

**МЕТРИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА  
ДОРОЖНЫМ ТОКОМ**

**Часть I**

(*РД 34.20.511*  
*(СО 153-34.20.511)*)

**РАЗРАБОТКА** Всесоюзным научно-исследовательским институтом  
теплоэнергетики (ВНИИЭ) и Львовским ордена Ленина  
политехническим институтом

**СОСТАВ ИТЕЛ** В.В.БУРГСДОРФ, Л.Г.НИКИТИНА (ВНИИЭ),  
Л.А.НИКОНЕЦ, П.Р.ХРИЦ (ЛПИ)

**УТВЕРЖДЕНО** Главным техническим управлением по эксплуатации  
энергосистем

Заместитель начальника К.М.АНТИПОВ

Главниипроектом  
Главный инженер В.К.ГУСЕВ

© СПО Союзтехэнерго, 1983.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Классификация плавки гололеда .....	3
2. Гололед и время плавки гололеда на проводах электропередачи ..... сушки питания при плавке гололеда переменным током .....	6
Подстанции с регулированием напряжения посредством измениния коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов .....	13
Подстанции с регулированием напряжения посредством линейных регулировочных трансформаторов .....	14
Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор .....	15
Подстанции с шунтирующими реакторами .....	16
3. Схемы, расчет режимов работы и зоны применения плавки гололеда переменным током на проводах .....	16
Плавка гололеда коротким замыканием .....	16
Плавка гололеда равнительными токами .....	18
Плавка гололеда перераспределением нагрузок .....	22
Плавка гололеда наложением токов .....	23
Изменения схем плавки гололеда постоянным токоизделием с регулированием напряжения посредством измениния коэффициента трансформации трансформатора и автотрансформаторов .....	24
Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочного трансформатора .....	26
Подстанции с шунтирующими конденсаторными батареями .....	26
Схемы, расчет режимов и зоны применения плавки гололеда постоянным током .....	26
Плавка от заземленного проводника, подключенного к шинам ЗКИ трансформатору .....	26
Плавка от установок с блоком автотрансформатор- тодобавочный трансформатор .....	27

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО  
ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫХ  
ТЯЖОСИ, Часть I

НУ 34-70-027-82

Срок действия установлен  
с 01.01.83 г.  
до 01.01.90 г.

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Отложение гололеда, изморози и мокрого снега<sup>1</sup> представляет большую опасность для нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи (ВЛ).

1.2. Отложения гололеда могут нанести:

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

б) обрывы проводов и тросов при их подскоке вследствие  
торможения сброса гололеда;

в) перекосы проводов;

г) брикеты под воду и тросов;

д) разрушение опор;

перекрытие линейной изоляции ВЛ при таянии вследствие значительного снижения удоразрядных характеристик изоляции проводов по сравнению с нормальными характеристиками, по которым обычно вводят нормальный уровень линейной изоляции.

1.3. Более эффективным средством борьбы с гололедом является плавка гололеда. Она позволяет в короткий срок удалить гололед с линий. При проектировании ВЛ, трассы которых проходят в районах гололедности, а также в районах интенсивной и частой плюсовой промозги, плавку гололеда рекомендуется предусматривать на пролетах линий напряжением до 220 кВ обязательно. Плавка гололеда на тросах

<sup>1</sup> З дальнейшем все виды гололедно-изморозевых образований имется гололедом.

должна предусматриваться в тех случаях, когда возможно опасное приближение освободившихся от гололеда проводов к тросам, покрытым гололедом.

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

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

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

I.6. Плавку гололеда следует начинать при достижении нормативных гололедно-ветровых нагрузок на проводах. Чтобы обеспечить это требование на всех линиях, взаимосвязанных по режиму плавки гололеда, следует учитывать реальные нагрузки и направление гололедо-несущего потока по отношению к трассе ВЛ, поэтому на части линий плавку гололеда следует начинать заблаговременно. Очередность плавки определяется с учетом ответственности потребителей и наличия резервного питания.

I.7. Минимально необходимое количество УПГ в электрической сети должно быть достаточным для выполнения плавки гололеда на всех ВЛ за 12 ч для сети 110 кВ и выше и за 8 ч для сети 35 кВ.

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

I.9. Для снижения затрат на организацию плавки гололеда на ВЛ с расщепленными проводами целесообразно сооружать их с чрезмерно длинными дистанционными распорками. Глубина между распорками должна быть таким, чтобы предотвратить склестывание 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 должна проверяться непосредственно перед гололедным сезоном.

I.II. 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 (переключатели, разъединители, отключатели) 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.II. 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.III. Релейная защита устройств плавки гололеда и электроустановок, питавших 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 плавки 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 замле 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

Окончание таблицы 2.1

Провода	Допустимая температура нагрева проводов, °С	
	Длительный режим	Повторно-кратковременный режим
алеалюминиевые и алюминиевого сплава АЖ, АН	100 90	130 100

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

Таблица 2.2

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

Пересекаемый ВЛ	Расстояние до объекта, м, для ВЛ напряжением, кВ			
	35-110	220	330	500
на землю				
на час легкая местность	5	6	7	7
на тяжелая местность	6	7	6,5	7
на землю иные связи	2	3	4	4
на землю прилегающие кирпичные колеи	6,5	7,5	8	8,5
на землю наружные дороги	6,0	7	7,5	8
на землю трассы линий автобусных линий	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	I	I	-	-	-	-
150	I	I,5	I,5	-	-	-

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

2.4 При определении наибольших допустимых токов плавки температуру воздуха и скорость ветра принимают по наблюдениям метеорологических станций или гололедных постов на участках со снегом 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 1 м провода или троса при допустимой температуре провода, Ом (см.табл.П.1);

$d$  - диаметр провода или троса, см;

$\varepsilon$  - 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,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t$  - температура воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$v$  - скорость ветра, м/с.

Первая формула применяется для погоды со скоростью ветра менее 0 м/с; вторая - со скоростью ветра более 1,0 м/с. В табл.П.2 заданы 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 величины тока и времени плавки в длительном режиме может быть произведен по формуле:

$$I_n = \frac{At}{R_{T_0} + R_{T_1}} = 10 \delta d \theta + \frac{0,0158 \cdot D^2}{R_{T_0} \cdot R_{T_1}} \left( \rho_{T_1} + 0,22 \frac{R_{T_0}}{\lg \frac{D}{d}} \right) At + \sum C \gamma_n S_A t, \quad (2.3)$$

где  $I_n$  - ток плавки, А;

$\delta$  - сопротивление 1 м провода или троса при  $0^{\circ}\text{C}$ , Ом;

$t$  - время плавки, ч;

$\Delta t$  - разность между температурой провода и воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$r_f$  - объемный вес гололеда,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$b$  - толщина стенки гололеда, см;

$d$  - диаметр провода, см;

$D$  - внешний диаметр провода с гололедом, см;

$R_{T_0}$  - тепловое сопротивление I м гололедного цилиндра при переходе от внутренней к наружной поверхности,  $\frac{\text{М}^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ ;

$$R_{T_0} = \frac{\pi d}{273L}, \quad (2.4)$$

$R_{T_1}$  - тепловое сопротивление при переходе с I м длины наружной поверхности обледенелого провода в воздухе,  $\frac{\text{М}^{\circ}\text{C}}{\text{Вт}}$ ;

$$R_{T_1} = \frac{1}{0,09D + 1,1\sqrt{UD}} \quad \text{для гололеда}, \quad (2.5)$$

$$R_{T_1} = \frac{1}{0,04D + 1,1\sqrt{UD}} \quad \text{для изморози}, \quad (2.6)$$

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

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

$C$  - теплоемкость материала провода  $\text{Вт} \cdot \text{с}/(\text{г.}^{\circ}\text{C})$  для стали 0,462, для алюминия 0,92, для меди 0,38;

$r_p$  - объемный вес материала провода,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$S$  - сечение провода,  $\text{см}^2$ .

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

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

2.7. Учитывая возможное изменение погодных условий и появление в определении размеров, плотности гололеда и сопротивления

проводов для обеспечения надежной плавки ее продолжительность следует увеличивать на 25-30% по сравнению с расчетной.

2.8. Значение тока и времени плавки одностороннего гололеда с толщиной стенки 10 мм характерной для возникновения плавки примерно соответствует времени плавки цилиндрического гололеда с толщиной стенки 5 см. В таблицами 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 воздушного нуля и ветрах со скоростью 1-2 м/с, характерных для целодняла случаев обледенения, профилактический прогрев может применяться успешно. При скоростях ветра более 3-4 м/с и температурах до -5°C профилактический нагрев требует больших токов. Профилактический нагрев проводов применяется в случае, когда гололед захватывает ограниченную часть сети, где могут быть повышенны токи до требуемого значения.

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

Прилож. 1 приведены кривые токов для профилактического прогрева проводов при различных температурах воздуха и скоростях

### 3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

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

Подстанции с регулированием напряжения посредством  
изменения коэффициента трансформации  
трансформаторов и автотрансформаторов

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

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

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

Возможные варианты схемы подключения установки для плавки гололеда (УПГ) расположенной на подстанции с ОСШ приведены на рис.2 и 3, которые обеспечивают автоматизацию плавки гололеда на ВЛ, соединяющей эту подстанцию с подстанцией без ОСШ. В этом случае подвод напряжения от УПГ к обогреваемой ВЛ необходимо проводить через обходной выключатель 0В (см.рис.2). На противоположном конце ВЛ целесообразно предусмотреть короткокоммутатель и отключатели, соединение по схеме рис.3.

Схемы автоматизации приведены в приложении б (рис.№.1 №.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. Баланс 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 блокке низкого напряжения автотрансформатора. Принципиальная схема приведена на рис.4.

### Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор

3.4. Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор (АТ-ВДТ) позволяют получить источник плавки гололеда с регулированием тока плавки от нуля до номинального значения, что существенно расширяет диапазон длин обогреваемых ВЛ. Для этого собирается схема (рис.5), в которой возбуждающая обмотка (ВО) вольтодобавочного трансформатора, соединенная треугольником, отключена от входа НН автотрансформатора и к ней присоединены провода обогреваемой ВЛ, закороченные на противоположном конце ВЛ. Регулировочная обмотка (РО) вольтодобавочного трансформатора остается подключенной к нейтральным выводам АТ. Токиление ёС вольтодобавочного трансформатора от входа в автотрансформатора должно производиться только при нулевом положении на РО вольтодобавочного трансформатора. В такой схеме при включении в работу НН вольтодобавочного трансформатора и плавке дугового тока через АТ от обмотки ВН к обмотке СН ток ее общей обмотки протекает также через РО вольтодобавочного трансформатора и наводит ток в возбуждающей обмотке. Этот наведенный ток замыкается по проводам обогреваемой ВЛ. Поскольку выделяемая в проводах мощность, как правило, в несколько раз меньше мощности передачи через АТ, то общий член суммы АТ практически не зависит от сопротивления обогреваемой линии. Таким образом вольтодобавочный трансформатор вводится в режим трансформатора тока. В схеме рис.5 имеется выключатель 1В быстродействующий дуговой высоковольтный короткозамыкатель (ДВК), на включение которого действуют защиты вольтодобавочного трансформатора и обогреваемого контура при повреждении во время плавки. Дуговой короткозамыкатель затирает также действие схемы от перенапряжений при обрывах в обогреваемой ВЛ, так как имеет регулируемые искровые промежутки.

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

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

#### Подстанции с шунтирующими реакторами

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

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

#### Плавка гололеда коротким замыканием

4.1. 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:

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

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

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

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

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

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

$\ell$  - длина линии, км;

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

$$Z_0 = 3r_n + r_g + j 0,145 \lg \frac{D_3 D^2}{\rho^3}, \quad (4.4)$$

$r_n$  - сопротивление провода, Ом/км;

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

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

$\rho$  - расчетный диаметр провода, м;

$D_3$  - глубина залегания обратного провода в земле  $\approx 1000$  м.

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

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

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

4.3. При плавке гололеда на ВЛ 5-110 кВ по методу трехфазного и двухфазного КЗ допускается захорачивание проводов заземляющими ножами, если их спуск к контуру заземления проверен на техническую 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  $\pm 2\% \text{--} 2,5\%$  для обычных трансформатор-

рэз (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 ГУ 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 расщепленными проводами в фазе для снижения требуемой для плавки мощности целесообразны схемы плавки гололеда, в которых контур протекания тока плавки создается из проводов расщепленной фазы с помощью коммутационных аппаратов (рис.8). Значения реактивных сопротивлений при плавке гололеда по схемам рис.8 для ВЛ с изолированными расщепленными проводами в фазе при расстоянии между проводами  $\delta = 40$  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 стальюлюминиевыми проводами сечений  $35+500 \text{ mm}^2$  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 подсчитываются 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. II).

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

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

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

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  $\varphi$ .

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

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

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	

Зоны и мощность плавки соледа 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 x AC 300/39	Рис.8, <b>а,б,б,г</b>	212	173	485	173
2 x AC 400/22	Рис.8, <b>а,б,б,г</b>	194	206	555	189
2 x AC 500/27	Рис.8, <b>а,б,б,г</b>	186	242	655	194
3 x AC 400/22	Рис.8, <b>д</b>	III	103	360	139
3 x AC 500/27	(плавка на трех фазах)	IС2	II6	423	144
3 x AC 400/22	Рис.8, <b>д</b>	III	34	396	139
3 x AC 500/27	(плавка на одной фазе)	IС3	39	423	144

Линии сети подключаются к независимым источникам с указанным сдвигом фаз векторов напряжения. При плавке гололеда выключатель В<sub>0</sub> включается. При этом на рабочий ток накладывается дополнительный ток, обусловленный разностью напряжений двух независимых источников питания, значение которого определяется из выражения:

$$I_{yp} = \frac{U_\phi}{Z_K}. \quad (4.10)$$

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 линии с отпайками при плавке на магистральной ее части при повреждениях на отпайках значения токов КЗ могут быть недостаточны для работы релейной защиты. В этом случае необходимо установить на отпайке дополнительный выключатель. Дополнительный коммутационный аппарат на отпайке от магистрали необходим, если результирующее электрическое сопротивление отпайки совместно с электрическим сопротивлением участка кольцевой сети от места подключения отпайки до ближайшей питающей подстанции превышает сопротивление контура плавки.

#### Плавка гололеда перераспределением нагрузок

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

- а) повышения нагрузки станций, передающих энергию через обогреваемую линию;
- б) повышения нагрузки подстанции, питаемых из обогреваемой линии путем переключений в сети более низкого напряжения;
- в) отключения части линий, в результате которых передаваемая мощность по обогреваемой линии, практически, в этой цели отключают параллельную с обогреваемой линией и присбегают к разрезанию колец.

4.15. С целью сохранения надежности работы системы при плавке гололеда отключаемые линии должны быть оборудованы устройствами для немгненного 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  $\Delta U_1$ , то на другой системе шин (например, на обходной) его следует уменьшить на  $\Delta U_2$ .

Величину  $I_{yp}$  можно определить из выражения:

$$I_{yp} = \frac{\Delta U_1 + \Delta U_2}{Z_K} . \quad (4.11)$$

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 подбираются 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 сока 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 незаземленнойнейтралью (рис.15). При использовании схем с пофазной плавкой гололеда необходимо проверить электромагнитное влияние на каналы связи.

4.21. Ток наложения подсчитывается по формуле:

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

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 наложения токов можно сочетать с перераспределением нагрузок.

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

## 5. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СХЕМ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Подстанции с регулированием напряжения посредством изменения коэффициента трансформации трансформаторов и автотрансформаторов

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

Преобразователи выполняются на неуправляемых вентилях по трехфазной мостовой схеме.

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

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

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

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

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

Трансформаторы напряжения НТМ и НКФ, подключенные к шинам тяговых 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 колебаний, генерируемых преобразователями УПГ.

Возможна эксплуатация использования контура заземления подстанции каче- рабочего заземлителя при плавке гололеда током до 1200 А. Тогда должна быть предусмотрена защита контура от термического пробоя.

5.6. Наличие на контуре заземления подстанции постоянного тока не позволяет использовать в качестве рабочего заземлителя цепь подвода кабеля части постоянного тока плавки через глухозаземленные трансформаторы, установленных на этой подстанции. Это приводит к некоторому увеличению тока холостого хода и потерю в трансформаторах (автотрансформаторах). Для устранения указанных явления в нейтрали трансформаторов (автотрансформаторов) следует употребить специальные устройства.

5.7. С целью обеспечения высокочастотной связи по обогревающим проводам можно выполнить подвод постоянного тока к проводам ВЧ заградителям, чтобы он протекал через ВЧ заградители или установить дополнительный преобразователь на стороне постоянного тока дополнительного заградителя.

Подстанции с блоками автотрансформатор-вольтодобавочный трансформатор

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

Подстанции с шунтирующими конденсаторными батареями

5.9. На подстанции с шунтирующей конденсаторной батареей 35-II0 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 пакетов из 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 линии 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 рекомендуемых

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:

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

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-вольтодобавочный 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 в проводе 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 постепенным 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 с формулами, приведенным в разд.2. Кроме того, в приложении 2 приведены таблицы 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 отключается номинальным напряжением источника плавки и длиной трося. С целью увеличения протяженности обогреваемых тросов можно подключить источники плавки с обоих концов трося (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 трося. В ряде случаев целесообразно совмещать плавку за проводах с плавкой на тросях (рис.25 и 26).

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

Плавить гололед на коротких тросях 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 тросяв 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 зависит от значения протекающего тока и принимаются в соответствии с данными рис.32.

Значения внешнего индуктивного сопротивления троса могут быть взяты в соответствии с данными табл.7.1.

Т а б л и ц а 7.1

Средние значения внешнего индуктивного сопротивления троса

Схема плавки	Индуктивное сопротивление, $\Omega/\text{мм}^2\text{км}$ , троса сечением, $\text{мм}^2$		
	35	50	70
- трос	0,9	0,85	0,95
- земля	0,78	0,77	0,78
трос - зем.	0,53	0,525	0,52

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

$$Z = \sqrt{(R_t + R_f)^2 + (x_{\theta H} + x_H)^2}, \quad (7.1)$$

активное сопротивление троса,  $\Omega/\text{мм}^2\text{км}$ ;

- 0,25  $\Omega/\text{мм}^2\text{км}$  (сопротивление земли);

- внутреннее индуктивное сопротивление троса,  $\Omega/\text{мм}^2\text{км}$ ;

- внешнее индуктивное сопротивление троса,  $\Omega/\text{мм}^2\text{км}$ .

В частоте применяемой при плавке гололеда плотности тока

в табл.7.2 даны необходимые расчетные данные о сопротивительных тросах.

Таблица 7.2

Сопротивления стальных тросов (Ом)  
на километр линии

Схема плавки	Сечение троса, $\text{мм}^2$								
	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	4,85	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, при которых может быть проведена плавка гололеда на тросах при различных напряжениях источника, приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Средние длины линий (км) при плавке гололеда  
на тросах сечением 35, 50, 70  $\text{мм}^2$  с плотностью тока 2 А/ $\text{мм}^2$

Напряжение плоскости, 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:

$$I_n = \frac{U}{\sqrt{(R_r + R_{заз})^2 + (x_{\beta_H} + x_H)^2}} . \quad (7.2)$$

Постоянный ток плавки по формуле:

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

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

Сопротивление заземления троса, по возможности, должно быть небольшим, особенно при плавке на коротких тросях подводах 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;

$\lambda_3$  - 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.

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

где  $D_i$  - диаметр изолятора, см;

$\beta$  - номер района загрязненности;

$\alpha$  - номер района гололедности;

$K_\phi$  - коэффициент формы изолятора.

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

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

При неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке от источника переменного и постоянного тока следует принимать  $\lambda_3$  по данным табл. 8.1.

Т а б л и ц а 8.1

Рекомендуемые значения  $\lambda_3$  (см/кВ) при неизменном по длине троса количестве изоляторов при плавке гололеда переменным и постоянным током

Район гололедности	Значения $\lambda_3$ для районов загрязнения атмосферы			
	I	II	III	IV
III	1,0/1,8	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,  $\lambda_3$  следует принимать для переменного напряжения по табл. 8.2 и для постоянного напряжения - по табл. 8.3.

Таблица 8.2

Рекомендуемые значения  $\lambda_3$  (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

Таблица 8.3

Рекомендуемые значения  $\lambda_3$  (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  $\beta$ , учитываемый отличие разрядных  
характеристик изоляции при постоянном напряжении от характеристик  
при переменном напряжении.

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

Для изоляции тросов рекомендуется применение изоляторов из  
искусственного стекла.

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

- искровые промежутки не должны пробиваться рабочим напряжением при плавке, а также при перенапряжениях, возникающих в процессе включения схемы плавки;

- искровой промежуток должен быть меньше разрядного напряжения гирлянд изоляторов как при импульсах, так и при промышленной частоте. Значения искровых промежутков для гирлянд из одного, двух и четырех изоляторов приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Характеристики искровых промежутков

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

Провода и тросы

8.4. Плавка гололеда на тросах должна проводиться до плавки гололеда на проводах. Если невозможно организовать плавку на всем протяжении троса, а на 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 необходим циклический 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 заземителей 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
КВС-10-13-630	5,5	4,1	4,4	3,8	3,18	2,95	2,75
ВМПЭ-630-20							
КВЛ-10-15-15-600	4,1	3,	3,75	3,4	3,1	2,8	2,5
ВМП-10-630-20							
КВЛ-10-07-1500	2,65	2,17	1,82	1,55	1,4	1,25	1,2
ВМПЭ-10-1600-20							

Окончание таблицы 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	2,4	2	1,75	1,5	1,3	1,25	1,2
ВМПЛ-10-1500-20							
ШВМЭ-10-19-1600	4	3,35	3	2,5	2,25	2,1	1,9
ВМПЭ-10-1600-31,5							

8.8. Генераторы, выделенные для плавки, работают при низком  $\cos\varphi$ , что ограничивает их мощность по ротору. В табл. 8.7 приведены расположимые 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 nominalного.

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

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

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

Значение допустимой мощности для плавки определяется предшествующей загрузкой источников, их допустимой перегрузкой и сечением прогреваемого провода. Зависимости изменения предельной мощности плавки от сечения проводов и предшествующей загрузки трансформатора при  $\cos\varphi_n = 0,9$  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	Чисмальная 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	85	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
TBФ-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
TBФ-100-2	100000	100	100	100	100	91	87	85	80	79	75	75	75
TB2-150-2	150000	100	100	95	90	83	79	76	73	72	70	70	70
TBB-200-2	200000	100	100	100	95	86	84	80	76	71	70	70	70
TГВ-200	200000	100	100	100	90	87	84	81	78	76	75	75	75
TBB-300-2	300000	100	100	100	95	88	84	80	76	73	70	70	70

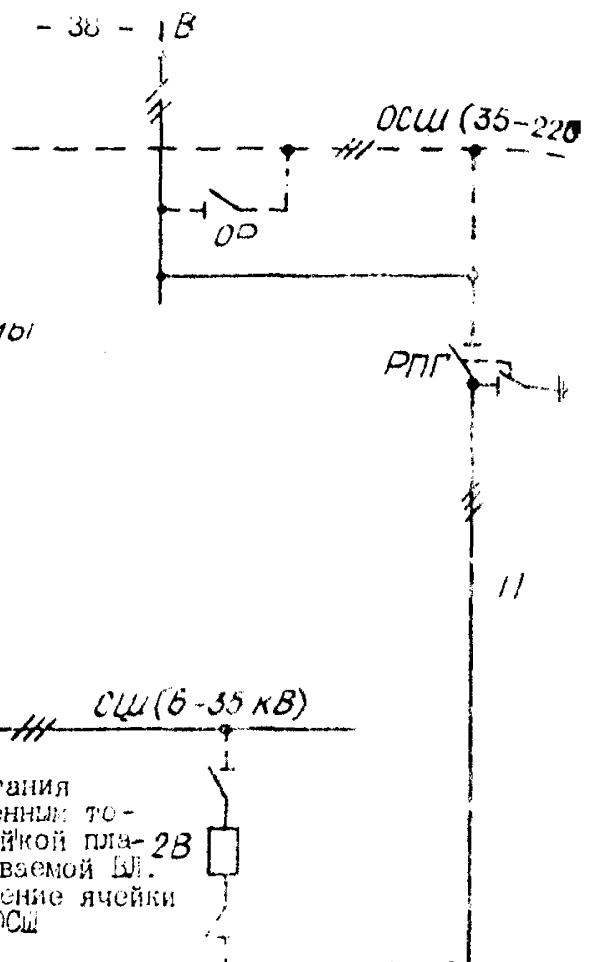


Рис. 1. Система источника питания для ячейки головеде переменным током в схеме между ячейкой пла-  
вки и головеде (2В) и обогреваемой щ. Пунктиром показано подключение ячейки  
плавки при наличии ОСШ

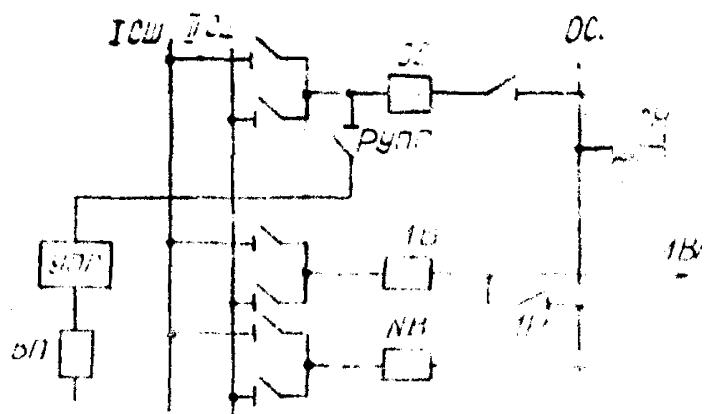


Рис. 2. Принципиальная схема обогреваемой щ. через ячейку

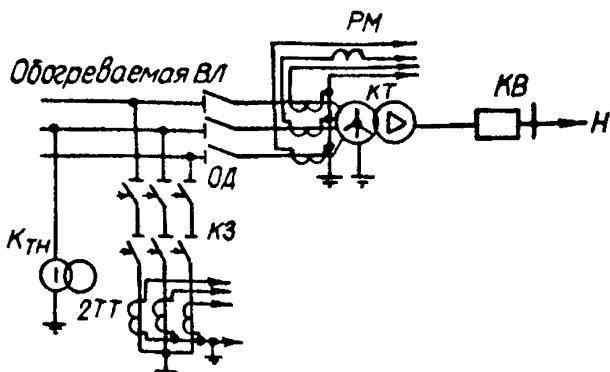


Рис.3. Принципиальная схема закорачивающего пункта на ВЛ с автоматическим управлением режима плавки

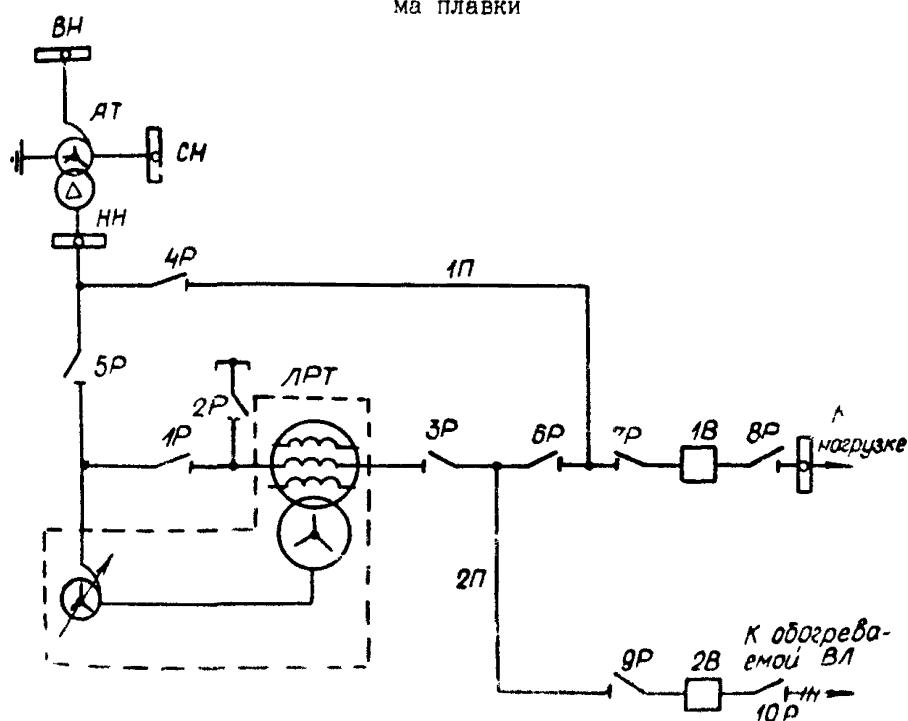


Рис.4. Схема подстанции с линейным регулирующим трансформатором (ЛРТ) используемым для плавки гололеда:

1П-4P, 6P - дополнительно устанавливаемые разъединители;  
2B - выключатель установки плавки гололеда;  
1, 2П - дополнительные перемычки

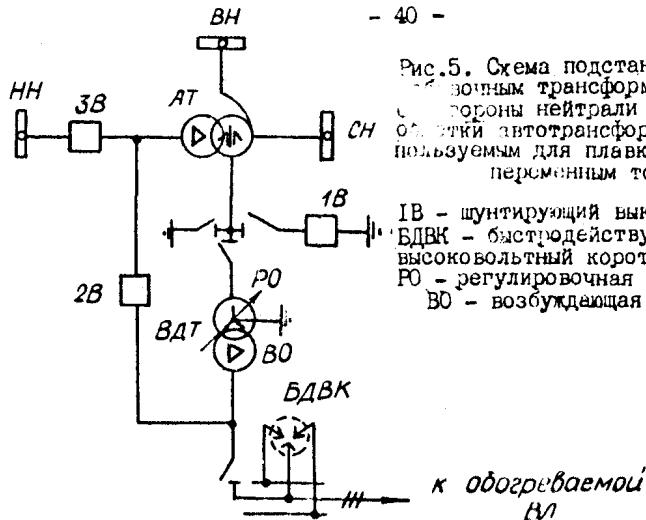


Рис.5. Схема подстанции с вольтотрансформатором (ВТ) и автотрансформатором (АТ) для открытия нейтрали общей части обмотки автотрансформатора (АТ) используемым для плавки гололеда переменным током:

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

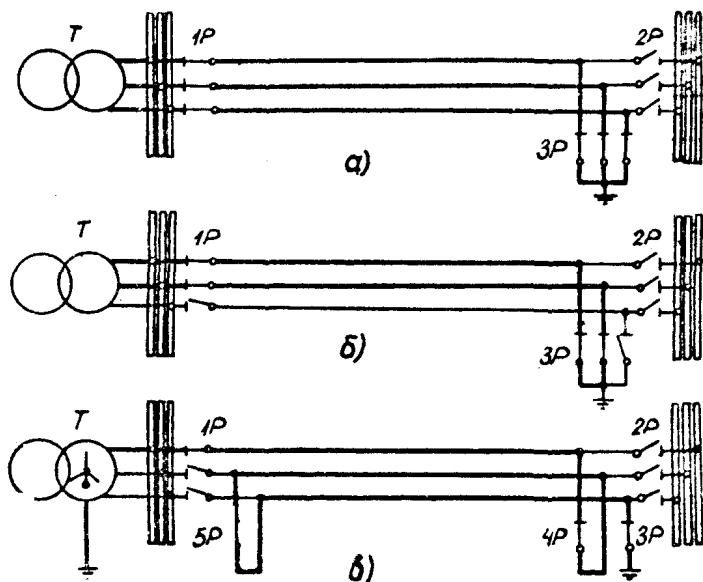


Рис.6. Схема плавки гололеда способом короткого замыкания:  
а - трехфазное короткое замыкание; б - двухфазное короткое замыкание; в - схема "змейка"

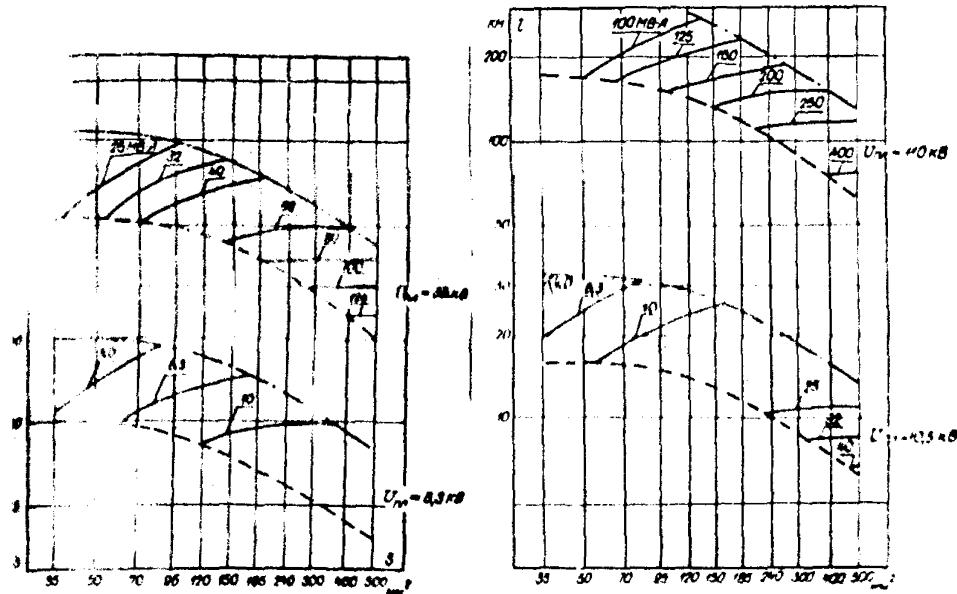
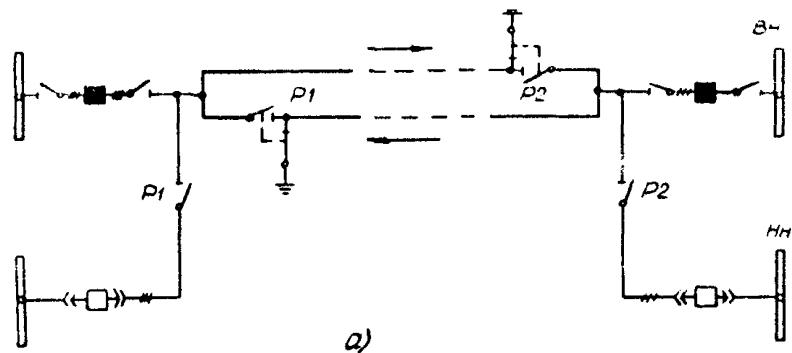
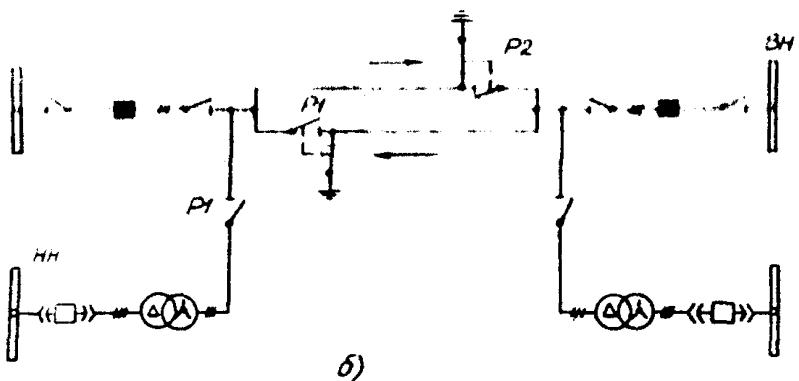


Рис. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35–220 кВ со ста-  
леалюминиевыми проводами сечений 35–500 мм<sup>2</sup> при плавке гололеда  
переменным током:

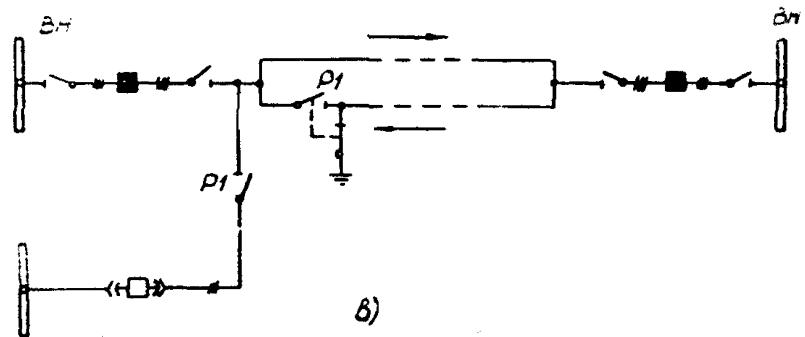
- огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от ис-  
точника неограниченной мощности;
  - огибающая максимальных длин ВЛ;
  - огибающая минимальных длин ВЛ при плавке гололеда от  
источника мощностью 4-125 МВ·А;
- a* – при питании от источника мощностью 4-125 МВ·А; *b* – при питании  
от источника мощностью 4-400 МВ·А



a)



b)



c)

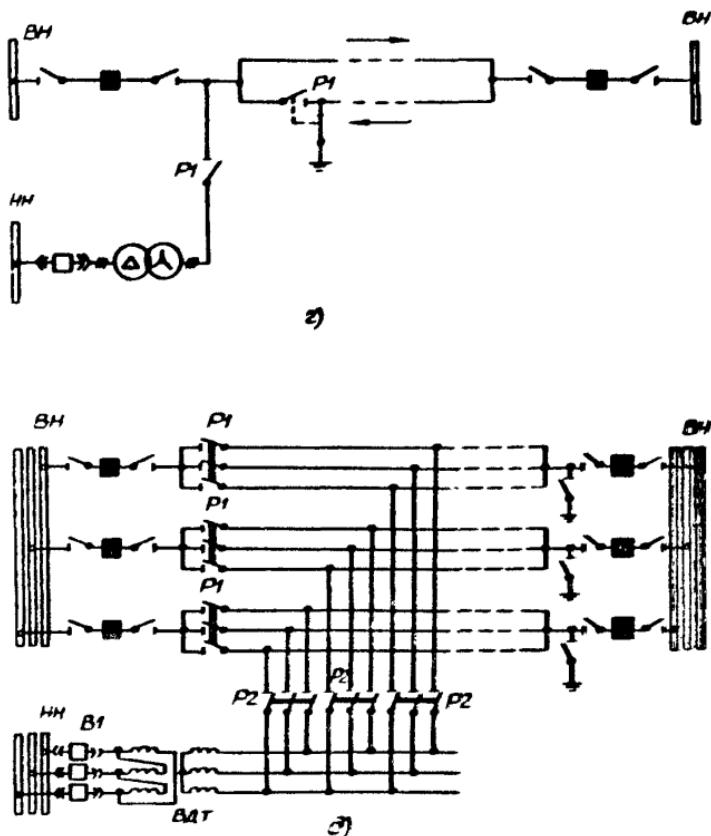


Рис.8. Схемы плавки гололеда для ВИ с расщепленными проводами:  
а, б, в, г – расщепление на два провода; д – расщепление на три провода

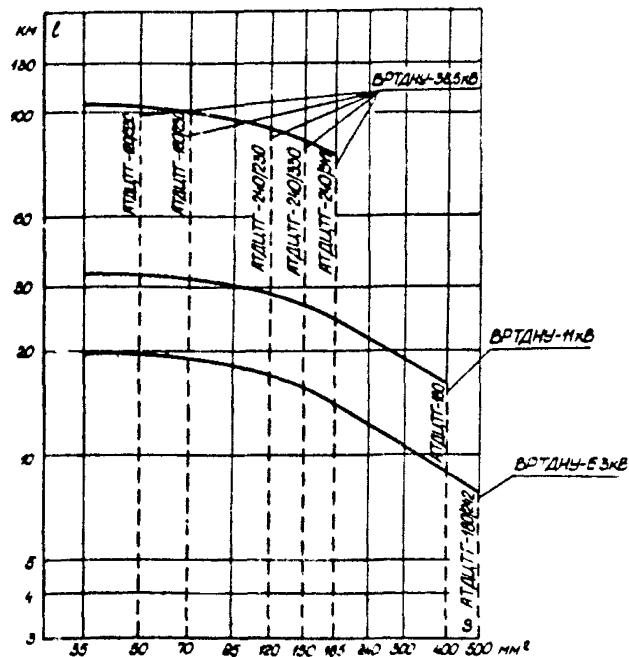


Рис. 9. Диапазоны длин обогреваемых участков ВЛ 35-220 кВ с проводами сечений 35-300  $\text{мм}^2$  при плавке гололеда переменным током от блока АТ-ВДТ:

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

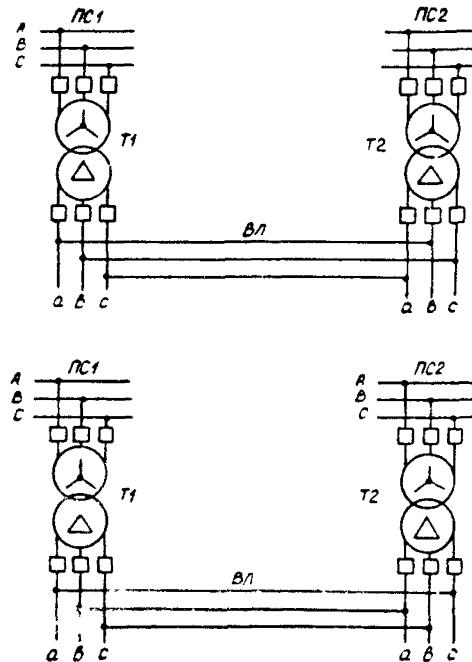


Рис. 10. Схема плавки гололеда по способу встречного включения

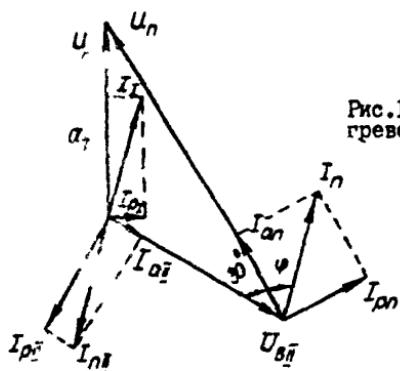


Рис.11. Векторная диаграмма при обо-  
греве линии по способу встречного  
включения

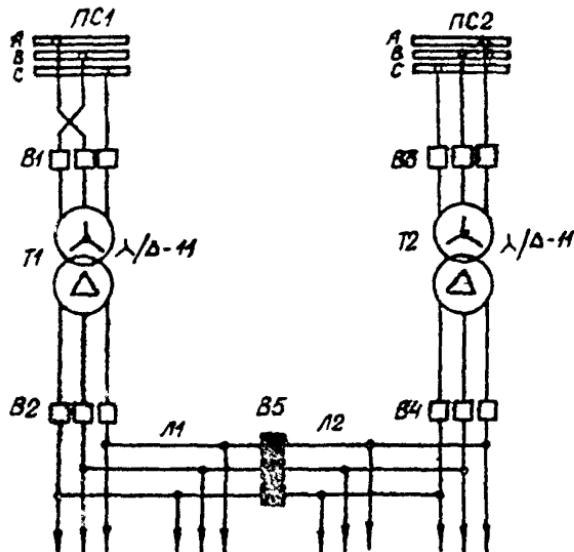


Рис.12. Схема плавки гололеда по способу встре-  
чного включения без отключения нагрузки;  
Л1, Л2 - обогреваемые ВЛ

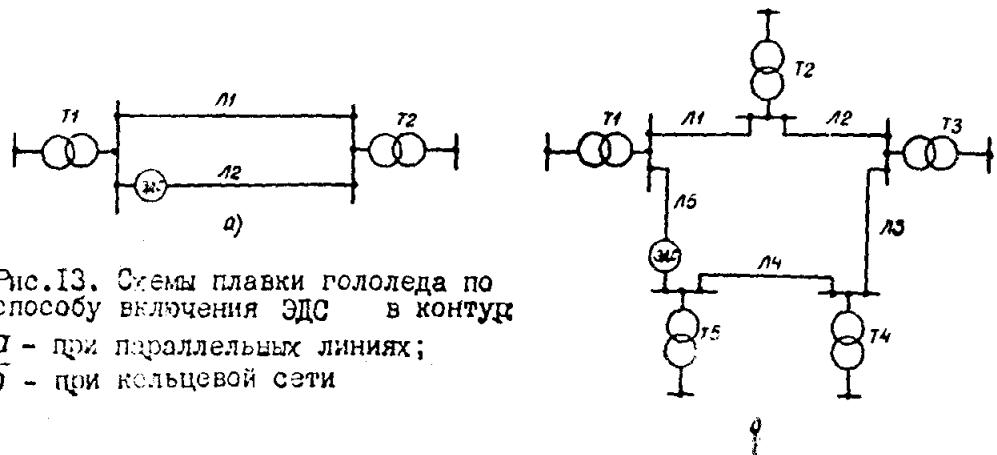


Рис.13. Схемы плавки гололеда по способу включения ЭДС в контур  
а - при параллельных линиях;  
б - при кольцевой сети

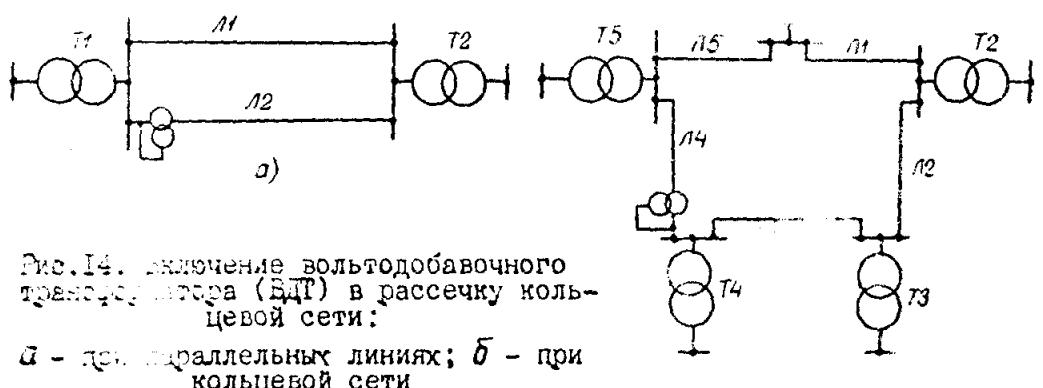


Рис.14. Включение вольтодобавочного трансформатора (БДТ) в рассечку кольцевой сети:  
а - для параллельных линий; б - при кольцевой сети

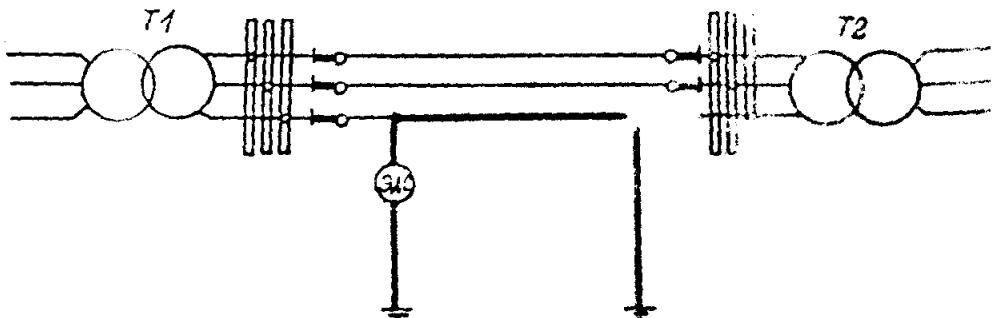


Рис.15. Схема пофазной плавки токами наложения

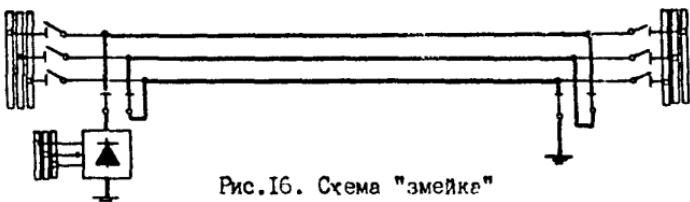


Рис.16. Схема "змейка"

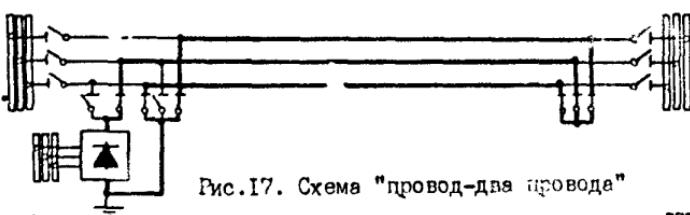


Рис.17. Схема "провод-два провода"

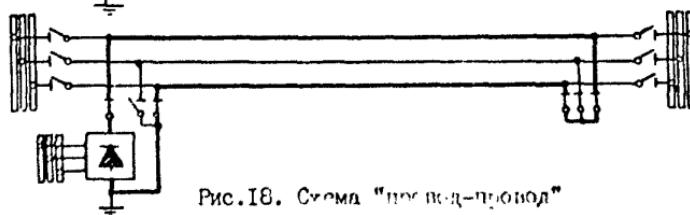


Рис.18. Схема "провод-провод"

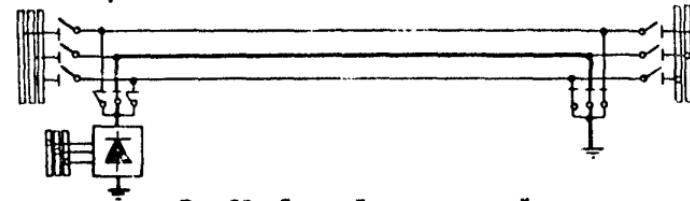


Рис.19. Схема "провод-земля"

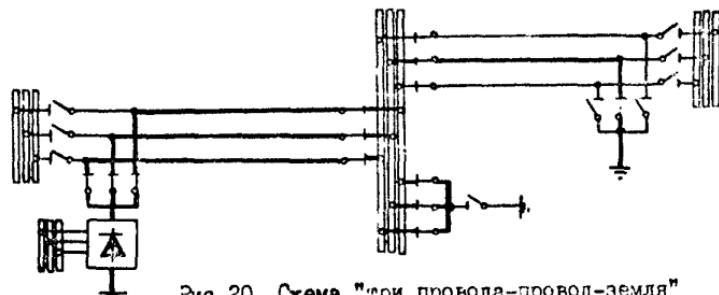


Рис.20. Схема "три провода-провод-земля"

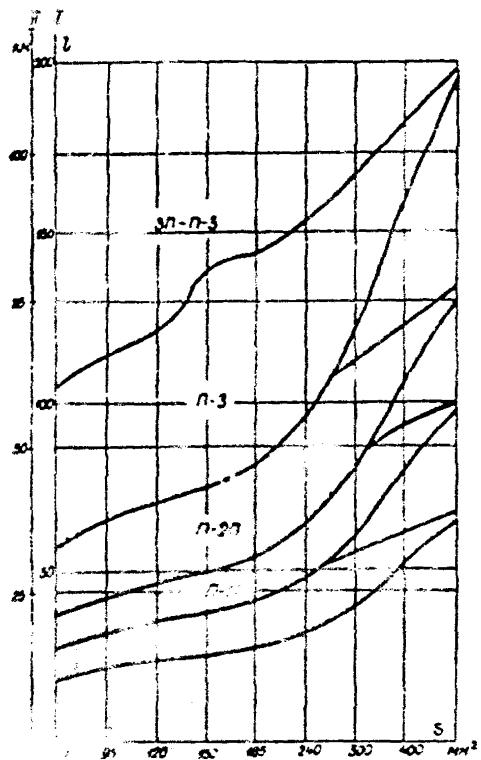


Рис.21. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УП (источник напряжения):  
I - ВУКН-1200-14000; П - ВУКН-1200-3000

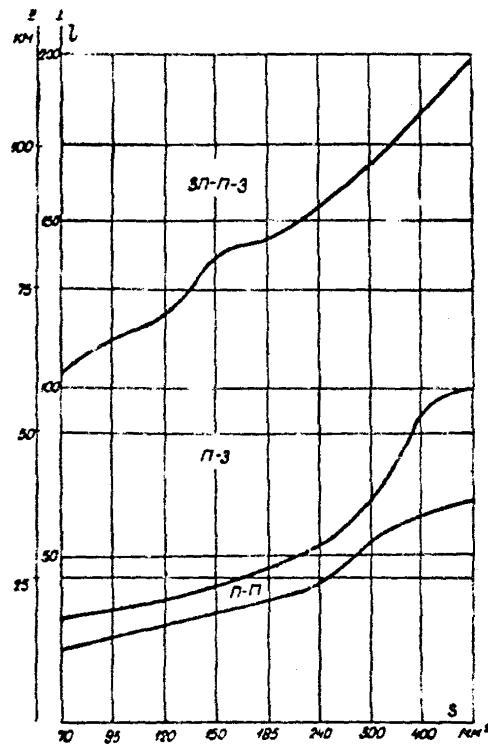


Рис.22. Диапазон длин обогреваемых участков ВЛ от УП (источник тока):  
I - ВУКН-1200-14000;  
П - ВУКН-1200-8000

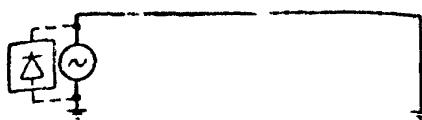


Рис.23. Схема "трос-земля"

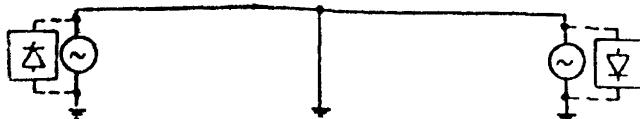


Рис.24. Схема "трос-земля" при подключении источников тока с двух концов троса

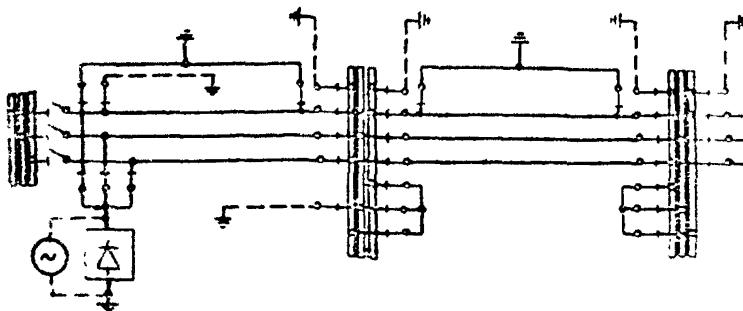


Рис.25. Использование проводов отключенной ВЛ для подачи напряжения плавки на обогреваемый трос

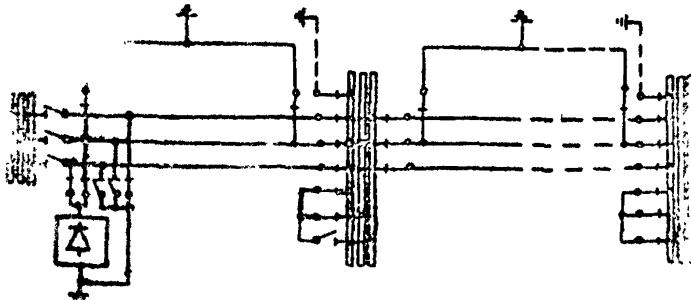


Рис.26. Однопреплавка гололеда на проводах и тросах



Рис.27. Схема "трос-трос"

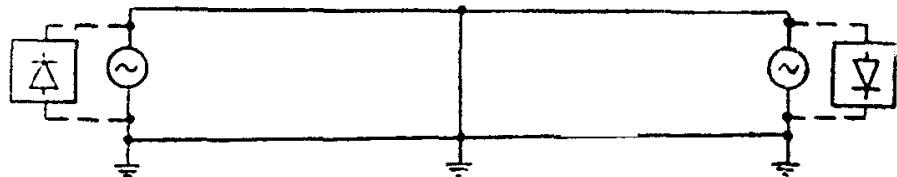


Рис.28. Схема "трос-трос" при подключении источников плавки с двух концов троса

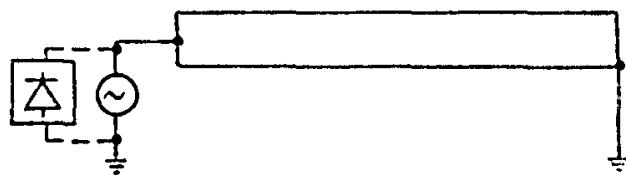


Рис.29. Схема "два троса-земля"

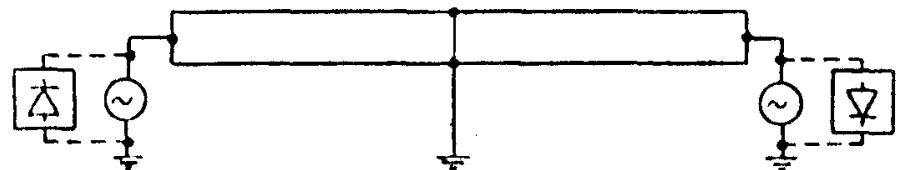


Рис.30. Схема "два троса-земля" при подключении источников плавки с двух концов троса

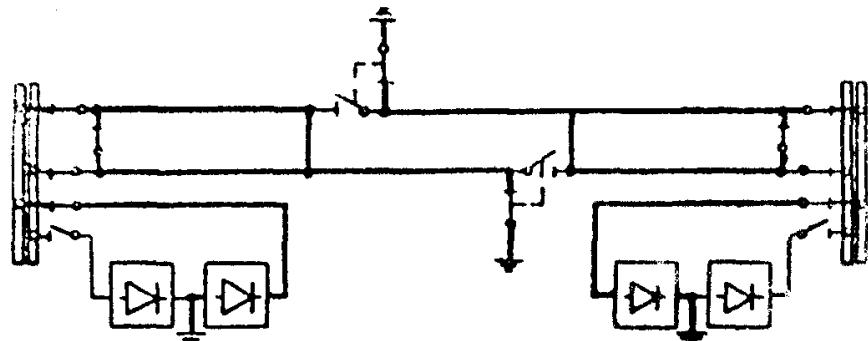
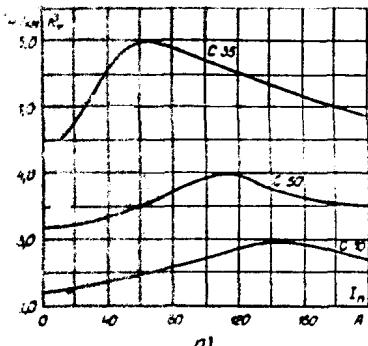
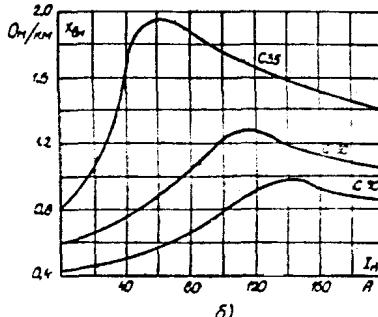


Рис.31. Схема для плавки в два этапа: "трос-трос" и "два троса-трос-земля"



a)



b)

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

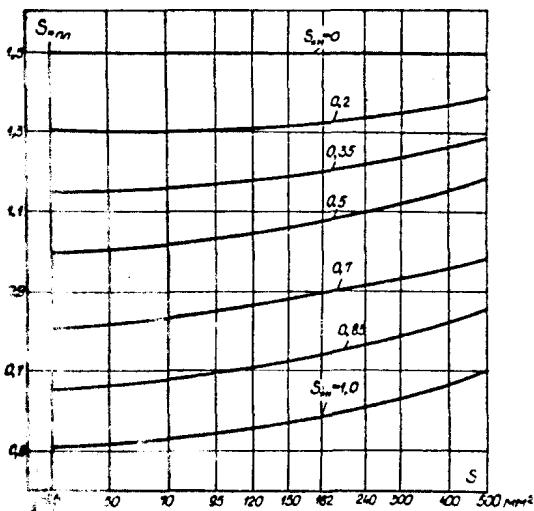


Рис.33. Зависимость изменения предельной мощности плавки ( $S_{*pl}$ ), сечения проводов ( $F$ ), предшествующей загрузки трансформаторов ( $S_{*H}$ )

## Приложение I

## СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДОВ И ДОПУСТИМЫЕ ТОКИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Таблица П.1

Сопротивления проводов при различных температурах

Марка провода	Сопротивление провода ( $\text{См}^{-1}$ ) при температуре провода, $^{\circ}\text{C}$								
	0	25	40	60	80	100	110	120	130
M 25	0,657	0,721	0,771	0,823	0,875	0,927	0,960	0,988	-
M 35	0,477	0,515	0,551	0,586	0,626	0,663	0,688	0,716	-
M 50	0,334	0,361	0,366	0,412	0,439	0,465	0,481	0,494	-
M 70	0,247	0,267	0,286	0,305	0,324	0,344	0,356	0,366	-
M 90	0,177	0,191	0,204	0,216	0,232	0,246	0,255	0,262	-
M 120	0,143	0,154	0,165	0,176	0,187	0,198	0,206	0,212	-
M 150	0,113	0,122	0,131	0,139	0,148	0,157	0,163	0,167	-
A 25	1,05	1,14	1,22	1,31	1,39	1,48	1,51	1,55	-
A 35	0,769	0,830	0,891	0,953	1,014	1,076	1,106	1,136	-
A 50	0,533	0,576	0,619	0,661	0,704	0,747	0,766	0,788	-
A 70	0,381	0,412	0,443	0,473	0,504	0,534	0,549	0,564	-
A 95	0,285	0,308	0,331	0,354	0,376	0,399	0,411	0,422	-
A 120	0,228	0,246	0,264	0,282	0,301	0,319	0,328	0,337	-
AC 10/1,8	2,495	2,695	2,895	3,094	3,294	3,494	3,699	3,695	3,795
AC 16/2,7	1,641	1,772	1,903	2,035	2,166	2,297	2,354	2,426	2,495
AC 5/4,2	1,061	1,145	1,231	1,316	1,401	1,486	1,526	1,570	1,614
AC 35/6,2	0,715	0,773	0,830	0,886	0,945	1,002	1,029	1,058	1,086
AC 50/8,0	0,548	0,592	0,636	0,680	0,724	0,767	0,789	0,811	0,832
AC 70/11	0,389	0,420	0,451	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591

			.T	0,482	0,513	0,544	0,560	0,575	0,591
95/16	C,277	0,239	C,321	0,343	0,365	0,388	0,394	0,419	0,421
AC 95/141	C,292	0,315	C,339	0,363	0,386	0,410	0,421	0,432	0,444
AC 120/19	C,227	0,245	C,263	0,271	C,299	0,318	0,326	0,336	0,345
AC 120/27	C,231	0,249	C,267	C,266	C,304	0,323	0,332	0,342	0,351
AC 150/19	C,181	0,195	C,209	C,224	C,238	0,253	0,260	0,269	0,275
AC 150/24	C,180	0,194	C,208	0,223	C,237	0,251	0,259	0,266	0,274
AC 150/34	C,181	0,196	C,211	0,225	C,240	0,254	0,260	0,268	0,275
AC 185/24	C,143	0,154	C,165	0,177	0,188	0,200	0,206	0,212	0,217
AC 185/29	C,147	0,159	C,171	0,183	0,194	0,206	0,212	C,2176	0,223
AC 185/43	C,144	0,156	C,168	0,179	0,191	0,202	0,207	0,213	0,219
AC 185/128	C,144	0,155	C,166	0,178	0,189	0,201	0,207	0,213	0,219
AC 205/27	C,130	0,140	C,150	0,161	C,171	C,181	0,187	0,192	0,198
AC 240/32	C,109	0,118	C,127	C,135	C,144	0,153	0,157	0,161	0,166
AC 240/39	C,113	0,122	C,131	0,140	C,149	0,158	0,163	0,167	0,172
AC 240/56	C,111	0,120	C,129	0,138	C,147	0,156	0,160	0,164	0,168
AC 300/39	0,089	0,096	C,103	C,110	C,117	0,124	0,128	0,131	0,135
AC 300/48	0,091	0,096	C,105	0,113	C,120	0,127	0,131	0,134	C,138
AC 300/66	0,093	0,100	C,107	0,115	C,122	C,130	0,134	0,137	0,141
AC 300/204	0,090	0,097	C,104	C,111	C,119	0,126	0,129	0,133	0,137
AC 330/27	0,082	0,089	C,096	C,102	C,109	0,115	0,117	0,121	0,124
AC 330/43	0,081	0,087	C,093	C,100	C,106	0,113	0,116	0,120	0,123
AC 400/22	0,068	0,073	C,078	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC 400/51	0,068	0,073	C,078	0,084	0,089	0,095	0,098	0,1006	0,103
AC 400/81	0,069	0,074	C,079	C,083	C,090	0,096	0,099	0,1022	0,1049
AC 400/93	0,066	0,071	C,079	C,082	C,087	0,092	0,095	0,098	0,1004

СИЧИЧНИСТАБЛИЦЫ П.И

Марка провода	Сопротивление провода при температуре провода, °C									
	0	20	40	60	80	100	110	120	130	
AC 400/38	0,052	0,057	0,072	0,077	0,082	0,087	0,092	0,092	0,092	0,0942
AC 500/27	0,055	0,060	0,064	0,069	0,073	0,078	0,079	0,081	0,084	
AC 500/64	0,055	0,059	0,063	0,065	0,072	0,076	0,079	0,081	0,084	
AC 500/336	0,055	0,059	0,063	0,065	0,072	0,076	0,079	0,081	0,084	
AC 550/71	0,049	0,053	0,057	0,061	0,065	0,069	0,070	0,0726	0,0740	
AC 600/72	0,046	0,051	0,054	0,057	0,061	0,065	0,068	0,070	0,070	
AC 650/79	0,043	0,046	0,049	0,053	0,055	0,060	0,062	0,0636	0,0654	
AC 700/86	0,039	0,042	0,045	0,048	0,051	0,054	0,055	0,0577	0,059	
AC 750/93	0,036	0,039	0,042	0,045	0,048	0,051	0,0518	0,053	0,054	
AC 800/100	0,032	0,035	0,038	0,041	0,043	0,045	0,046	0,047	0,0486	
AK 25	1,1251	1,32	1,431	1,52	1,61	1,7	-	-	-	
AK 35	0,905	0,972	1,030	-	1,103	1,23	-	-	-	
AK 50	0,625	0,676	0,715	-	0,803	0,850	-	-	-	
AK 70	0,446	0,484	-	-	0,577	0,609	-	-	-	
AK 90	0,337	0,354	-	0,43	0,434	0,458	-	-	-	
AK 120	0,207	0,226	0,24	0,264	0,344	0,363	-	-	-	
AK 25	1,155	1,248	1,321	1,404	1,487	1,570	-	-	-	
AK 35	0,835	0,900	0,960	1,012	1,075	1,133	-	-	-	
AK 50	0,57	-	0,660	0,701	0,743	0,784	-	-	-	
AK 70	0,413	0,447	0,472	0,502	0,531	0,561	-	-	-	
	0,341	0,333	0,330	0,357	0,400	0,422	-	-	-	
	0,246	0,245	0,261	0,229	0,316	0,334	-	-	-	

Таблица М.2

Небольшие допустимые токи плавки для проводов  
при различных погодных условиях

Марка провода	Допустимый ток плавки (А) для скорости ветра ( $v$ ) и температуры воздуха ( $t$ )					
	$v = 2 \text{ м/с}$			$v = 4 \text{ м/с}$		
	$t + 0^\circ$	$t + 5^\circ$	$t + 10^\circ$	$t + 0^\circ$	$t + 5^\circ$	$t + 10^\circ$
I	2	3	4	5	6	7
М 25	265	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	1205	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

Температура провода 90°C

## П р о д о л ж е н и е т а б л и ц и ІІІ.2

Марка провода	Допустимый ток плавки (А) для скорости ветра ( $v$ ) и температуры воздуха ( $t$ )					
	$v = 2 \text{ м/с}$			$v = 4 \text{ м/с}$		
	$t = 0^\circ$	$t = -5^\circ$	$t = -10^\circ$	$t = 0^\circ$	$t = -5^\circ$	$t = -10^\circ$
I	2	3	4		6	7
A 500	I460	I500	I535	I680	I720	I760
A 550	I550	I585	I625	I780	I820	I864
A 600	I630	I670	I710	I870	I915	I960
Температура провода $100^\circ\text{C}$						
AC 25/4,2	224	237	235	261	268	275
AC 35/6,2	289	304	302	336	344	352
AC 50/8	343	361	359	399	416	434
AC 70/II	428	438	447	493	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 95/14I	582	595	607	670	685	700
AC I20/I9	610	624	637	705	721	737
AC I20/27	609	623	636	703	719	735
AC I50/I9	705	721	736	813	831	850
AC I50/24	710	721	741	820	838	857
AC I50/34	711	727	743	821	839	858
AC I65/24	821	839	857	947	969	990
AC I65/29	807	825	843	930	951	972
AC I65/43	825	843	861	951	972	994
AC I65/I28	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	III19	II43	II67	II86	II15	II43
AC 300/48	II09	II33	II57	II74	II03	II31
AC 300/56	II03	II82	II51	II57	II26	II24

## Окончание таблицы П.2

Марка провода	Допустимый ток плавки (A) для скорости ветра ( <i>U</i> ) и температуры воздуха ( <i>t</i> )					
	<i>U</i> = 2 м/с			<i>U</i> = 4 м/с		
	<i>t</i> = 0°	<i>t</i> = -5°	<i>t</i> = -10°	<i>t</i> = 0°	<i>t</i> = -5°	<i>t</i> = -10°
I	2	3	4	5	6	7
AC 300/204	II82	I208	I233	I355	I385	I415
AC 330/27	II68	I193	I218	I342	I372	I402
AC 330/43	II93	I219	I244	I370	I401	I431
AC 400/22	I324	I353	I381	I215	I251	I587
AC 400/51	I338	I367	I395	I534	I569	I603
AC 400/64	I332	I361	I389	I527	I561	I595
AC 400/93	I381	I411	I440	I582	I617	I652
AC 450/56	I417	I447	I477	I623	I660	I696
AC 500/27	I507	I539	I571	I726	I756	I803
AC 500/64	I538	I571	I604	I762	I801	I840
AC 500/336	I640	I675	I709	I872	I913	I954
AC 550/71	I652	I688	I723	I891	I933	I974
AC 600/72	I714	I751	I787	I961	2004	2047
AC 650/79	I812	I85	I889	2071	2117	2163
AC 700/86	I923	I9	2004	2196	2244	2292
AC 750/93	I929	I975	2020	2199	2253	2306
AC 800/I05	I2168	2214	2260	2473	2527	2581

Температура провода 80°C						
AM 25	I85	I90	I95	215	225	230
AM 35	230	235	240	265	275	280
AM 50	290	300	305	335	345	355
AM 70	360	370	380	415	430	440
AM 95	430	440	455	500	515	530
AM 120	500	515	530	580	600	615
AH 25	I96	200	205	225	230	240
AH 35	246	245	250	275	285	295
AH 50	300	310	320	350	360	370
AH 70	375	385	395	435	445	460
AH 95	450	460	475	520	535	550
AH 120	520	535	550	605	625	640

ЗАВИСИМОСТИ ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА И ИЗМОРОЗИ  
ОТ ЗНАЧЕНИЯ ТОКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРКИ ПРОВОДА

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

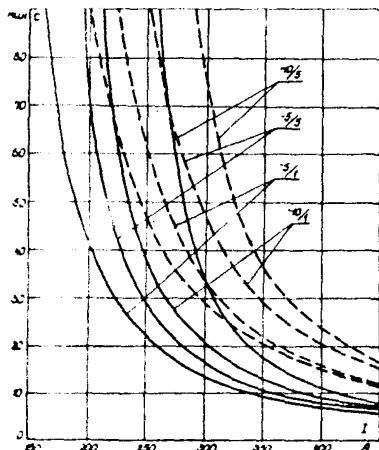


Рис.П2.1. Зависимость времени плавки гололеда ( $Y=0,9$ ) от тока.

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

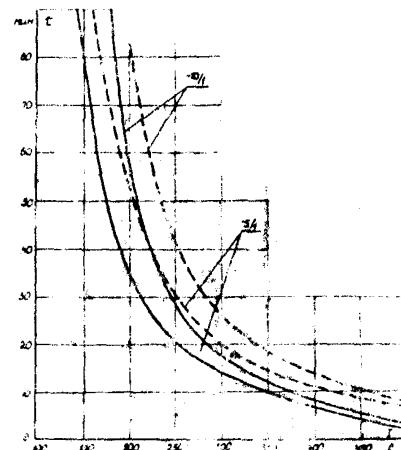


Рис.П2.2. Зависимость времени плавки изморози ( $Y=0,5$ ) от тока

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

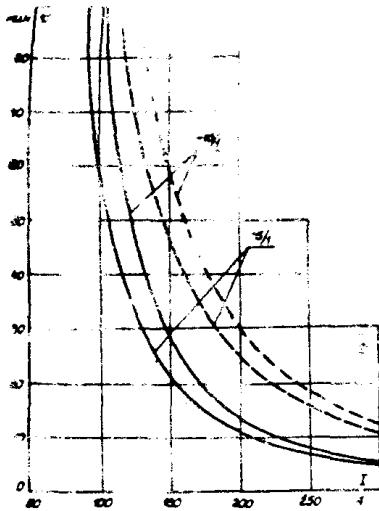


Рис.П2.3. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока.

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

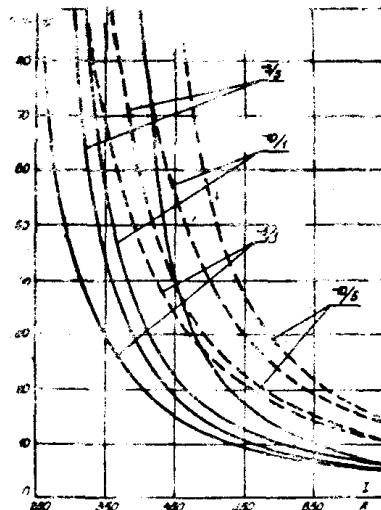


Рис.П2.4. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока.

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

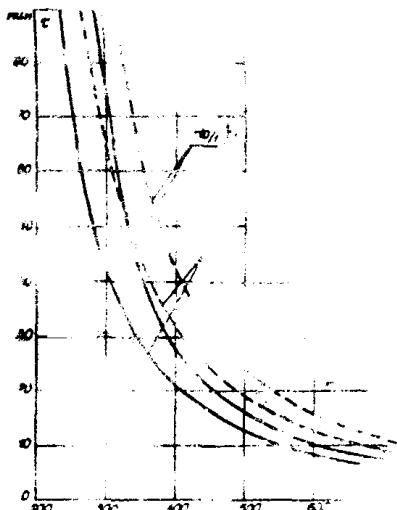


Рис.П2.5. Зависимость времени плавки изморози от тока  $f = 0,9$

Провод М 70:   
—  $D =$    
- - -  $D =$

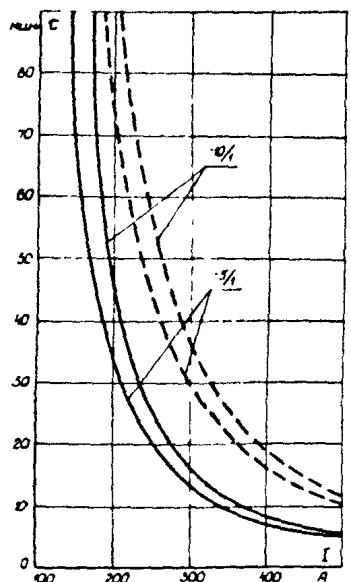


Рис.П2.6. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma=0,2$ ) от тока.

Провод М 70:  $\frac{D}{B} = 5$  см;  $\frac{D}{B} = 10$  см

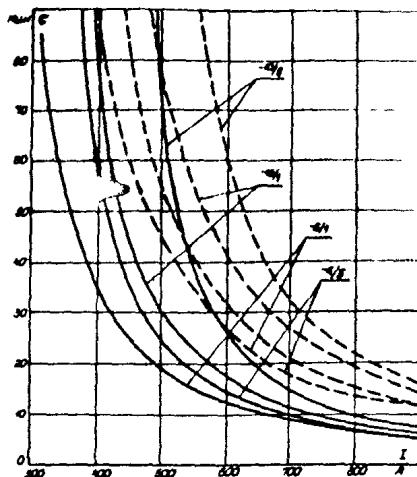


Рис.П2.7. Зависимость времени плавки гололеда ( $\gamma=0,9$ ) от тока.

Провод М 95:  $\frac{D}{B} = 3$  см;  $\frac{D}{B} = 5$  см

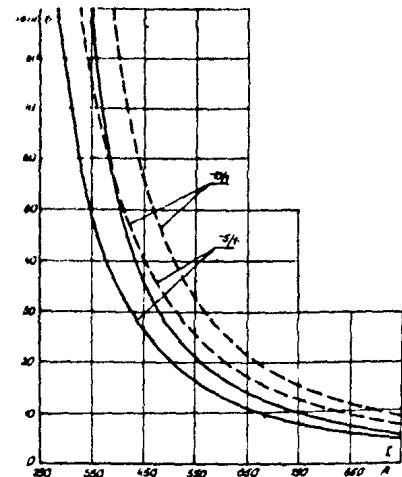


Рис.П2.8. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma=0,5$ ) от тока

Провод М 95:  $\frac{D}{B} = 5$  см;  $\frac{D}{B} = 7$  см

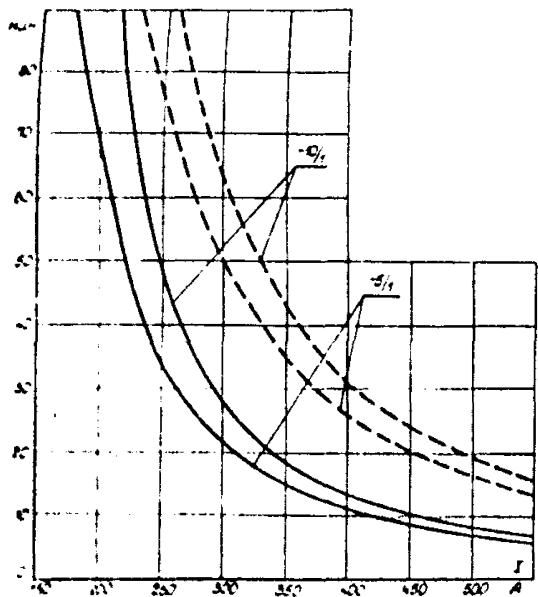


Рис.П2.9. Зависимость времени плавки  
изморози ( $\gamma = 0,2$ ) от тока.

Пропод M 95:  $D = 5$  см;  
 $D = 10$  см

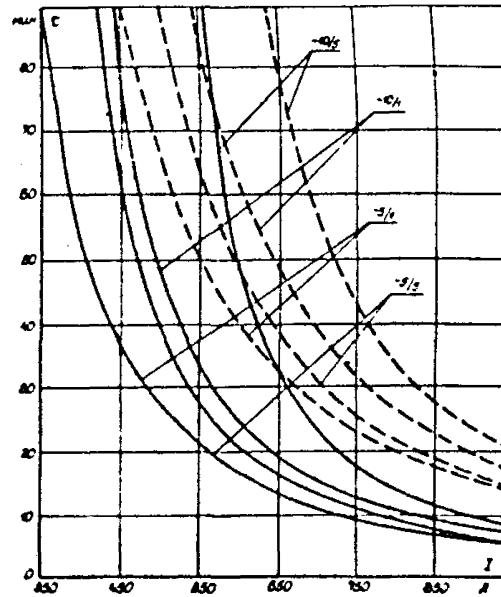


Рис.П2.10. Зависимость времени плавки  
гололеда ( $\gamma = 0,9$ ) от тока.

Пропод M 120:  $D = 3$  см;  
 $D = 5$  см

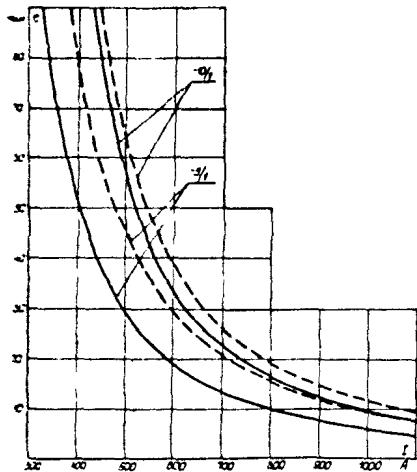


Рис.П2.11. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,5$ ) от тока.

Провод М 120:  $\frac{D}{D} = 5$  см;  $\frac{D}{D} = 7$  см

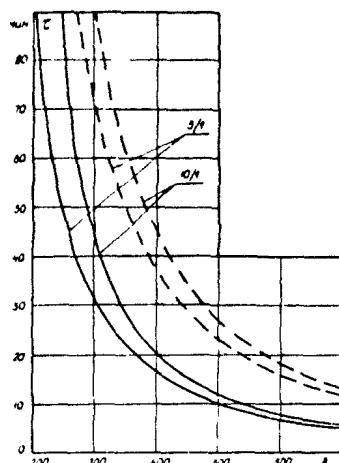


Рис.П2.12. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,2$ ) от тока.

Провод М 120:  $\frac{D}{D} = 5$  см;  $\frac{D}{D} = 10$  см

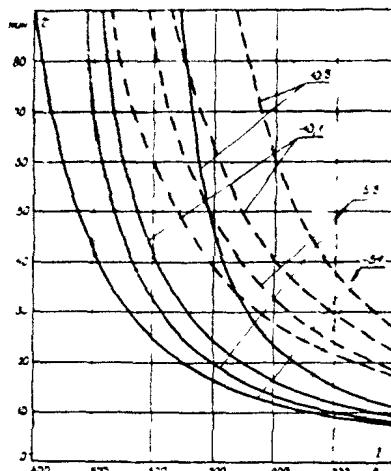


Рис.П2.13. Зависимость времени плавки гололеда ( $\gamma = 0,9$ ) от тока.

Провод М 150:  $\frac{D}{D} = 3$  см;  $\frac{D}{D} = 5$  см

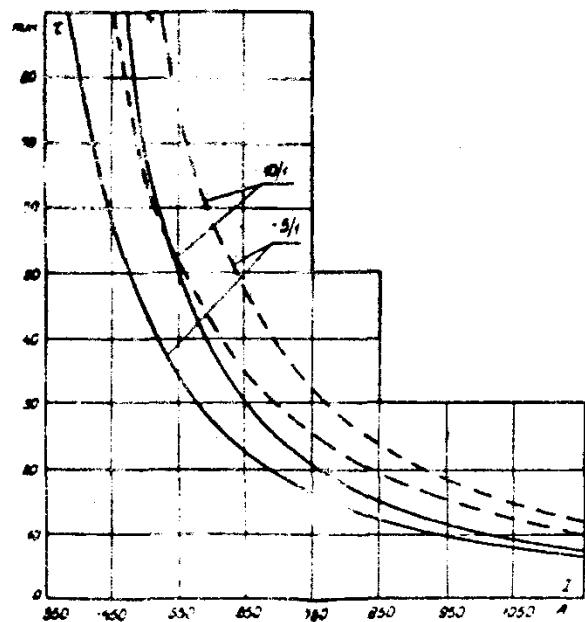


Рис.П2.14. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока.

Привод X 150: —  $D = 5$  см;  
— —  $D = 7$  см

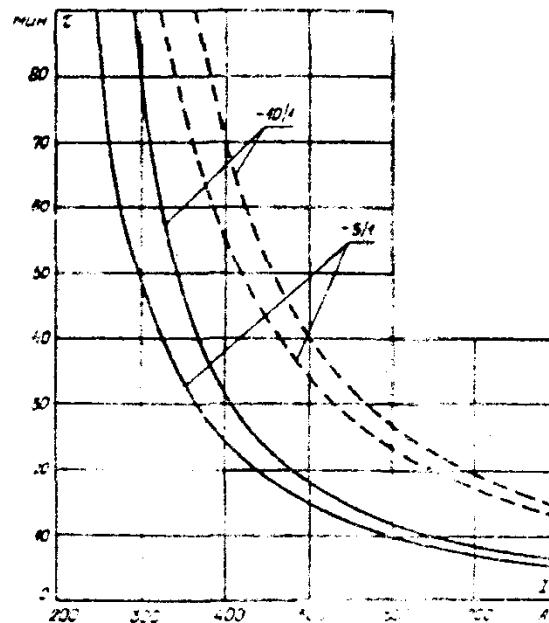


Рис.П2.15. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока

Привод X 100: —  $D = 5$  см;  
— —  $D = 10$  см

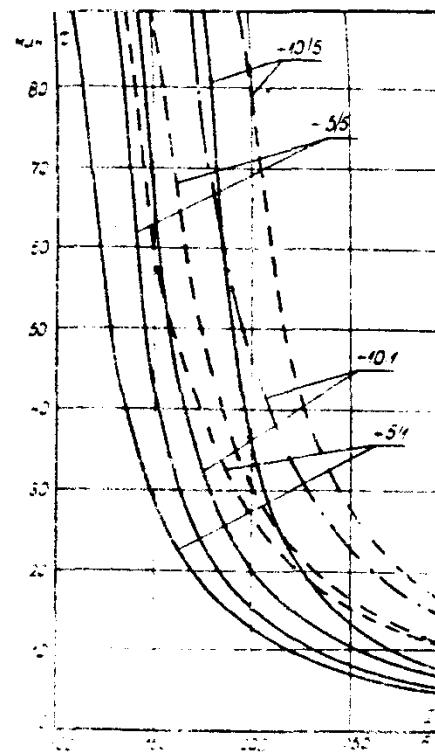


Рис.П2.16. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока

Привод X 25: —  $D = 3$  см;  
— —  $D = 5$  см

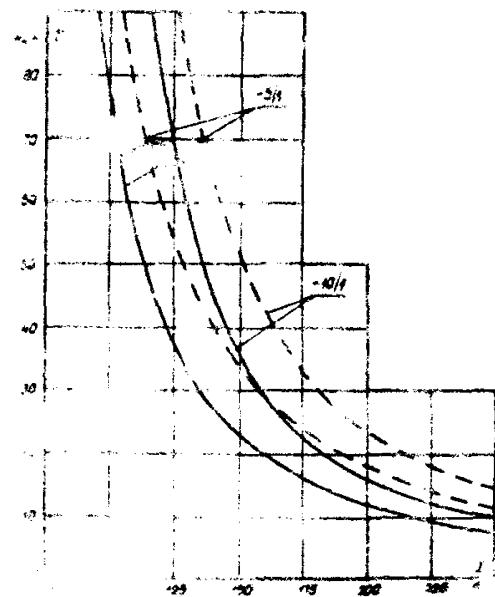


Рис. 12.18. Зависимость времени плавки изморози ( $r = 0,6$ ) от тока.

$$\frac{D}{D} = 2$$

Число времени.  
 $r = 0,2$

$$\begin{aligned} \text{—} & \quad \frac{D}{D} = 2 \text{ см;} \\ \text{---} & \quad \frac{D}{D} = 5 \text{ см;} \\ \text{—} & \quad \frac{D}{D} = 10 \text{ см} \end{aligned}$$

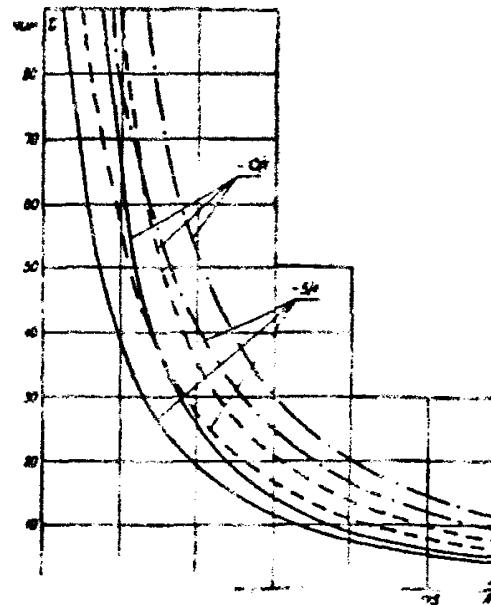
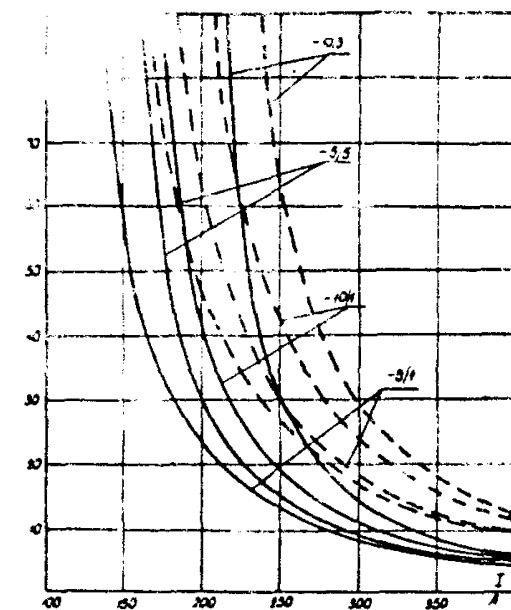


Рис. 12.19. Зависимость времени плавки гололеда ( $r = 0,9$ ) от тока.

Провод к 35     $\frac{D}{D} = 2 \text{ см};$      $\frac{D}{D} = 3 \text{ см};$      $\frac{D}{D} = 5 \text{ см}$



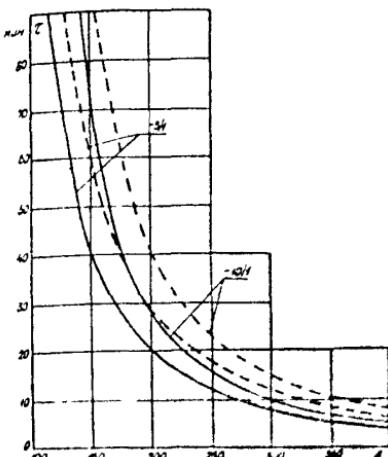


Рис.П2.20. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,5$ ) от тока.

Провод А 35:   
—  $D = 5 \text{ см};$   
- - -  $D = 7 \text{ см}$

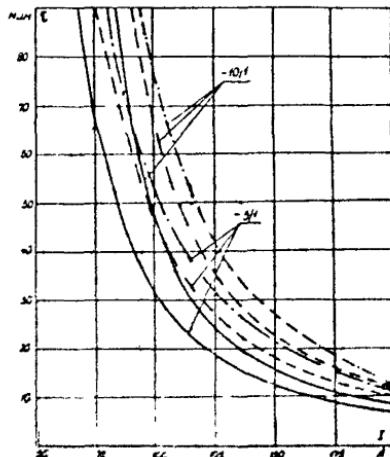
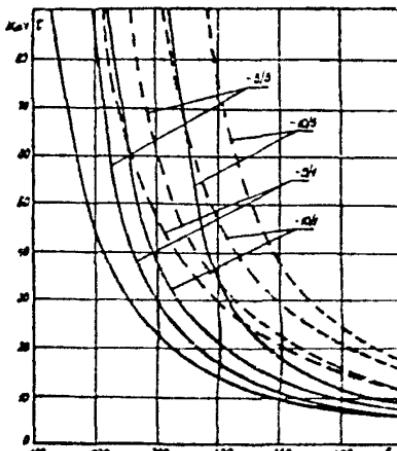


Рис.П2.21. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,2$ ) от тока.

Провод А 35:   
—  $D = 5 \text{ см};$   
- - -  $D = 7 \text{ см};$   
- + -  $D = 10 \text{ см}$

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

Провод А 50:   
—  $D = 3 \text{ см};$   
- - -  $D = 5 \text{ см}$



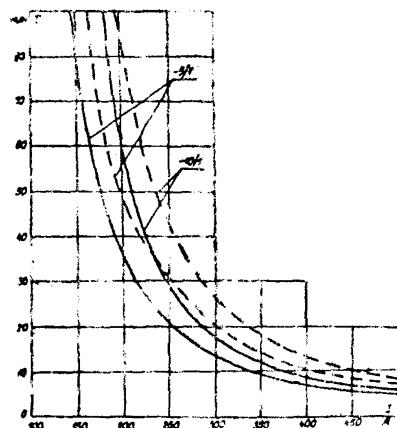


Рис.П2.23. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока.

Провод А 50:  $\begin{array}{l} \text{— } D = 5 \text{ см;} \\ \text{--- } D = 7 \text{ см;} \\ \text{— · — } D = 10 \text{ см} \end{array}$

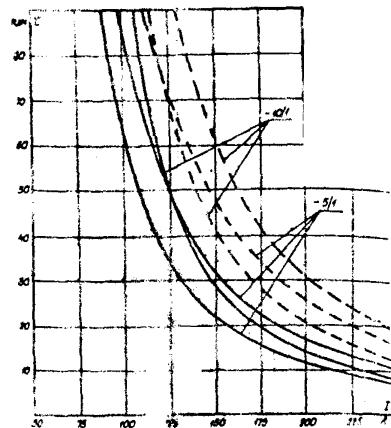


Рис.П2.24. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока.

Провод А 50:  $\begin{array}{l} \text{— } D = 5 \text{ см;} \\ \text{--- } D = 7 \text{ см;} \\ \text{— · — } D = 10 \text{ см} \end{array}$

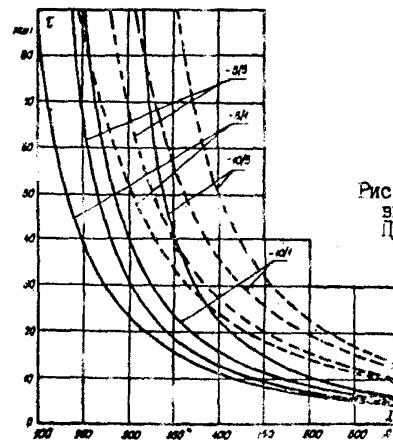


Рис.П2.25. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока.

Провод А 70:  $\begin{array}{l} \text{— } D = 3 \text{ см;} \\ \text{--- } D = 5 \text{ см;} \\ \text{— · — } D = 7 \text{ см} \end{array}$

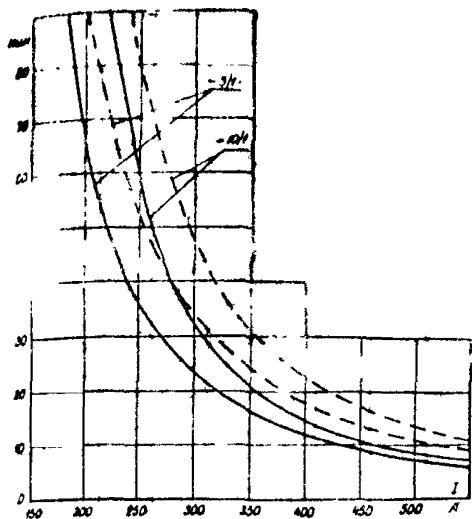


Рис.П2.26. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока.

Провод А 70:  $\text{--- } D = 5 \text{ см}$ ;  
 $\text{--- } D = 7 \text{ см}$

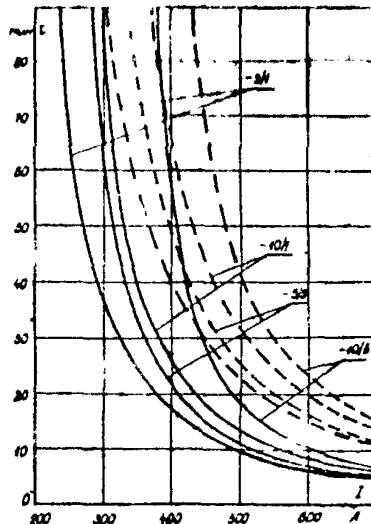
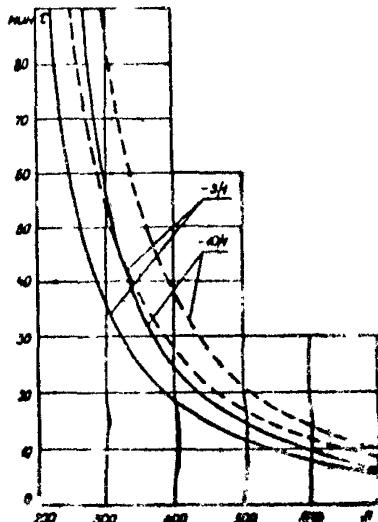


Рис.П2.27. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока.

Провод А 95:  $\text{--- } D = 5 \text{ см}$ ;  
 $\text{--- } D = 7 \text{ см}$

Рис.П2.28. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока.

Провод А 95:  $\text{--- } D = 5 \text{ см}$ ;  
 $\text{--- } D = 7 \text{ см}$



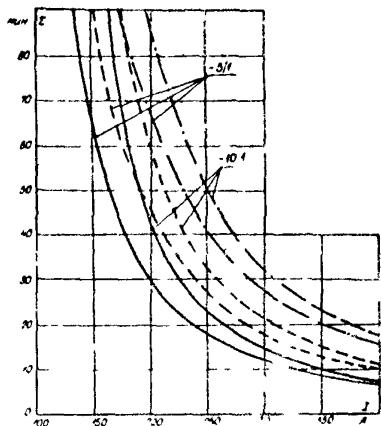


Рис.П2.29. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока:

Провод А 95:  $\text{--- } D = 5 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 7 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 10 \text{ см}$

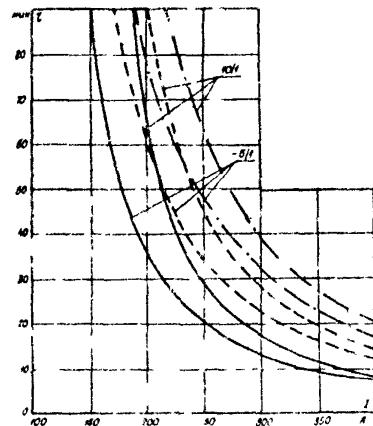


Рис.П2.30. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока:

Провод А 120:  $\text{--- } D = 4 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 6 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 8 \text{ см}$

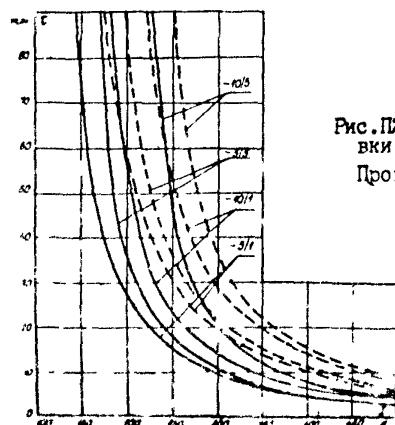


Рис.П2.31. Зависимость времени плавки пололеда ( $f = 0,91$ ) от тока.

Провод АС 35/6,2:  $\text{--- } D = 4 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 5 \text{ см}$

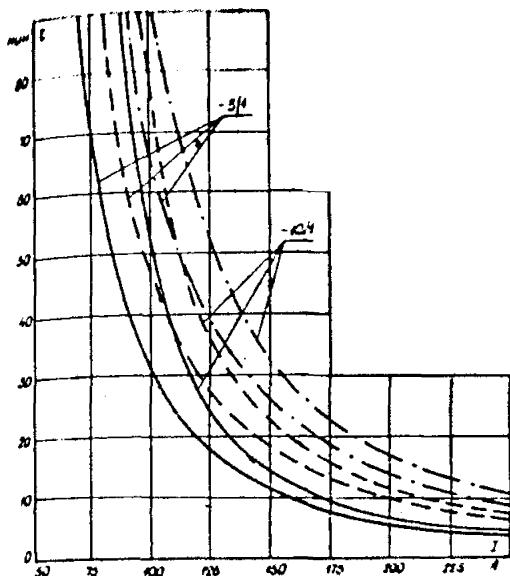


Рис.П2.32. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,2$ ) от тока.

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

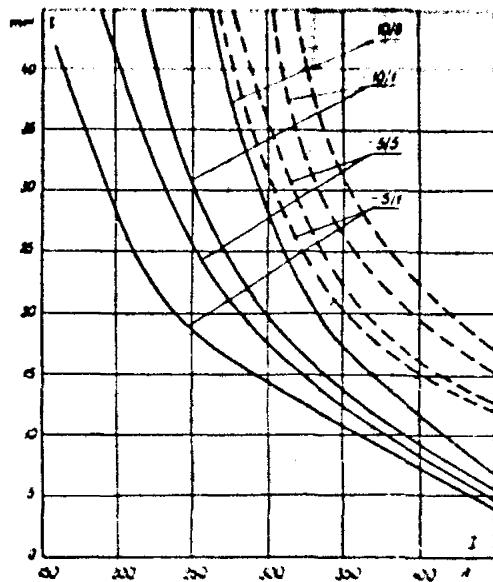


Рис.П2.33. Зависимость времени плавки гололеда ( $\gamma = 0,9$ ) от тока.

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

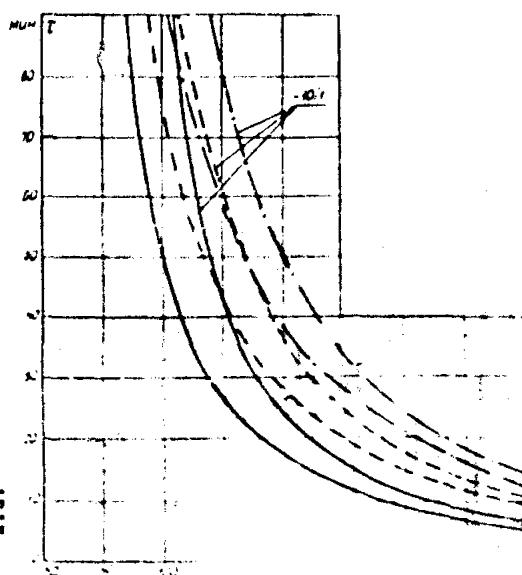


Рис.П2.34. Зависимость времени плавки ( $\gamma = 0,2$ ) от тока.

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

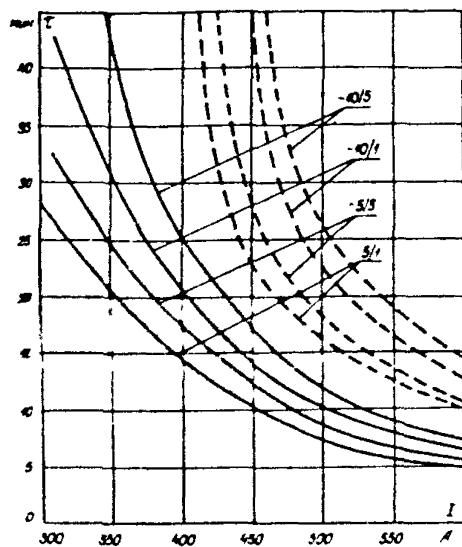


Рис.П2.35. Зависимость времени плавки подоледа ( $f = 0,3$ ) от тока.

Провод АС 70/II:  $\text{--- } D = 3 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 5 \text{ см}$

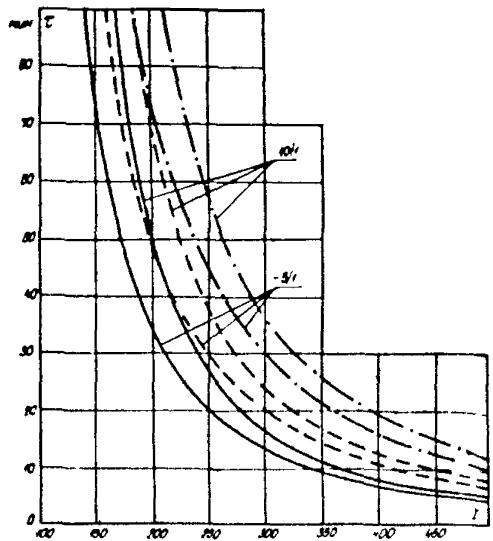


Рис.П2.36. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока.

Провод АС 70/II:  $\text{--- } D = 4 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 6 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 8 \text{ см}$

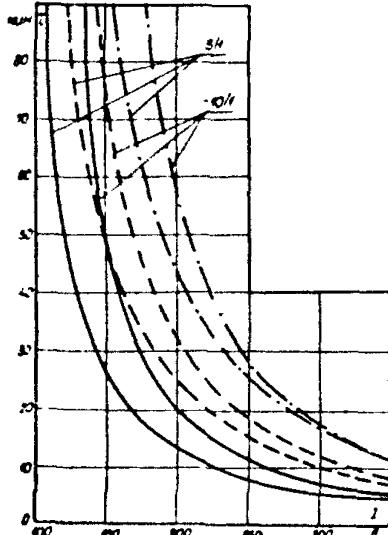


Рис.П2.37. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,2$ ) от тока.

Провод АС 70/II:  $\text{--- } D = 4 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 6 \text{ см};$   
 $\text{--- } D = 8 \text{ см}$

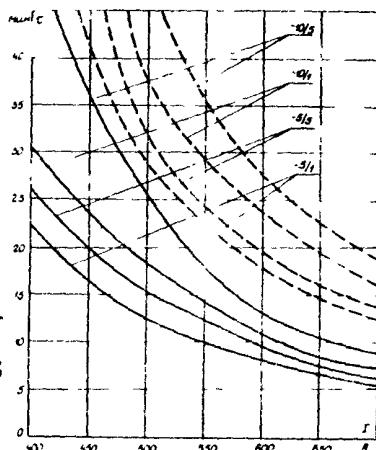


Рис.П2.38. Зависимость времени плавки гололеда ( $\gamma = 0,9$ ) от тока.  
Провод АС 95/16:  $D = 3,5$  см;  
 $D = 5$  см

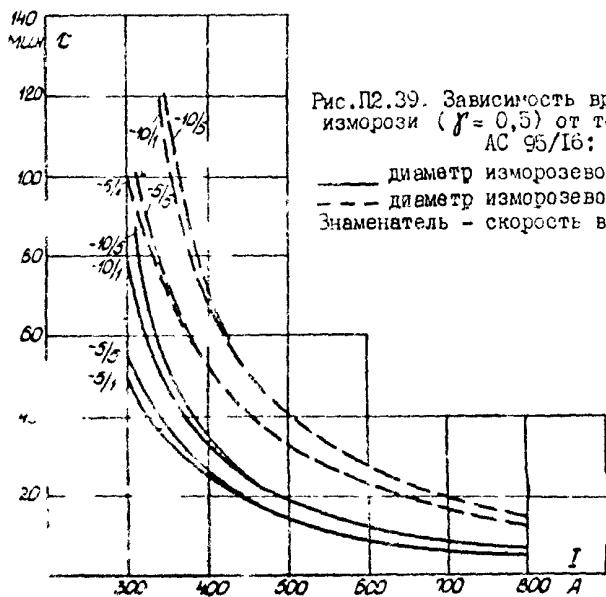


Рис.П2.39. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,5$ ) от тока. Провод АС 95/16:  
— диаметр изморозевой муфты 5 см;  
--- диаметр изморозевой муфты 10 см.  
Знаменатель — скорость ветра м/с

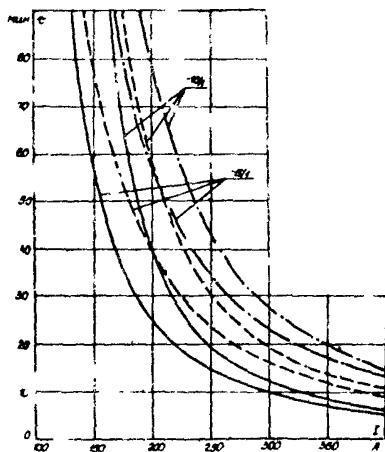


Рис. П2.40. Зависимость времени плавки изморози от тока ( $f = 0,2$ ).

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

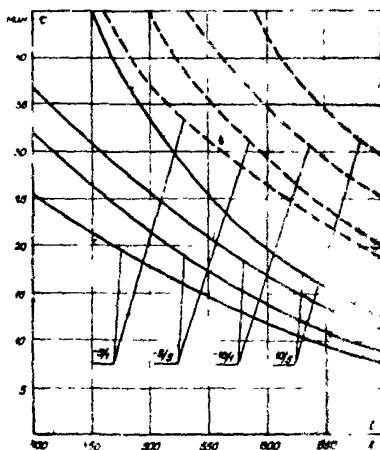


Рис. П2.41. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока.

Провод АС 120/19:   
—  $D = 3.5$  см;   
- - -  $D = 5.0$  см

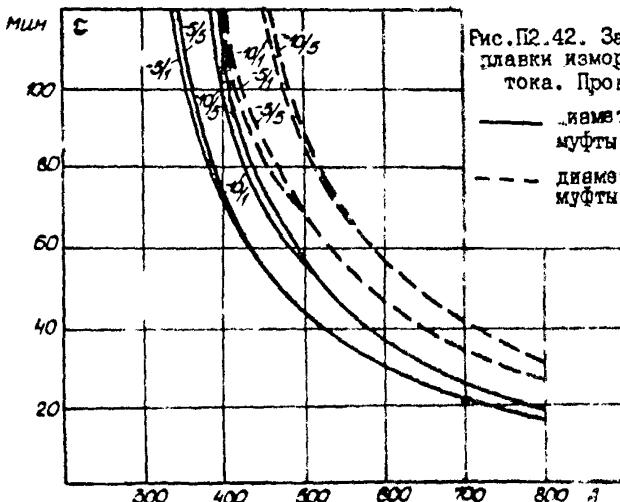


Рис. П2.42. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока. Провод АС 120/19:

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

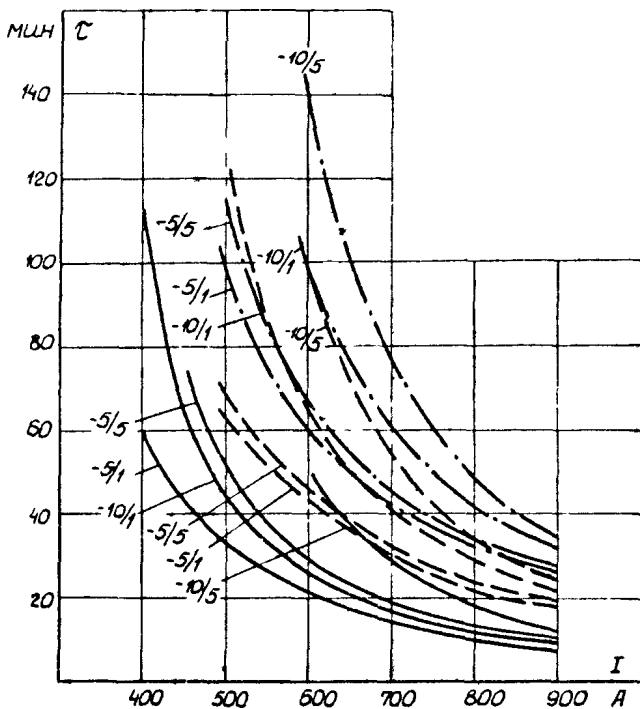


Рис.П2.43. Зависимость времени плавки гололеда ( $f = 0,9$ ) от тока. Провод АС 150/24:

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

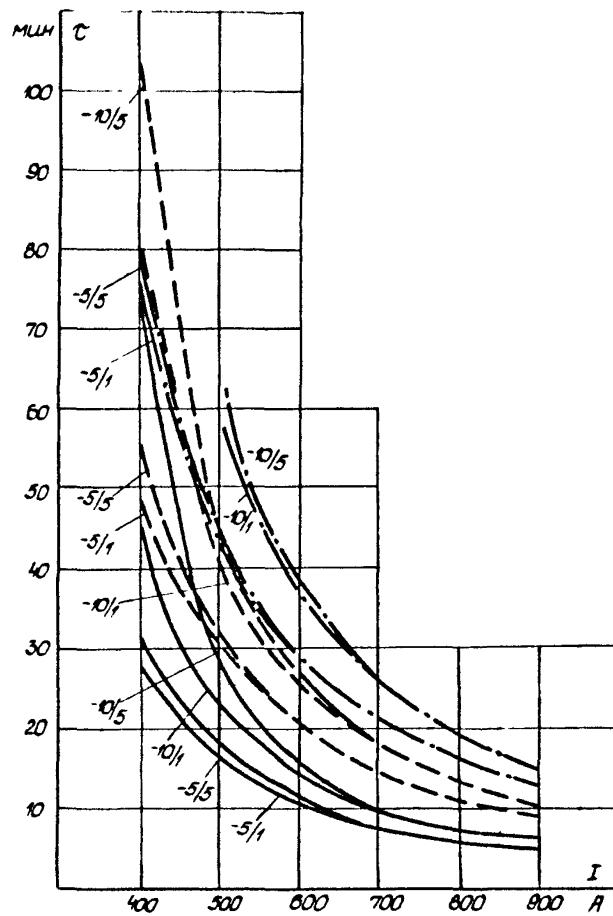


Рис.П2.44. Зависимость времени плавки изморози ( $f = 0,5$ ) от тока. Провод АС 150/24:

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

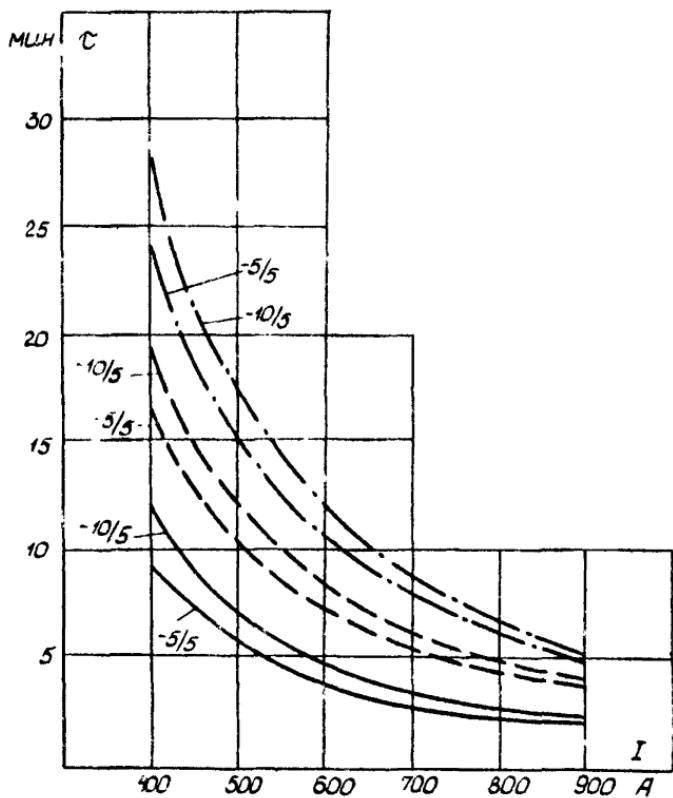


Рис. № 12. Зависимость времени плавки изморози ( $r = 0,2$ ) от тока. Провод АС 100/24:

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

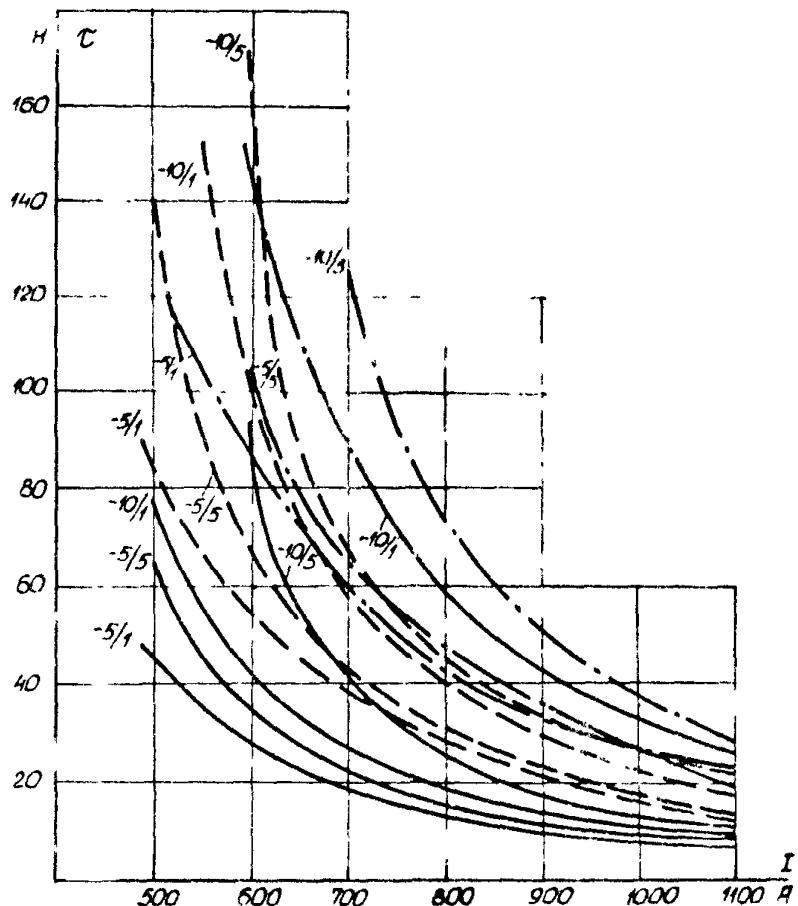


Рис. П2.46. Зависимость времени плавки гололеда  
( $f = 1/9$ ) от тока плавки. Цровод ЧС 185/29:

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

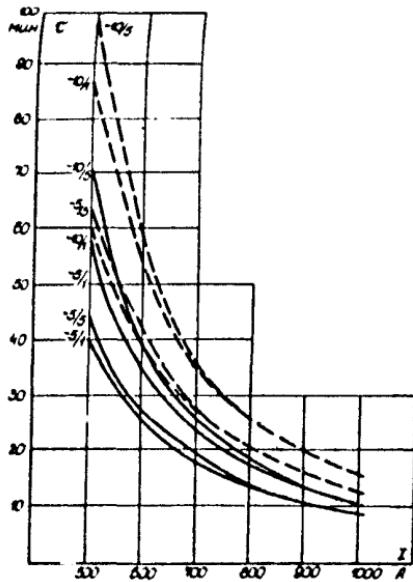


Рис.П2.47. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,5$ ) от тока плавки.  
Провод АС 185/29:

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

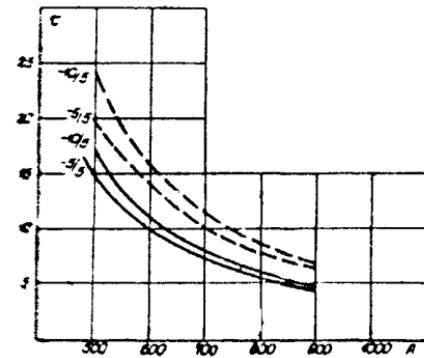


Рис.П2.48. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,2$ ) от тока плавки.  
Провод АС 185/29:

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

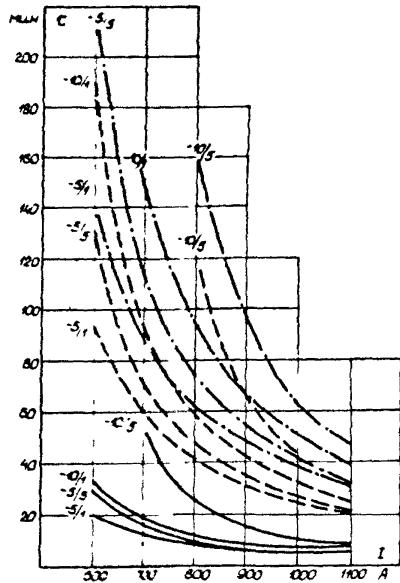


Рис.П2.49. Зависимость времени плавки гололеда ( $\gamma = \text{const}$ ) от тока. Провод АС 240/39:

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

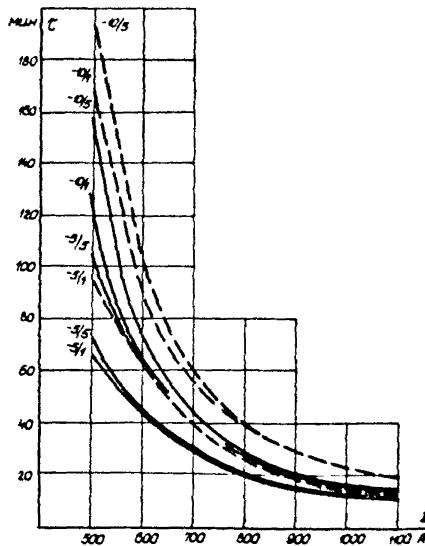


Рис.П2.50. Зависимость времени плавки изморози ( $\gamma = 0,5$ ) от тока. Провод АС 240/39:

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

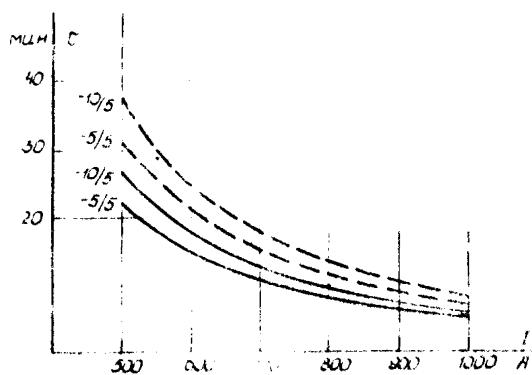


Рис.П2.51. Зависимость времени плавки изморози ( $\Gamma = 0,2$ ) от тока. Провод АС 240/30:

— диаметр изморозевой муфты 5 см;  
- - - диаметр изморозевой муфты 8 см

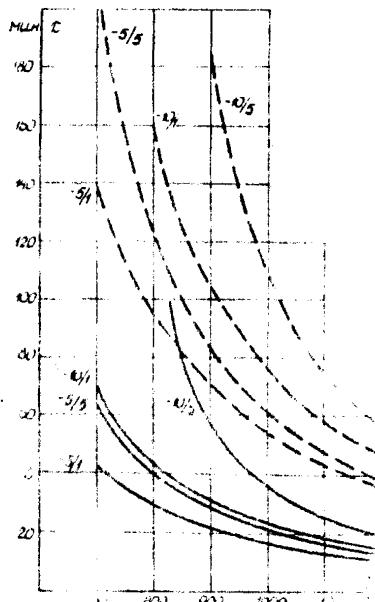


Рис.П2.52. Зависимость времени плавки гололеда от тока. Провод  
ЗИО/4б ( $\Gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$ ):

диаметр гололедовой муфты 5 см;  
диаметр гололедовой муфты 8 см

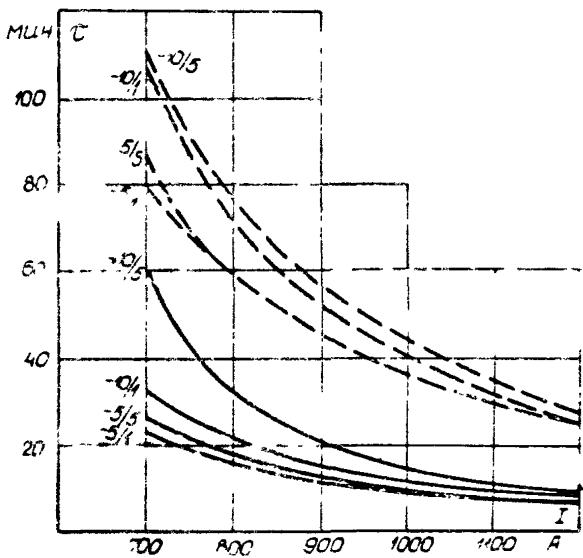


Рис. П2.53. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 ( $f = 0,5 \text{ г}/\text{см}^3$ ):  
 — диаметр изморозевой муфты 5 см;  
 - - диаметр изморозевой муфты 6 см;

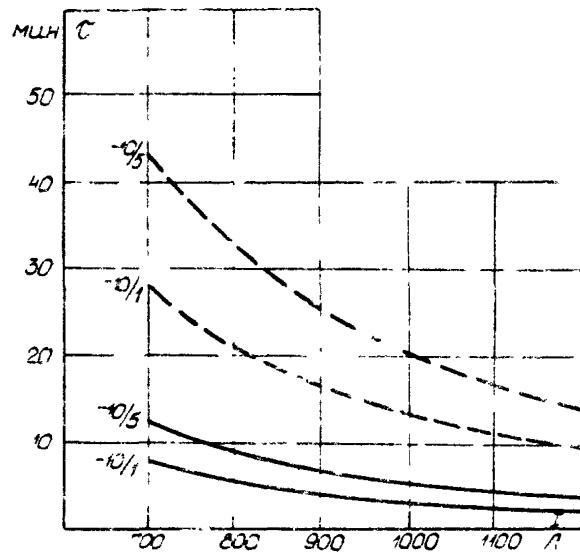


Рис. П2.54. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС 300/48 ( $f = 0,2 \text{ г}/\text{см}^3$ ):  
 — диаметр изморозевой муфты 5 см;  
 - - диаметр изморозевой муфты II см;

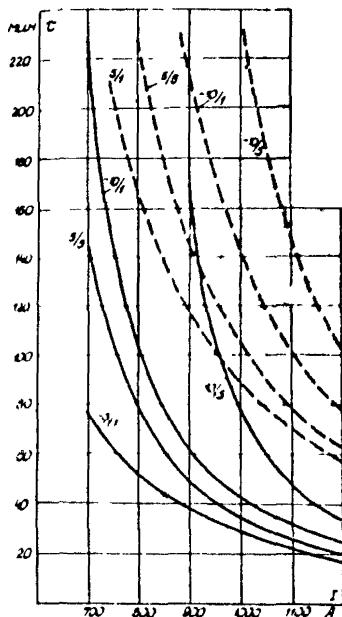


Рис.П2.55. Зависимость времени плавки гололеда от тока (провод АС 400/5И ( $r = 0,9 \text{ г}/\text{см}^3$ )):

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

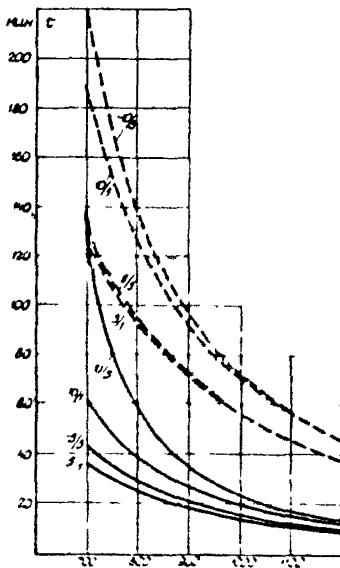


Рис.П2.56. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 400/5И ( $r = 0,5 \text{ г}/\text{см}^3$ )):

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

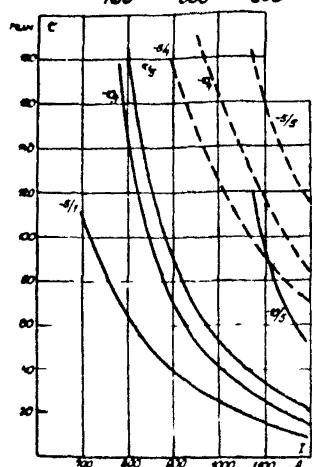
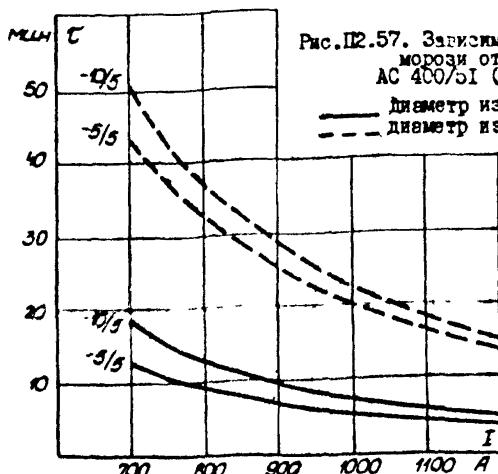
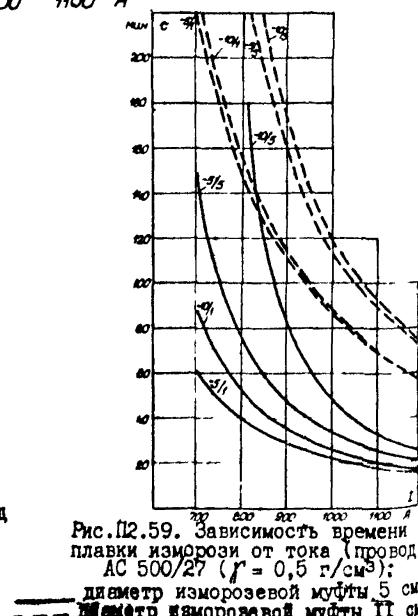


Рис. П2.58. Зависимость времени плавки гололеда от тока (провод АС 500/27 ( $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$ ))

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



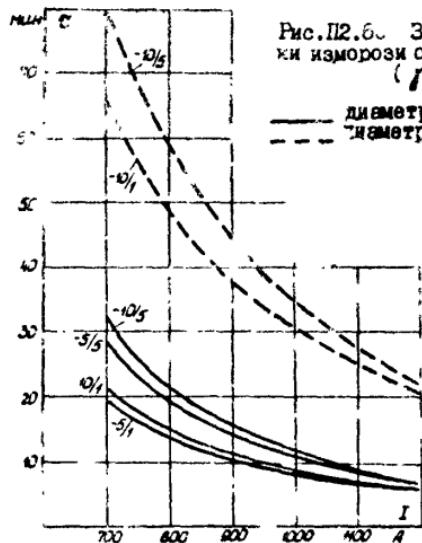


Рис.П2.6. Зависимость времени плавки изморози от тока (провод АС 500/27 ( $\gamma = 0,2 \text{ г/см}^3$ ):

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

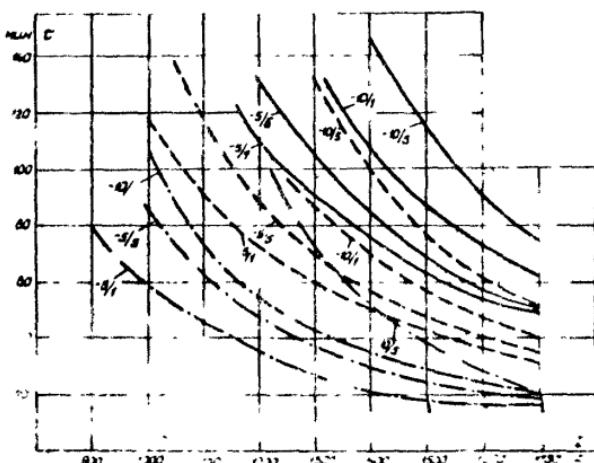


Рис.П2.6.1. Зависимость времени плавки гололеда от тока. Провод АС 600/72 ( $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$ ):

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

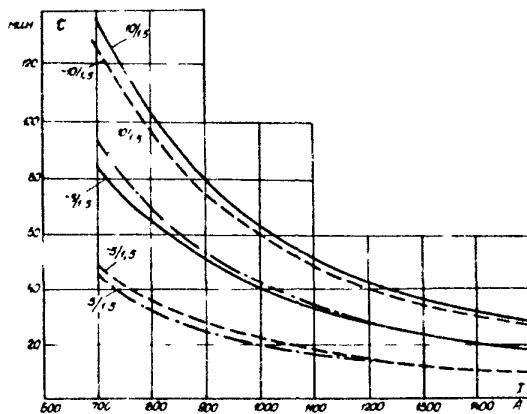


Рис.П2.62. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС0-600 ( $f = 0,5 \text{ г}/\text{см}^3$ ):

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

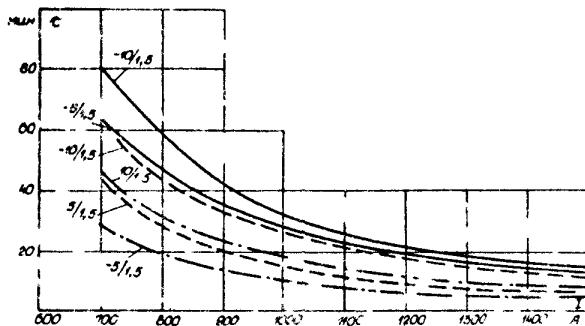


Рис.П2.63. Зависимость времени плавки изморози от тока. Провод АС0-600 ( $f = 0,2 \text{ г}/\text{см}^3$ ):

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

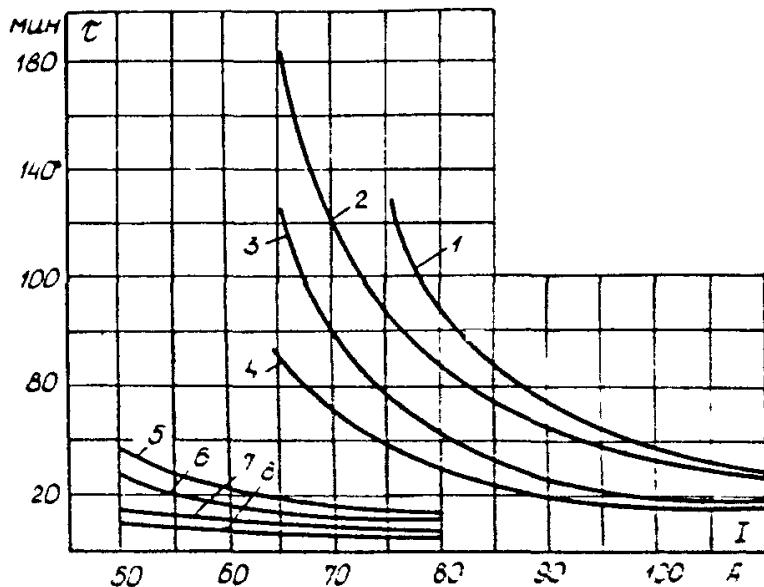


Рис.П2.64. Время и токи плавки гололеда при изморози на тросе сечением 35 мм

Кривая	Толщина отложения, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °C	Объемный вес отложений, г/см <sup>3</sup>
<u>1</u> <u>2</u>	2	<u>10</u> 5	-5 -5	0,9
<u>3</u> <u>4</u>	1	<u>10</u> 5	-5 -5	
<u>5</u> <u>6</u>	3	<u>10</u> 10	-10 -5	0,2
<u>7</u> <u>8</u>	1	<u>10</u> 10	-10 -5	

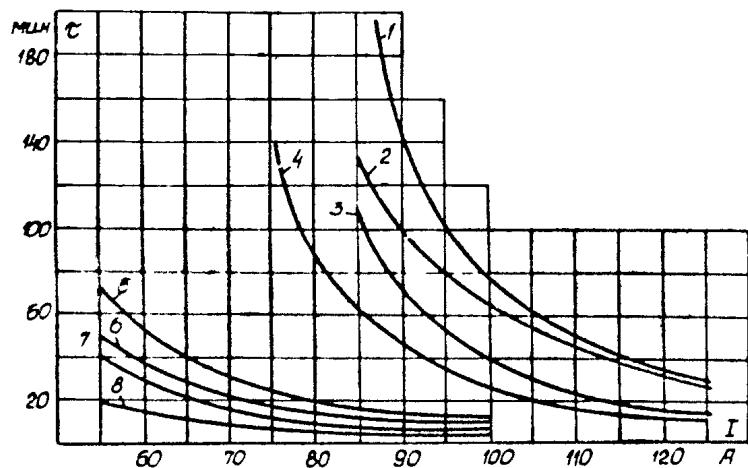


Рис.П2.65. Время и токи плавки гололеда и изморози  
из троса С-50

Кривая	Толщина отложений, см	Скорость ветра, м/с	Температура, °C	Объемный вес отложений, г/см <sup>3</sup>
1	2	10	-5	0,9
2		5	-5	
3	1	10	-5	0,9
4		5	-5	
5	3	10	-10	0,2
6		10	-5	
7	1	10	-10	0,2
8		10	-5	

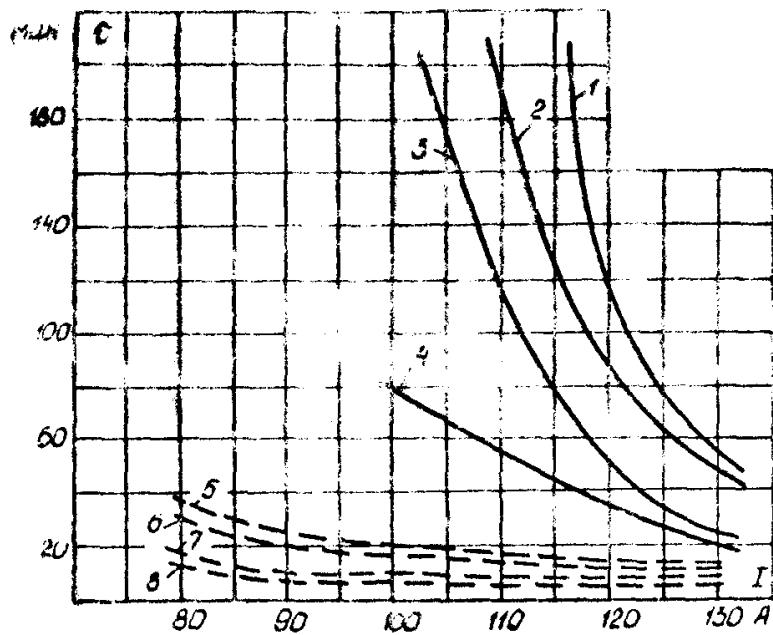


Рис. П2.66. Время и токи плавки гололеда и измороози на трассе С-70

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

Приложение 3

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА ПЛАВКИ В ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ КЗ

Для плавки гололеда на линиях, где ~~такие~~ КЗ превышают длительные допустимые по условию нагрева проводов, используется способ плавки с плавающими токами в повторно-кратковременном режиме, характеризуемом чередованием периода протекания тока (рабочий период) с бесстоковыми 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  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с табл. 4 настоящих Руководящих указаний.

При более высокой температуре воздуха и меньшей скорости ветра в качестве максимально допустимой принимается температура провода на  $10^{\circ}\text{C}$  ниже.

2. В соответствии с выбранной схемой определяется ток плавки.

3. По кривым рис.П.1-П.3.32 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

$$T = \frac{364\gamma d(b+0,265d)10^3 + 184\gamma(D^2-d^2)t + 2\pi r_n s(20+t)}{I^2 R_{20} - (0,09D+1,1\sqrt{ud})t_2},$$

где  $\gamma$  - объемный вес льда,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;  
 $d$  - диаметр провода без гололеда, см;  
 $b$  - толщина стечки гололеда, см;  
 $D$  - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;  
 $t$  - абсолютное значение температуры воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $s$  - теплопроводность 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);  
 $r_n$  - объемный вес материала провода,  $\text{г}/\text{см}^3$ ;

$S$  – сечение провода,  $\text{см}^2$ ;

$I$  – ток плавки,  $\text{A}$ ;

$R_{20}$  – сопротивление  $I$  м провода при температуре  $20^\circ\text{C}$ , Ом;

$U$  – скорость встра,  $\text{м/с}$ .

5. 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.

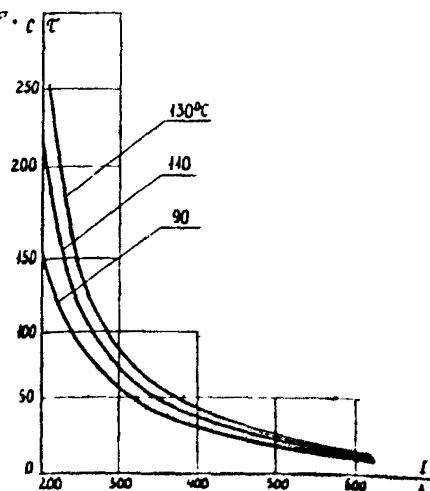
6. Бестоковая пауза для алюминиевых и стальноеалюминиевых проводов сечением 25 и  $35 \text{ mm}^2$  и для проводов ЛС-20 принимается рабочей 3 мин, сечением 50 и  $70 \text{ mm}^2$  и для проводов ЛС-35 – 4 мин, для проводов сечением  $95 \text{ mm}^2$  и более – 5 мин.

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 мусаты.

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



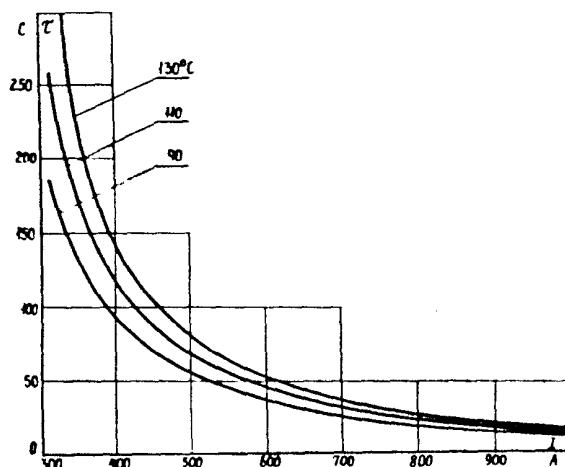


Рис.ПЗ.2. Зависимость нагрева провода  
АС 35/6,2 от режима плавки

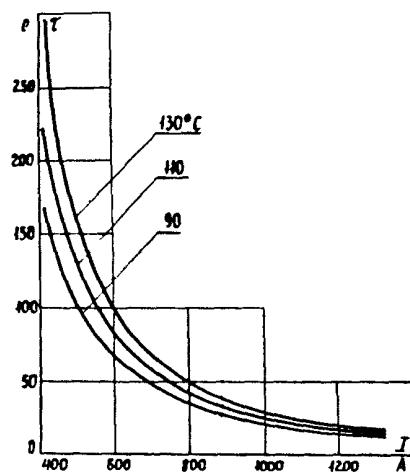


Рис.ПЗ.3. Зависимость нагрева провода  
АС 50/8,0 от режима плавки

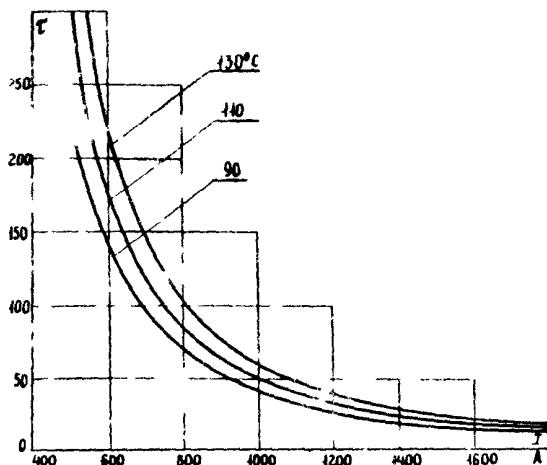


Рис. 13.4. Зависимость нагрева провода АС 70/II от режима плавки

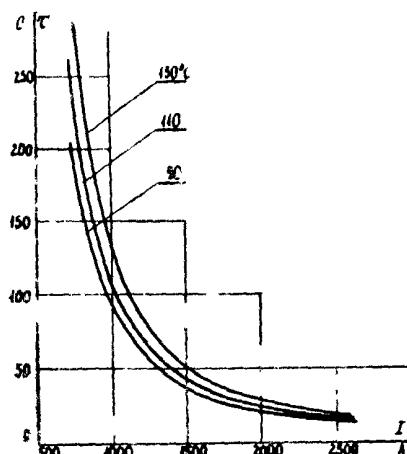


Рис. 13.5. Зависимость нагрева провода АС 95/II от режима плавки

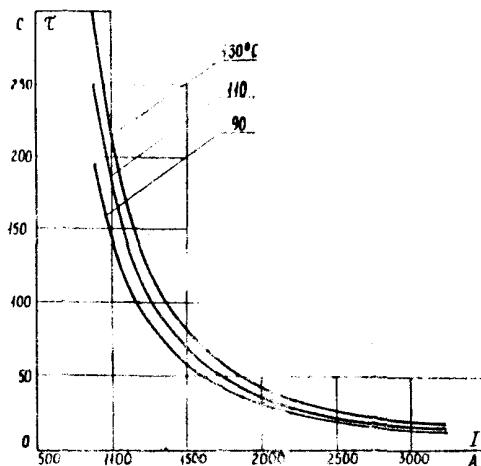


Рис.ПЗ.6. Зависимость нагрева провода АС 120/19 от режима плавки

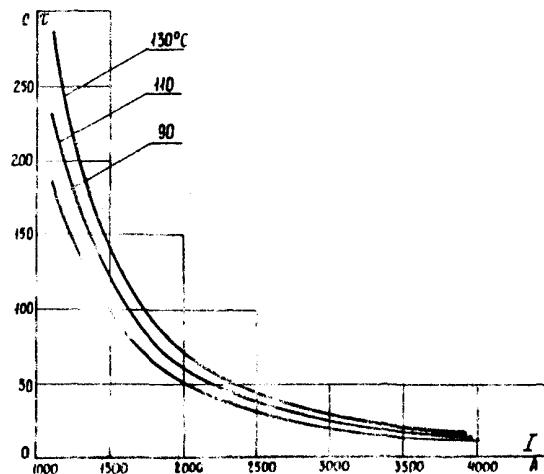


Рис.ПЗ.7. Зависимость нагрева провода АС 150/24 от режима плавки

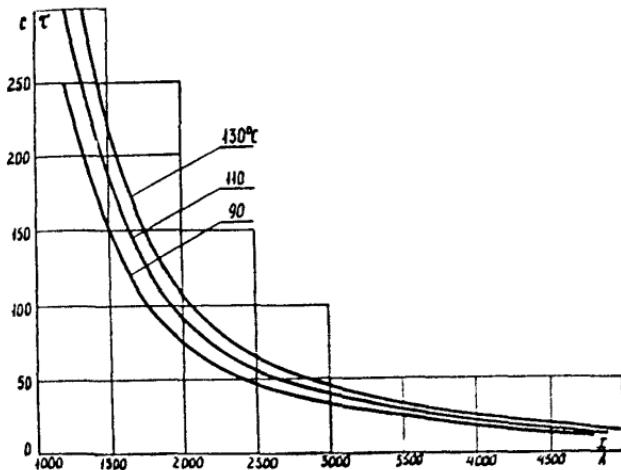


Рис.ПЗ.8. Зависимость нагрева провода АС 165/29 от режима плавки

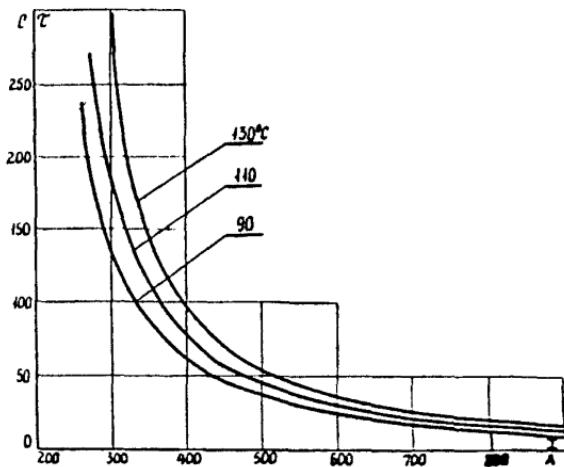


Рис.ПЗ.9. Зависимость нагрева провода А 35 от режима плавки

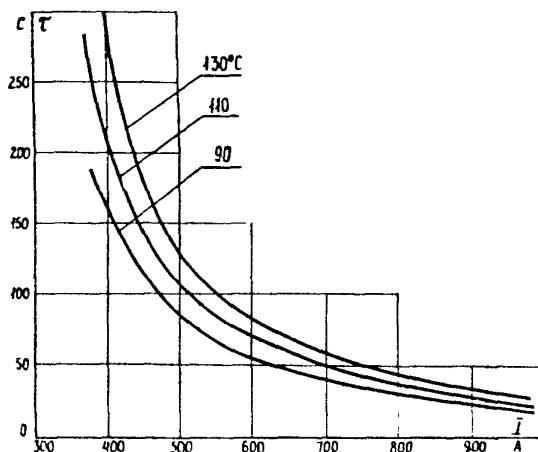


Рис.ПЗ.10. Зависимость нагрева провода А 50 от режима плавки

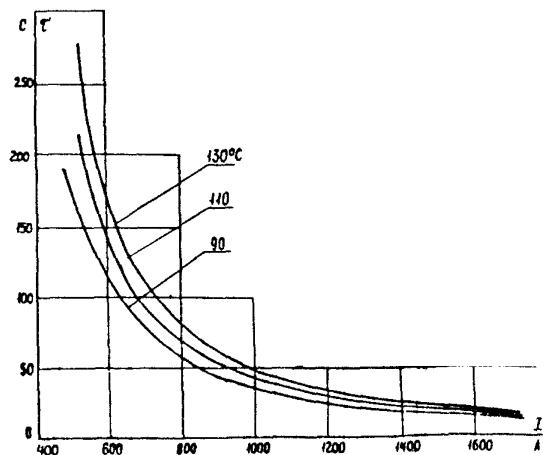


Рис.ПЗ.11. Зависимость нагрева провода А 70 от режима плавки

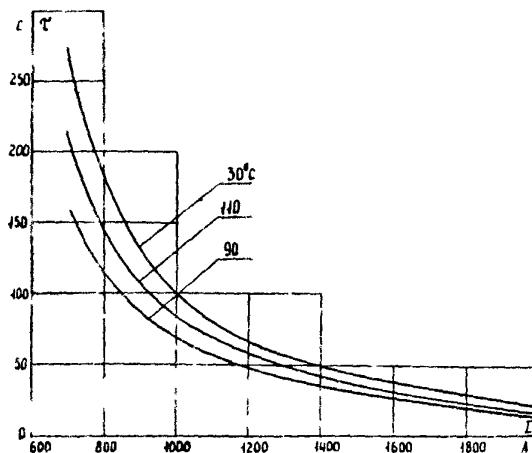


Рис.ПЗ.12. Зависимость нагрева провода А 95 от режима плавки

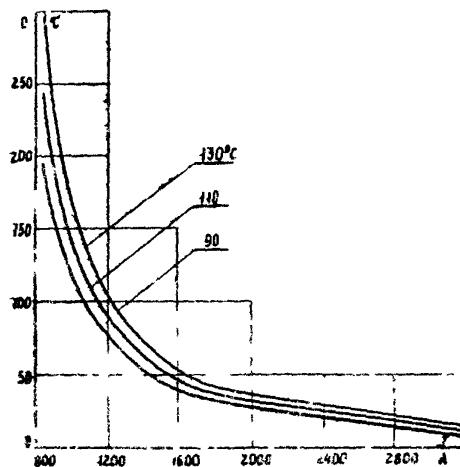


Рис.ПЗ.13. Зависимость нагрева провода А 120 от режима плавки

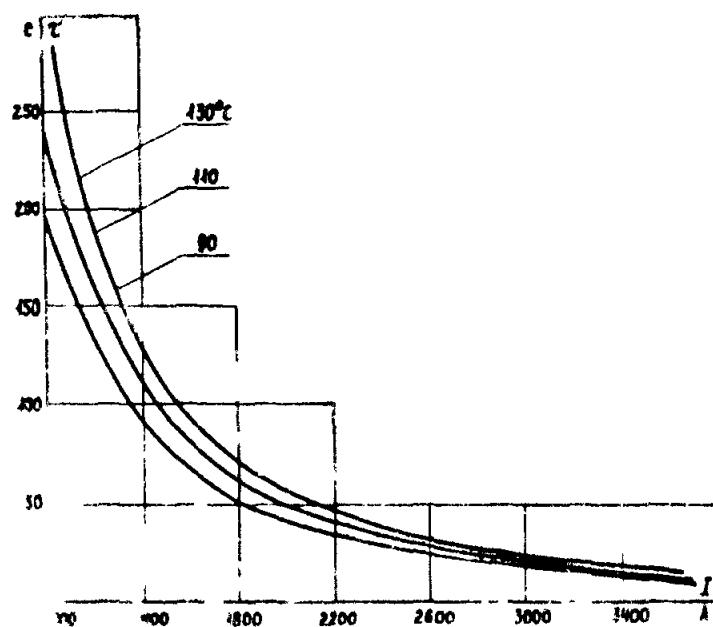


Рис.ПЗ.14. Зависимость нагрева провода А I50 от режима плавки

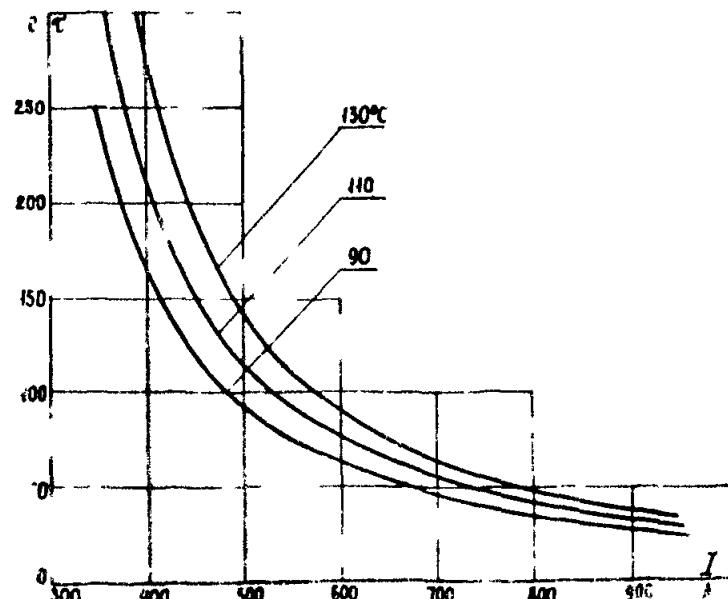


Рис.ПЗ.15. Зависимость нагрева провода М 35 от режима плавки

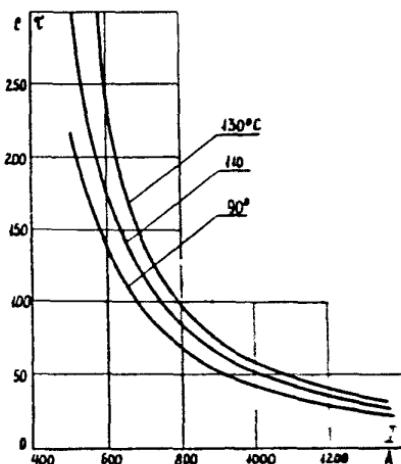


Рис.ПЗ.16. Зависимость нагрева провода М 150 от режима плавки

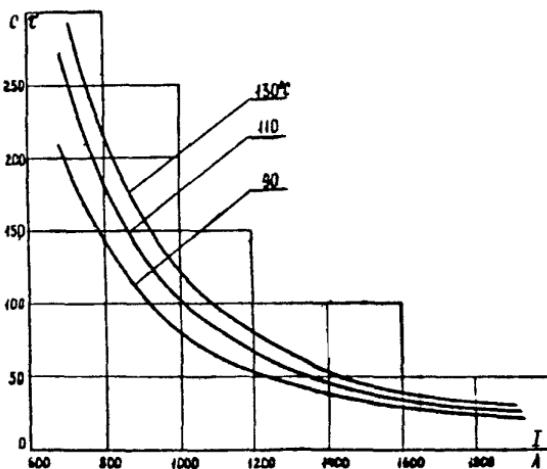


Рис.ПЗ.17. Зависимость нагрева провода М 70 от режима плавки

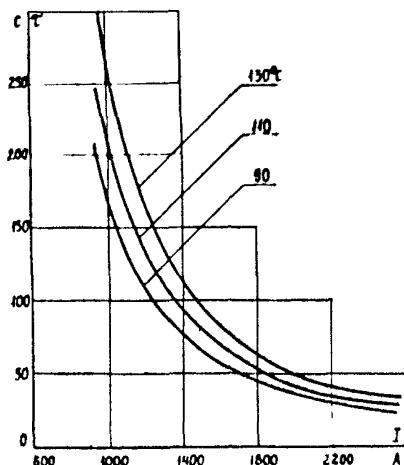


Рис.ПЗ.18. Зависимость нагрева провода М 95 от режима плавки

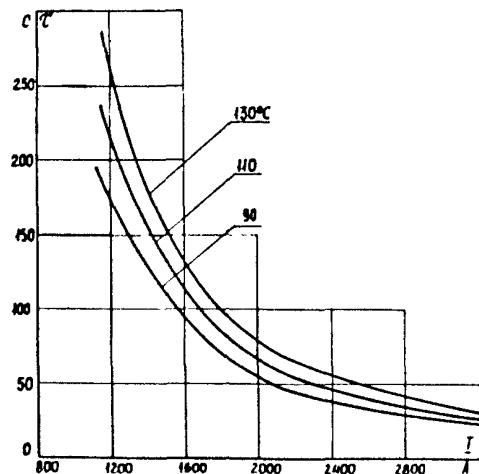


Рис.ПЗ.19. Зависимость нагрева провода М 120 от режима плавки

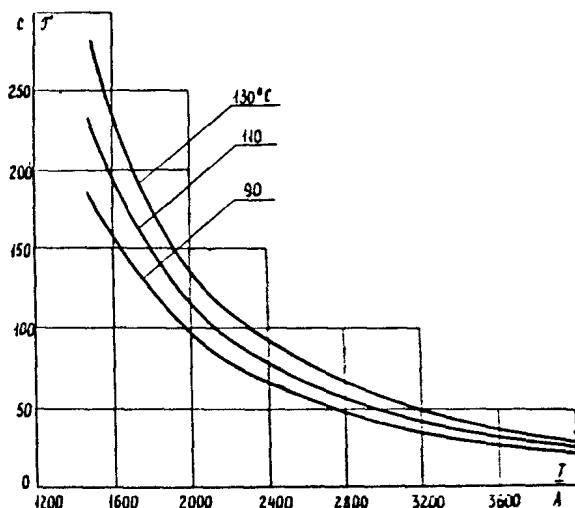


Рис.ПЗ.20. Зависимость нагрева провода М 100 от режима плавки

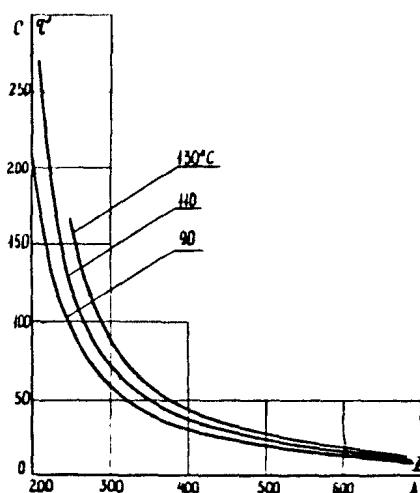


Рис.ПЗ.21. Зависимость нагрева провода AH 25 от режима плавки

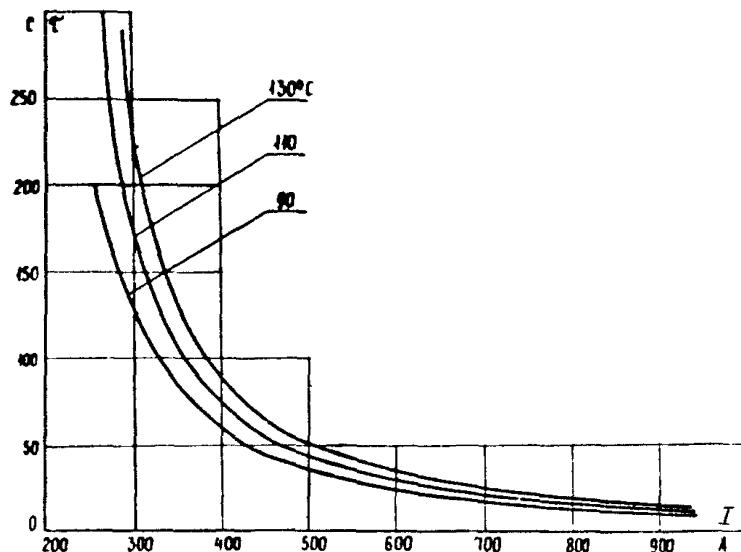


Рис.ПЗ.22. Зависимость нагрева провода АН 35 от режима плавки

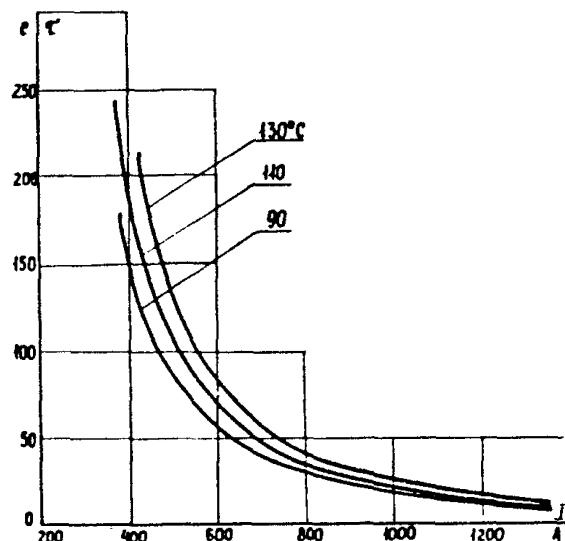


Рис.ПЗ.23. Зависимость нагрева провода АН 50 от режима плавки

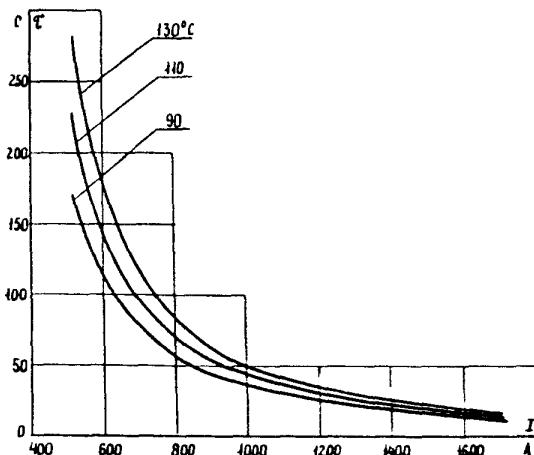


Рис.ПЗ.24. Зависимость нагрева провода АН 70 от режима плавки

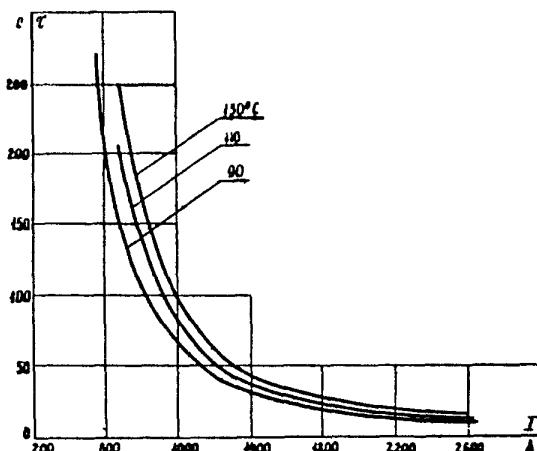


Рис.ПЗ.25. Зависимость нагрева провода АН 95 от режима плавки

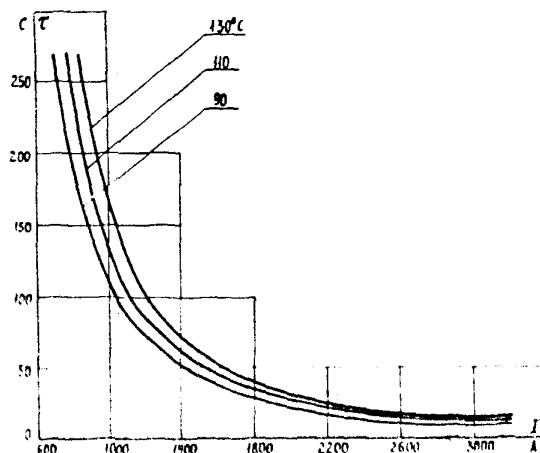


Рис.ПЗ.26. Зависимость нагрева провода Al 120 от режима плавки

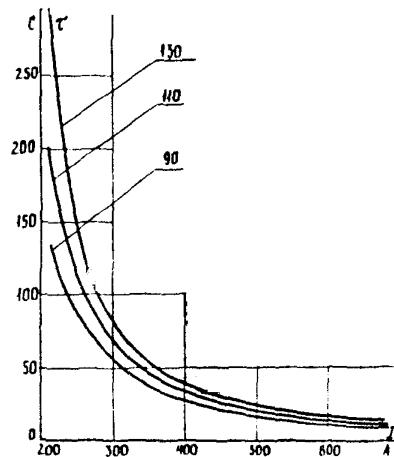


Рис.ПЗ.27. Зависимость нагрева провода AJ 25 от режима плавки

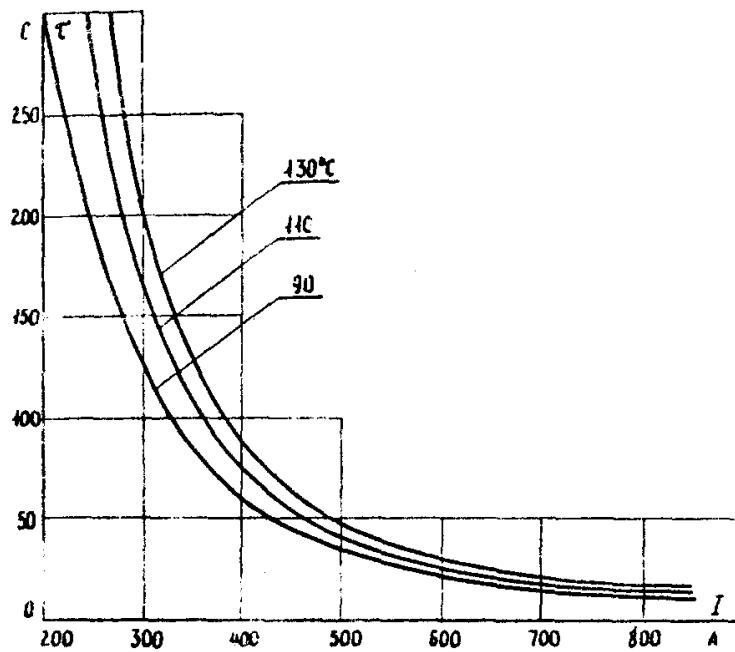


Рис.ПЗ.28. Зависимость нагрева просаода АЖ 30 от режима плавки

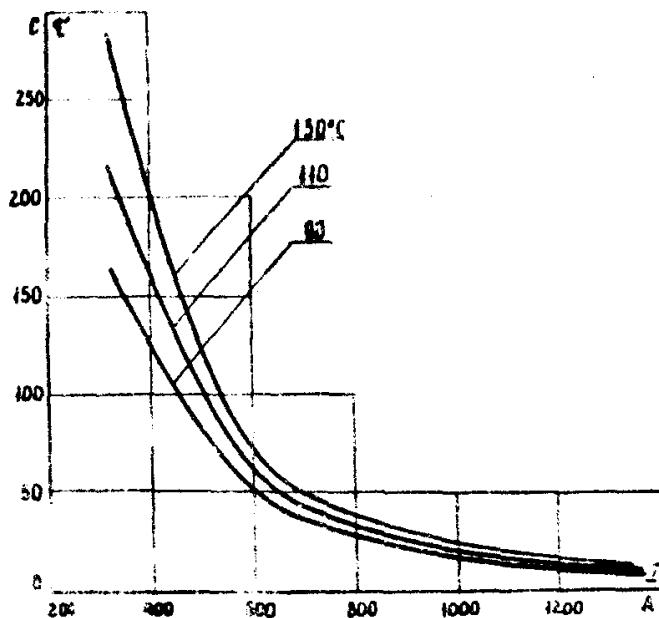


Рис.ПЗ.29. Зависимость нагрева провода  
АЖ 50 от режима плавки

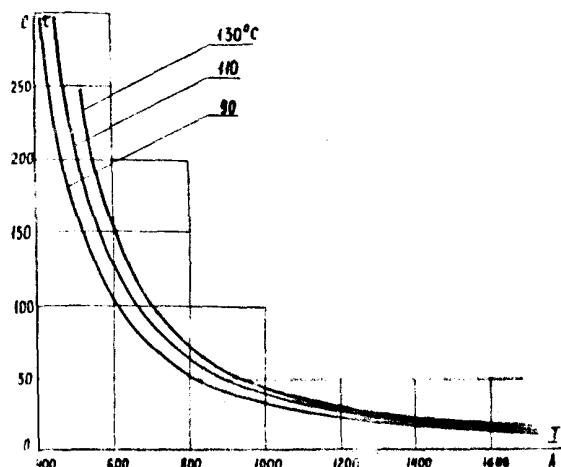


Рис.ПЗ.30. Зависимость нагрева провода АЖ от режима плавки

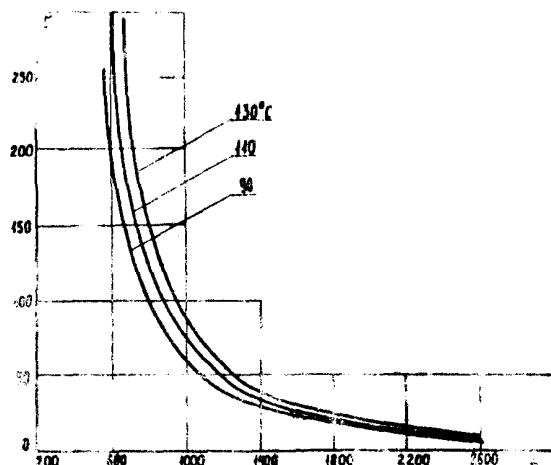


Рис.ПЗ Зависимость нагрева провода АЖ К от режима плавки

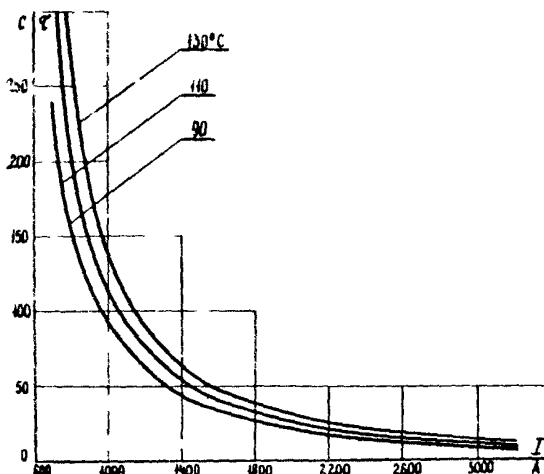
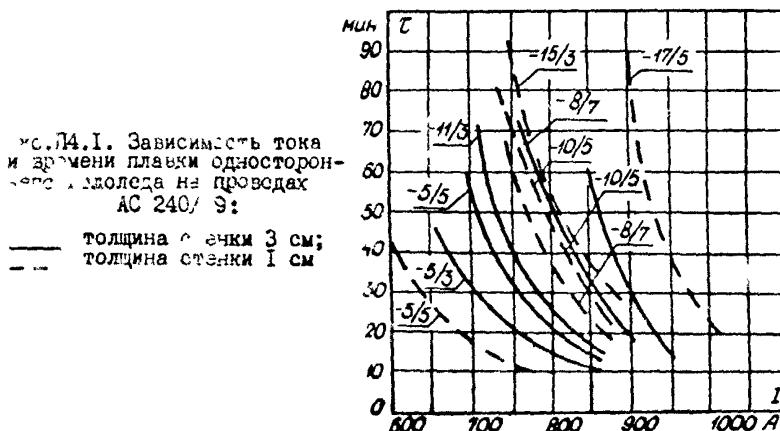


Рис.П3.32. Зависимость нагрева провода АЖ 120 от режима плавки

#### Приложение 4

##### ЗАВИСИМОСТЬ ТОКА И ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ОДНОСТОРОННЕГО ГОЛОЛЕДА

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



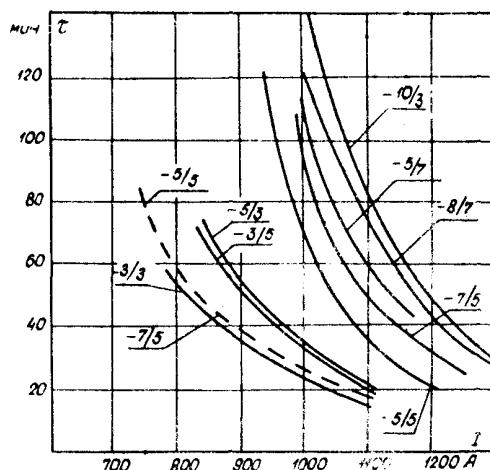


Рис. П4.2. Зависимость тока и времени плавки  
одностороннего гололеда на проводах АС 500/27:  
— односторонний гололед с толщиной стенки  
3 см;  
- - - односторонний гололед с толщиной покры-  
тий снегом

#### Приложение

ЗАВИСИМОСТИ ТОКА В ПРОВОДАХ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ  
ОБРАЗОВАНИЮ ГОЛОЛЕДА

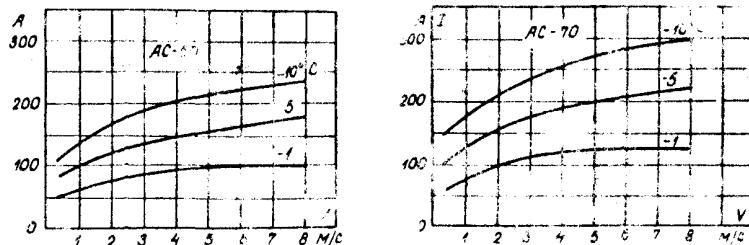


Рис.П5.1. Токи в проводах АС 50/8,0 и АС 70/II, препятст-  
вующие образованию гололеда

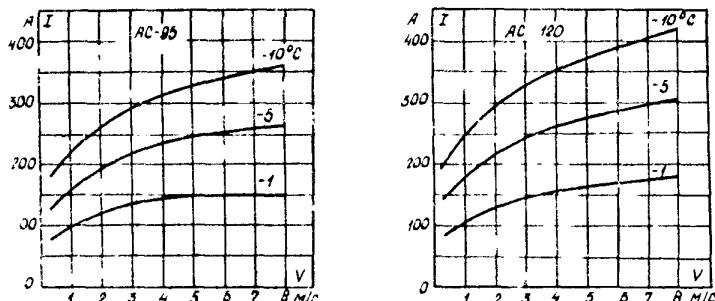


Рис.ПБ.2. Токи в проводах АС 95/16 и АС 120/19, препятствующие образованию гололеда

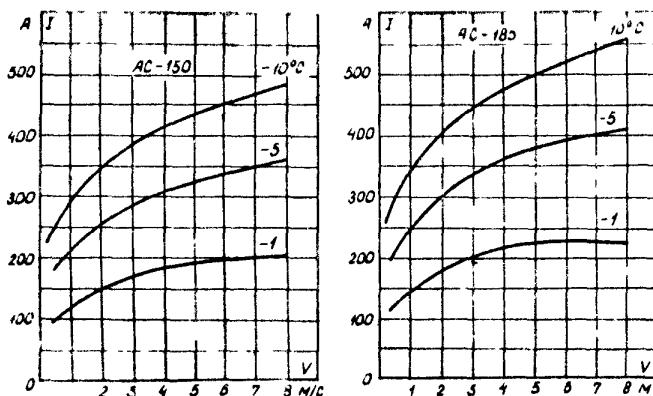


Рис.ПБ.3. Токи в проводах АС 150/24 и АС 185/29, препятствующие образованию гололеда

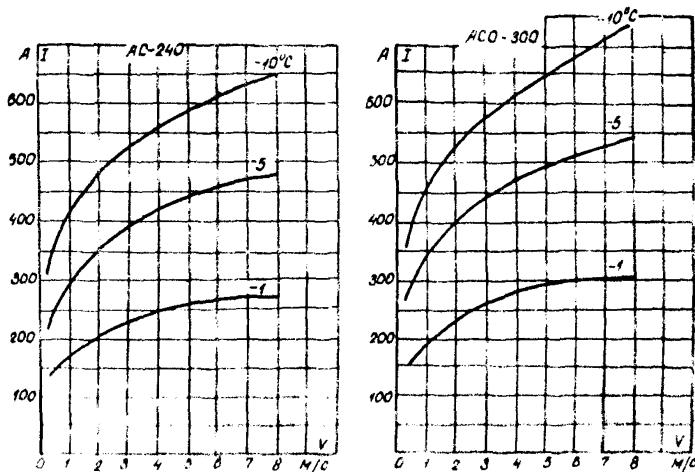


Рис.ПБ.4. Токи в проводах АС 240/39 и АС 300/48, препятствующие образованию гололеда

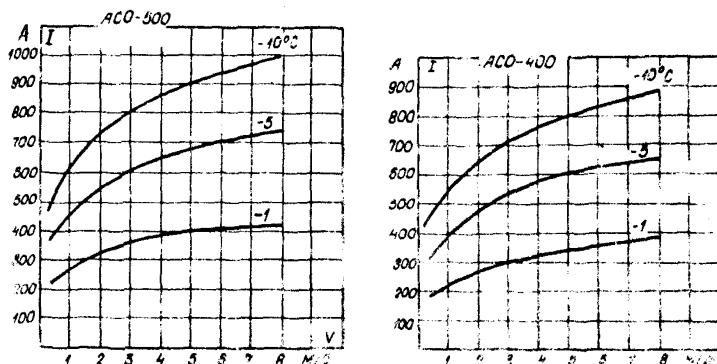


Рис.ПБ.5. Токи в проводах АС 400/51 и АС 500/27, препятствующие образованию гололеда.

## Приложение б

# СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПЛАВКОЙ ГОЛОЛЕДА ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

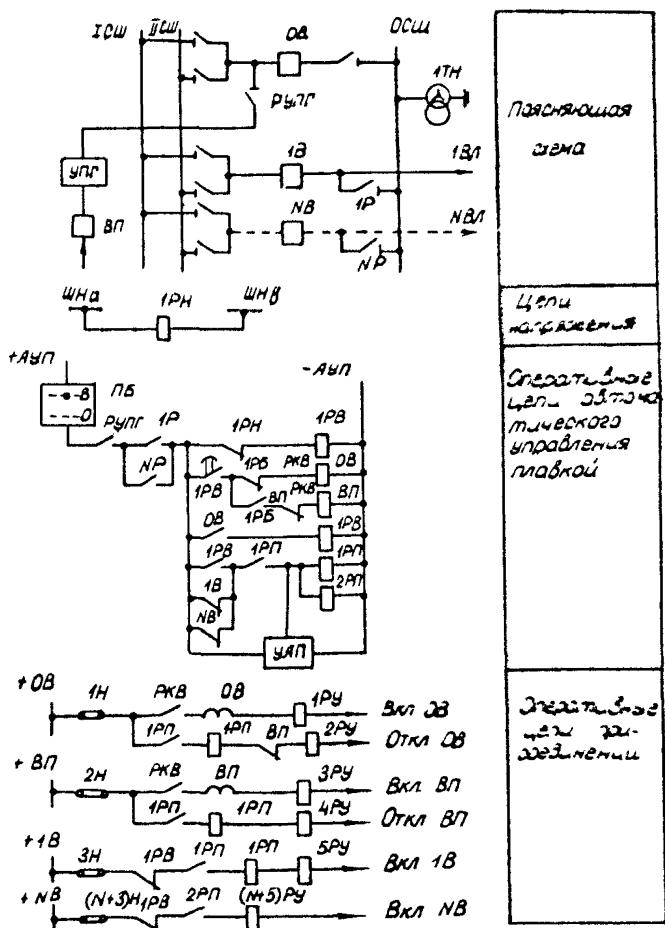


Рис. П6.1. Схема автоматического управления плавкой на подстанции с УП

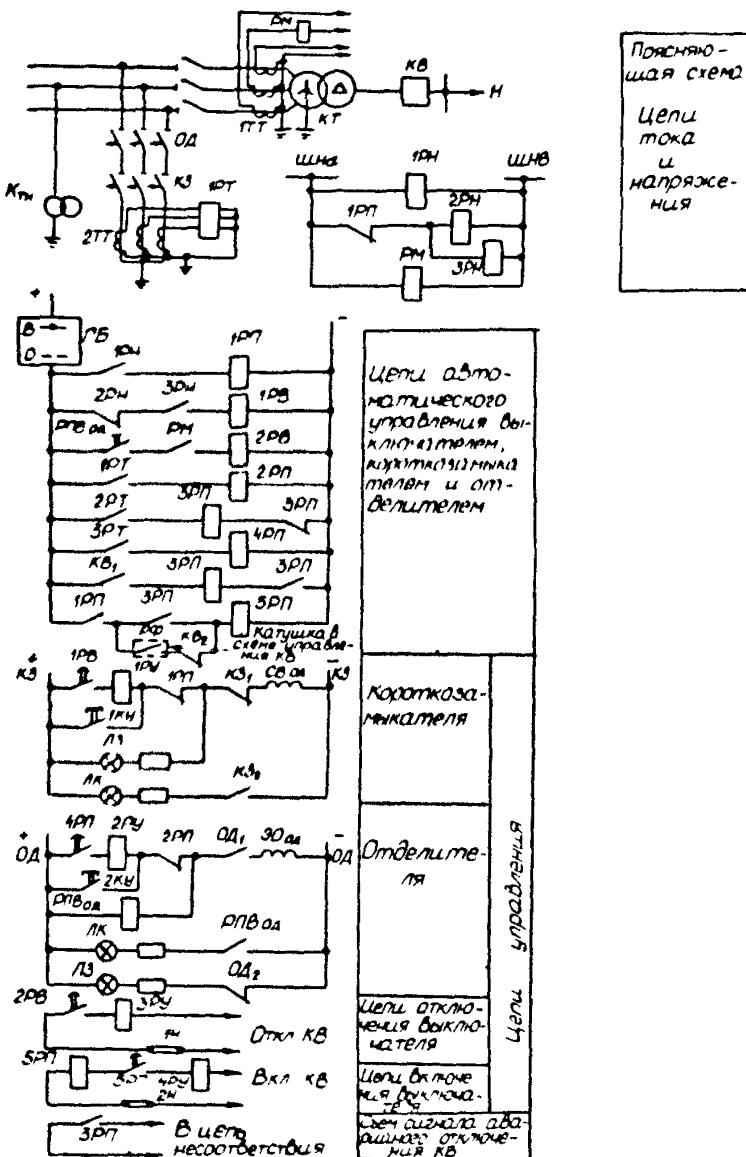


Рис.Пб.2. Схема автоматики оконечной подстанции при плавке гололеда переменным током

Приложение 7

СХЕМЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ ПРИ ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА  
ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

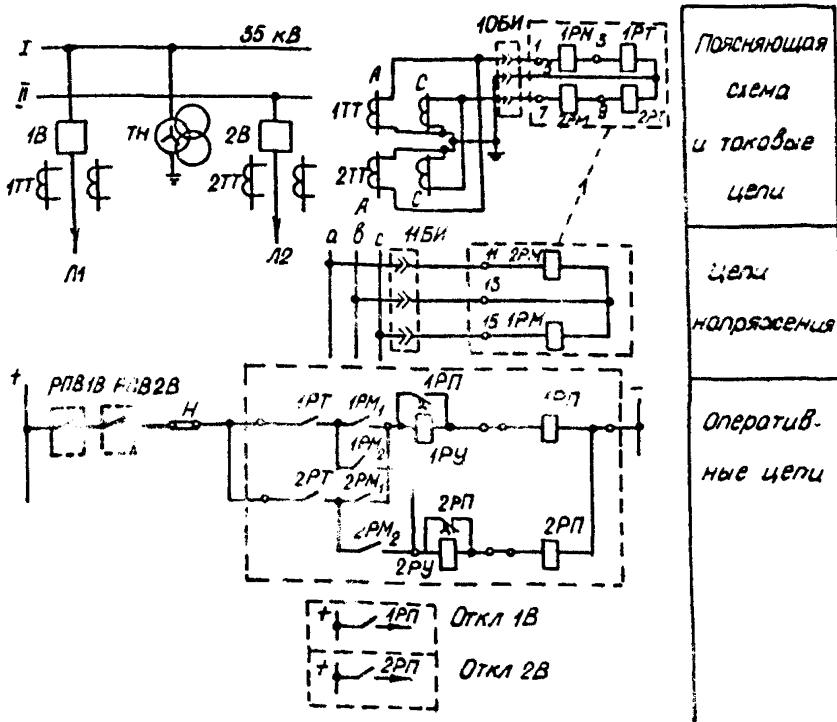
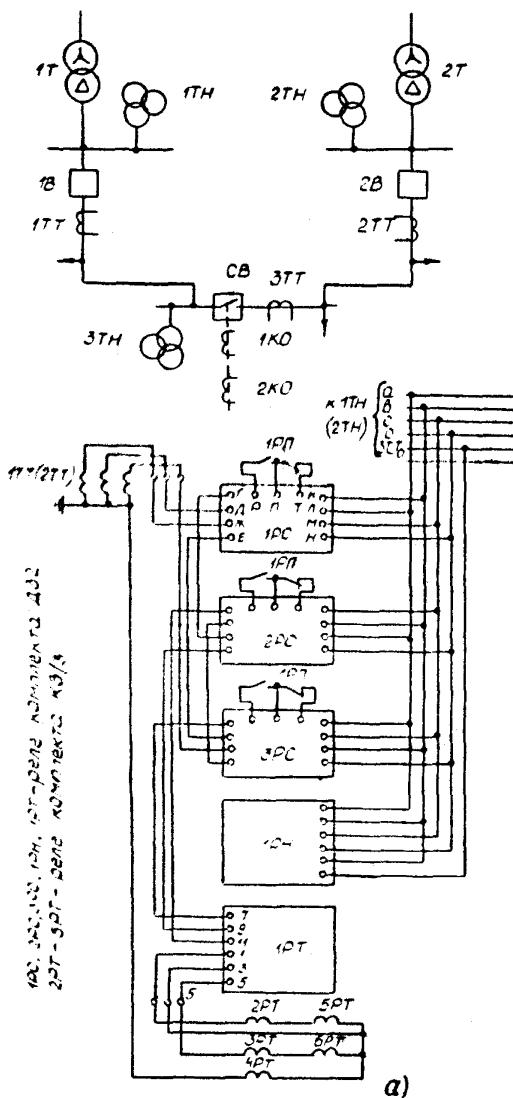


Рис. III.1. Схема защиты кольцевой линии 35 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на  $\pi/3$ , размещенных на одной подстанции:

1РТ, 2РТ - звено реле РТ4С; 1РМ, 2РМ - реле мощности РБ/1271; 1РУ, 2РУ - промежуточное реле РП 261 (220 В); 1СЕ, 2СЕ - указательное реле РУ21/-С,025 (0,25 А); МБИ - испытательный блок Б.-4; ■ - отключающее устройство ИКР2



Двухступенчатая напорная  
дистанционная защита

Блокировка с  
аборта  
цепей напор-  
жечения  
Трехфазное  
реле  
тока

Двухступен-  
чатая токовая  
защита и реле  
нулевой после-  
довательности

a)

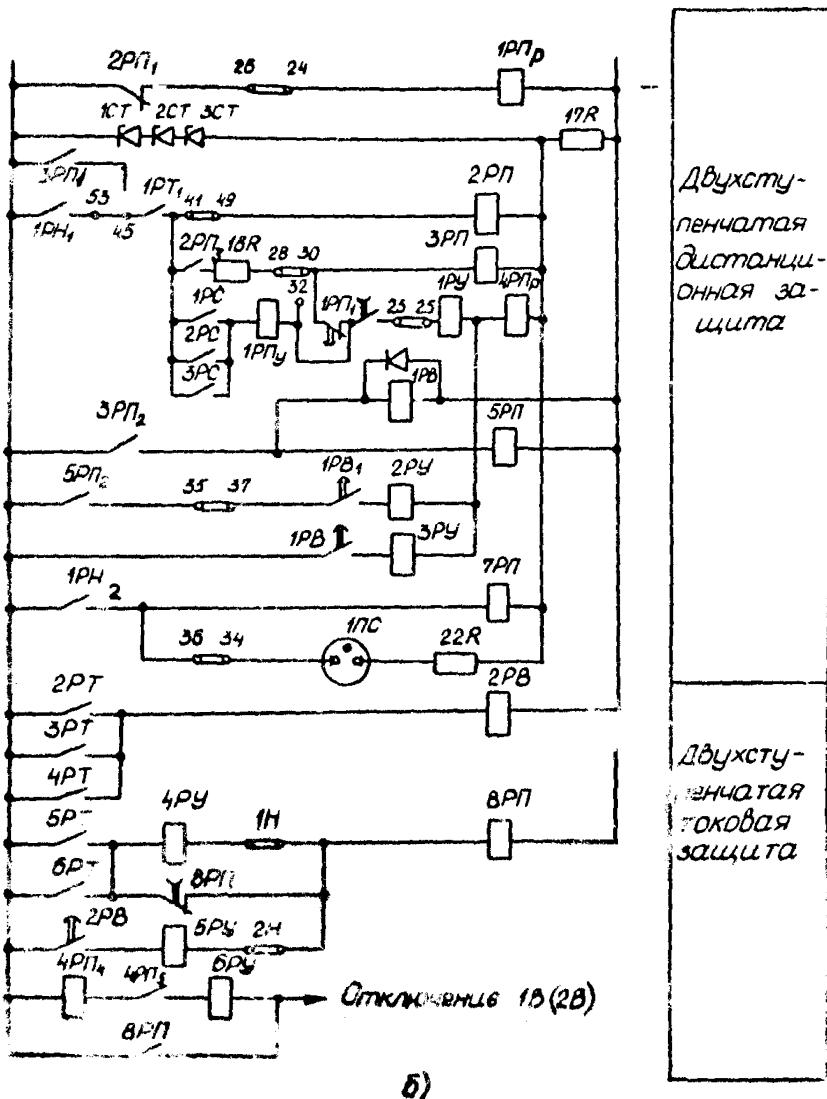


Рис. II.7.2. Схема защиты кольцевой линии 30 кВ при плавке гололеда переменным током от источников, сдвинутых по фазе на  $\frac{2\pi}{3}$ :  
поясняющая схема, цепи тока и напряжения;  $\delta$  - оперативные цепи

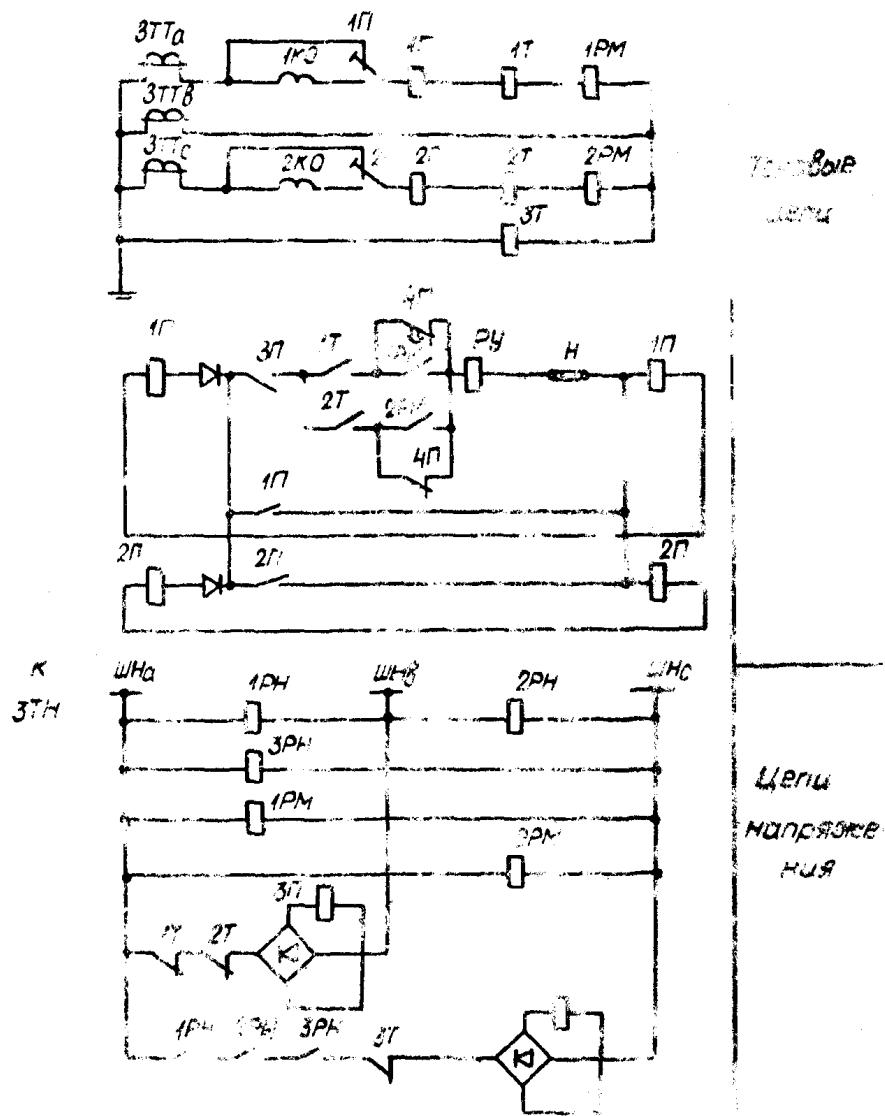


Рис.П.3. Схема направленной токовой защиты в зоне действия на токометре по селекционирующему выключателю горячего резервного звена, перенаправляющим током на колышевую МЛ-10-35 км.

1T, 2T, 3T - реле тока Т-40; 1Р, 2Р, 3Р - реле напряжения РМ, 2РМ в зоне мощности РСМ-275/1; 1Н, 2Н - реле амперметра РМ341; НУ, НУЯ - реле РН263; РУ - реле указательное РУ227.

**Ответственный редактор Р.П.Васнева**

**Технический редактор Б.И.Полякова  
Корректор Н.А.Тихоновская**

---

Подписано к печати 06.06.83

Цен.л. 7,25 (усл.-печ.л.6,74) Уч.-изд.л. 7,0

Заказ № 165/03 Издат. № 262/82

Формат 60x84 1/16

Тираж 1600 экз.

Цена 1 руб.05 коп.

---

Производственная служба передового опыта и информации Сосзтехэнерго  
166023, Москва, Семёновский пер., д.10

Участок оперативной полиграфии СПК Сосзтехэнерго  
117292, Москва, ул.Ивана Бабушкина, д.23, корп.2