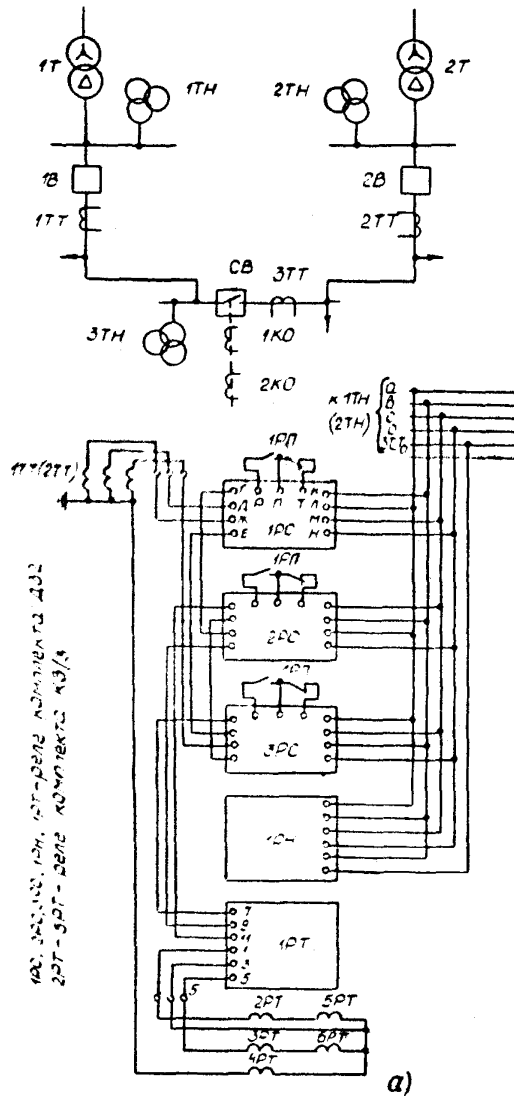
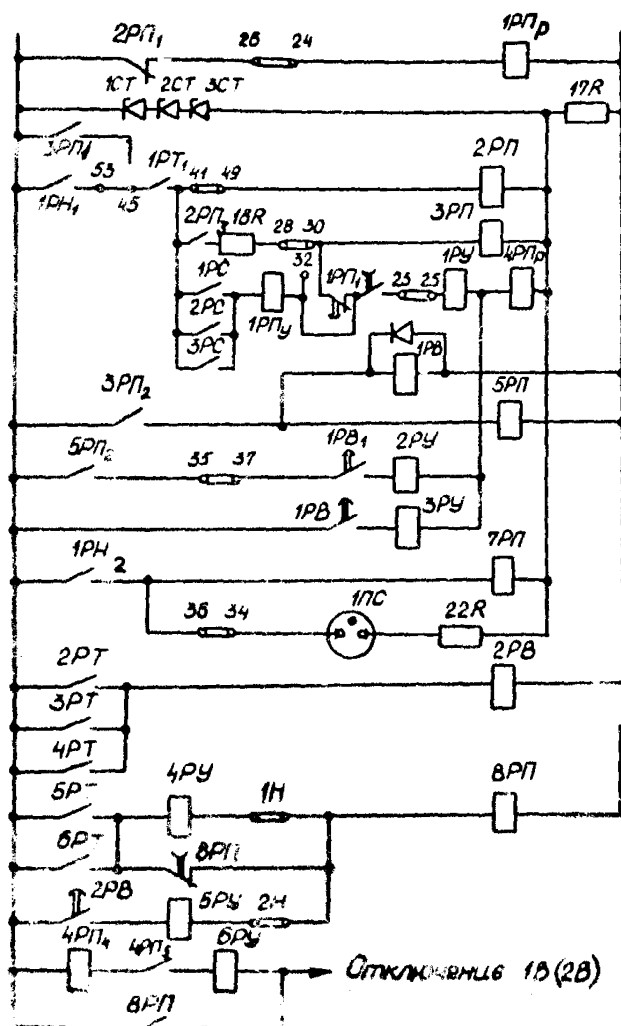


Рис. 1.1. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на $\pi/3$, размещенных на одной подстанции:

1РТ, 2РТ - реле тока РТ40; 1РМ, 2РМ - реле мощности РБ/1271; 1РП, 2РП - промежуточное реле РП 261 (220 В); 1РУ, 2РУ - указательное реле РУ21/С, 0,025 (0,025 А); 1ОБН, 2ОБН - испытательный блок БИ-4; М - отключающее устройство ИКР2





б)

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

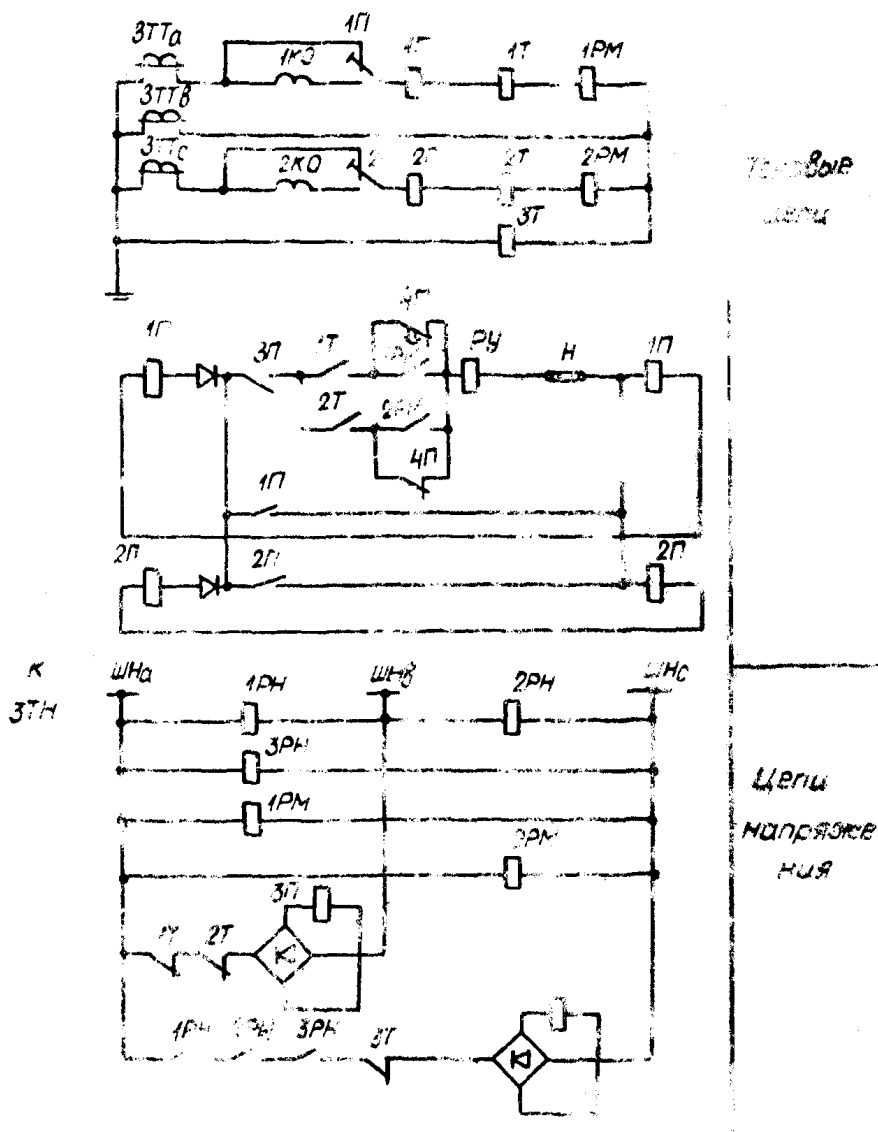


Рис. 117.3. Схема направленной токовой защиты в 110 кВ. Защита на базе реле-контактора с блокирующим устройством для предотвращения ложных срабатываний при коротком замыкании на соседней линии.

1П, 2П, 3П - реле тока Т-40; 1РМ, 2РМ - реле напряжения РН-276/1; 1П, 2П - реле мощности РМ-276/1; 1П, 2П - реле времени РВ-276/1; 3П, 4П - реле РН-276; РВ - реле времени РВ-276.

Ответственный редактор Р.П.Васнева

Технический редактор Б.М.Полякова

Корректор Н.А.Тихоновская

| | |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Подписано к печати 06.06.83 | Формат 60х84 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.10
Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
117292, Москва, ул.Ивана Бабушкина, д.23, корп.2