Руководящие указания по плавке гололеда на ВЛ напряжением до 20 кВ, проходящих в сельской местности

СО 153-34.20.512

Москва
Центр производственно-технической информации энергопредприятий и технического обучения ОРГРЭС

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНИИПРОЕКТ

РЕШЕНИЕ №Э-20/72

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 20кВ, ПРОХОДЯЩИХ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

СЦНТИ
ОРГРЭС

МОСКВА 1974

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНИИПРОЕКТ

РЕШЕНИЕ №Э-20/72

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 20кВ, ПРОХОДЯЩИХ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

МОСКВА 1974

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель министра энергетики
и электрификации СССР
В.БУДЕННЫЙ
4 ноября 1972 г.

РЕШЕНИЕ № Э-20/72
ГЛАВНИИПРОЕКТА И ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЯ МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

по работе ВНИИЭ, УО Сельэнергопроекта и РЭУ Башкирэнерго "Руководящие указания по плавке гололеда на ВЛ напряжением до 20 кВ, проходящих в сельской местности"

Главниипроект и Главтехуправление, совместно рассмотрев представленную работу, приняли решение:

1. Утвердить "Руководящие указания по плавке гололеда на ВЛ напряжением до 20 кВ, проходящих в сельской местности".

2. Проектным и эксплуатирующим организациям руководствоваться настоящими Руководящими указаниями с учетом следующего: при проектировании ВЛ напряжением 6-20 кВ от подстанций 35-110 кВ, оборудованных устройствами плавки гололеда на проводах ВЛ, толщина стенки гололеда должна приниматься на одну ступень ниже нормативной, но не менее 15 мм; уменьшение толщины стенки гололеда должно приниматься независимо от предусмотренной проектом организации плавки гололеда - без отключения потребителей или с отключением в пределах согласованного с потребителями времени перерыва электроснабжения.

Начальник Главтехуправления Л.ТРУБИЦЫН

Начальник Главниипроекта А.ТРОИЦКИЙ

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВТЕХУПРАВЛЕНИЕ ГЛАВНИИПРОЕКТ

РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 20 кВ, ПРОХОДЯЩИХ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

УДК 621.315.175(083.56)

Составлено
Всесоюзным научно-исследовательским институтом электроэнергетики,
Всесоюзным государственным проектно-изыскательским
и научно-исследовательским институтом "Сельэнергопроект"
(Украинское отделение) и районным энергетическим
управлением Башкирэнерго

А в т о р ы доктор техн.наук В.В.БУРГСДОРФ, инж.Л.Г.НИКИТИНА
(ВНИИЭ),
кандидаты техн.наук Д.В.ХОЛМСКИЙ, М.Л.ЛАНДА,
инженеры В.Б.НАРОЖНЫЙ, И.И.ЧЕРНАЯ
(УО Сельэнергопроекта)

Канд.техн.наук Ф.Х. УСМАНОВ,
инженеры В.А.МАКСИМОВ, А.А.СУНЦОВ, А.Л.ЛИВШИЦ
(РЭУ Башкирэнерго)

Р е д а к т о р инж.З.Ф.ЗЯБКИНА

I. Основные методические указания по плавке гололеда[1] содержатся в "Руководящих указаниях по плавке гололеда на воздушных линиях электропередачи" (СЦНТИ ОРГРЭС, 1969). Настоящие Руководящие указания отражают характерные особенности плавки гололеда на ВЛ напряжением до 20 кВ, проходящих в сельской местности.

2. Отложения гололеда представляют большую опасность для нормальной эксплуатации ВЛ.

Образование гололеда может вызвать:

а) разрегулирование проводов, их сближение и замыкание;

б) интенсивную пляску проводов, вызывающую их короткие замыкания, ожоги проводов и, как следствие, их обрывы, а в некоторых случаях повреждение креплений;

в) перегрузку и обрывы проводов;

г) разрушение опор в результате обрыва проводов, когда возникающие неуравновешенные тяжения на опоры от оставшихся целыми проводов значительно превышают расчетные;

д) разрушение опор в результате совместного воздействия гололеда и сильного ветра, направленного под углом 60-90° к ВЛ.

Учитывая чрезвычайно тяжелый характер гололедных аварий и большой ущерб, наносимый ими народному хозяйству из-за аварийного недоотпуска электроэнергии и затрат на восстановление нормального электроснабжения, необходимо принимать меры по предотвращению гололедных аварий путем своевременной плавки гололеда на проводах ВЛ электрическим током.

3. Плавка гололеда является эффективным способом предупреждения гололедных аварий на ВЛ. Плавка позволяет в короткий срок

---

[1] Здесь и далее под гололедом подразумеваются все виды обледенения проводов ВЛ.

удалить гололед на десятках километров линий, предупредить опасную перегрузку, обрывы и сближение проводов, разрушение опор и ликвидировать пляску проводов.

4. При проектировании ВЛ 6-20 кВ плавку гололеда следует предусматривать для районов, в которых принята нормативная толщина стенки гололеда 20мм и более,а также для районов,в которых возможна частая и интенсивная пляска проводов.Для районов,в которых нормативная толщина стенки гололеда принята менее 20 мм, вопрос об организации плавки гололеда должен решаться на основе технико-экономического расчета целесообразности ее применения.

5. Для своевременного предупреждения диспетчера сетевого предприятия об образовании на ВЛ опасных гололедных отложений необходимо вести специальные наблюдения на линиях или специально смонтированных гололедных постах.

6. Плавку гололеда следует начинать с таким расчетом, чтобы при продолжающемся гололедообразовании она была успешно завершена на всех линиях, взаимосвязанных по режиму плавки. Очередность плавки определяется важностью потребителей, технологичностью организации плавки и наличием резервного питания.

7. На линиях, на которых предусматривается плавка гололеда, необходимо произвести перед гололедным сезоном тщательный осмотр и опробование всех элементов электрической схемы плавки и принять меры, обеспечивающие нормальную их работу в режиме плавки.

8. Для успешной плавки необходимо заранее проработать последовательность всех операций по проведению плавки и составить технологические карты плавок гололеда.

Пример технологической карты плавки гололеда приведен в приложении I. Как правило, для сборки и разборки схемы плавки следует использовать коммутационные аппараты по возможности с дистанционным управлением. Применение шлейфов, накладок, закороток не рекомендуется. В случае необходимости их применения должны быть приняты меры для удобной и быстрой их установки.

9. Плавка гололеда может производиться способом трехфазного к.з. при использовании номинального напряжения сети в длительном или повторно-кратковременном режиме к.з.

Способ трехфазного к.з. применяется также и при использовании пониженного напряжения (обычно с использованием передвиж-

ных трансформаторов).

Для плавки гололеда может использоваться и способ двухфазного к.з. при номинальном напряжении сети в длительном режиме к.з.

Кроме того, на линиях с двусторонним питанием для плавки гололеда может быть применено встречное включение фаз.

IO. Ток плавки гололеда определяется по следующим формулам.

а) при способе трехфазного к.з.:

$$I^{(3)} = \frac{U_{ном} \cdot 10^3}{\sqrt{3}(Z_C + Z_T + Z_Л)}, \qquad (I)$$

где $U_{ном}$ - напряжение линии, на которой производится плавка гололеда, кВ;

Z_C - сопротивление системы на шинах 35 кВ питающего трансформатора, приведенное к напряжению цепи плавки, Ом;

$Z_T = X_T = \frac{U_K U^2_{ном}}{100 \cdot W_{ном}}$ - сопротивление питающего трансформатора, приведенное к напряжению цепи плавки, Ом;

$Z_Л$ - сопротивление обогреваемой линии 6-20 кВ от питающего трансформатора до места установки закоротки, Ом;

U_K - напряжение к.з. питающего трансформатора, %;

$W_{ном}$ - номинальная мощность питающего трансформатора, тыс.кВА;

б) при способе двухфазного к.з.:

$$I^{(2)} = \frac{U_{ном} \cdot 10^3}{2(Z_C + Z_T + Z_Л)}; \qquad (2)$$

в) при способе встречного включения фаз с угловым сдвигом δ (эл.градусов):

$$I^{(\delta)} = \frac{2U_{ном} \cos\frac{\delta}{2}}{Z_{C1} + Z_{C2} + Z_{T1} + Z_{T2} + Z_Л}, \qquad (3)$$

где Z_{C1} и Z_{T1} - сопротивления системы и трансформатора одной из питающих подстанций, Ом;

Z_{C2} и Z_{T2} - то же другой подстанции, Ом.

II. Способ трехфазного к.з. при номинальном напряжении сети (рис.I) является наиболее простым и распространенным и применяется на магистральных участках сети и ответвлениях, если получаемые токи к.з. достаточны для плавки гололеда.

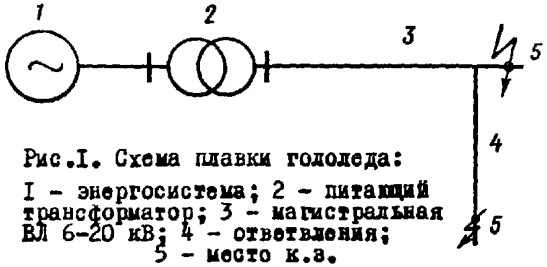


Рис.I. Схема плавки гололеда:
I - энергосистема; 2 - питающий трансформатор; 3 - магистральная ВЛ 6-20 кВ; 4 - ответвления; 5 - место к.з.

I2. Для плавки гололеда на магистральных линиях и ответвлениях, где токи к.з. при номинальном напряжении сети превышают длительно допустимые по условиям нагрева проводов, используется способ плавки большими токами в повторно-кратковременном режиме (приложение 2) или способ трехфазного к.з. от передвижных подстанций (рис.2) с понижающими трансформаторами (автотрансформаторами).

Использование передвижных подстанций с понижающими трансформаторами (автотрансформаторами) возможно также на удаленных участках линий, где токи к.з. при номинальном напряжении ВЛ недостаточны для плавки гололеда.

I3. Для подключения передвижного трансформатора при плавке гололеда без отключения питающей линии в месте его подключения должны быть установлены разъединители.

I4. Время плавки на отдельных участках сети не должно превышать I ч.

I5. При выборе тока плавки необходимо учитывать следующее:

а) значение протекающего в цепи плавки тока должно быть достаточно для расплавления гололеда в нормированный срок на участке, где подвешен провод наибольшего сечения;

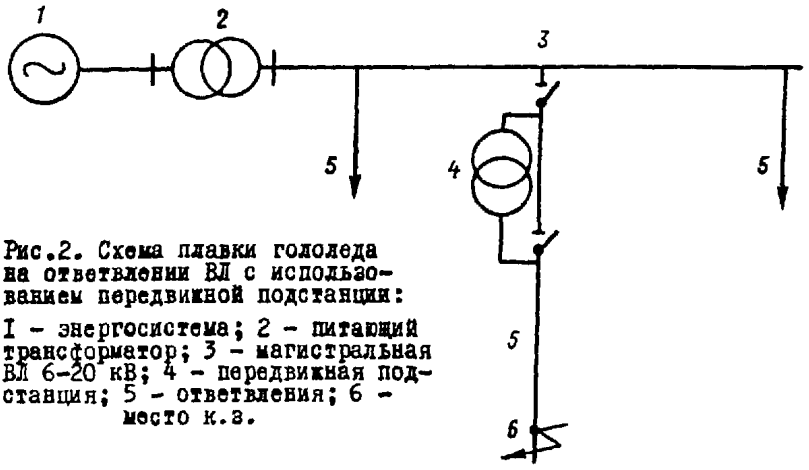


Рис.2. Схема плавки гололеда на ответвлении ВЛ с использованием передвижной подстанции:

I - энергосистема; 2 - питающий трансформатор; 3 - магистральная ВЛ 6-20 кВ; 4 - передвижная подстанция; 5 - ответвления; 6 - место к.з.

б) ток плавки не должен превышать значений, допустимых по условию нагрева провода наименьшего сечения из проводов ВЛ, свободных от гололеда; в отдельных случаях провода, ограничивающие возможность проведения плавки, должны быть заменены.

I6. При проведении плавки гололеда в распределительных сетях на отдельных потребительских подстанциях возможно значительное понижение напряжения.

Для таких подстанций должны быть проверены уровни напряжения на зажимах электродвигателей у потребителей. При напряжении менее 80% номинального двигатели на время плавки должны быть отключены.

I7. Допустимая температура нагрева провода определяется двумя условиями:

а) сохранением механической прочности провода;

б) габаритом приближения провода к земле или к пересекаемым объектам.

На время плавки с учетом ее кратковременности для ВЛ напряжением 6-20 кВ допускаются габариты, указанные в табл.I.

Таблица I

Габариты между ВЛ 6-20 кВ и пересекаемым объектом, допустимые на время плавки

№ п.п.	Объект, пересекаемый ВЛ	Габарит (м) не менее
I	Линии электропередачи равного или более низкого напряжения.....	I,0
2	Линии связи и сигнализации	I,0
3	Провода или несущие тросы троллейбусной или трамвайной линии	I,0
4	Полотно железной дороги широкой колеи	6,0
5	Полотно автомобильной дороги	4,5
6	Земля	4,5

По допустимым на время плавки габаритам определяется стрела провеса и соответствующее ей напряжение, а также допустимая температура нагрева провода.

I8. Для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов при длительном режиме плавки определяющим является условие сохранения механической прочности. Допустимая температура нагрева этих проводов при плавке 90°С.

Допустимые токи плавки для ВЛ с алюминиевыми и сталеалюминиевыми проводами определяются в зависимости от скорости ветра υ м/с и температуры воздуха t °С по табл.2.

Для проводов марки ПС по условию механической прочности допустима температура 250°С, поэтому во всех режимах определяющим является соблюдение требуемого габарита. Допустимые температуры нагрева по этому условию и соответствующие им токи для длительного режима выбираются в зависимости от длины пролета, наибольшей расчетной стрелы провеса и скорости ветра по номо-

граммы, приведенной в приложении 3.

В повторно-кратковременном режиме для проводов марок А и АС по условию механической прочности допускается температура I30°С.

Пример расчета повторно-кратковременного режима плавки приведен в приложении 2.

I9. При использовании данных табл.2 и номограммы (см.приложение 3) следует принимать следующую расчетную скорость ветра: U = 2 м/с для районов, где скорость ветра при гололеде достигает I5 м/с, и U = 4 м/с для районов, где скорость ветра при гололеде превышает I5 м/с.

20. Время плавки гололеда зависит от размеров и плотности гололеда, его формы, тока плавки, скорости ветра и температуры воздуха.

В приложении 4 приведены зависимости тока от времени плавки гололеда и изморози для разных метеорологических условий.

Графики построены для удельного веса гололеда 0,9 г/см^3 (рис.I5–43) и изморози 0,2 г/см^3 (рис.44–63).

Таблица 2

Допустимые токи плавки гололеда на ВЛ с алюминиевыми и сталеалюминиевыми проводами при различных погодных условиях

Марка провода	Допустимый ток плавки, А, при скорости ветра U и температуре воздуха t					
	U = 2 м/с			U = 4 м/с		
	t = -I°С	t = -5°С	t = -I0°	t =-I°С	t =-5°С	t =-I0°С
А-25	254	260	266	295	305	3I3
А-35	3I4	323	328	368	374	384
А-50	394	4I0	4I5	465	475	485
А-70	485	497	50I	572	584	600
АС-25	247	252	258	290	297	304
АС-35	336	342	352	398	405	4I5
АС-50	398	406	4I6	465	476	490
АС-70	496	5I0	52I	580	583	6I0

Примечание. Приведенные значения допустимых токов определены с учетом высоты опор ВЛ при направлении ветра к их оси под углом 45°.

21. С учетом возможных погрешностей в определении размеров и плотности гололеда, погодных условий на трассе ВЛ и сопротивления проводов продолжительность плавки следует увеличивать на 25-30% против приведенной в приложении 4.

Контроль за окончанием процесса плавки может осуществляться по времени плавки или визуально.

Визуальное наблюдение за опадением гололеда должно проводиться на участках линий с наибольшими размерами отложений.

22. 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.

23. Допустимые кратности перегрузки силовых трансформаторов на подстанции определяются в зависимости от предшествовавшего плавке режима нагрузки и времени плавки по рис.3.

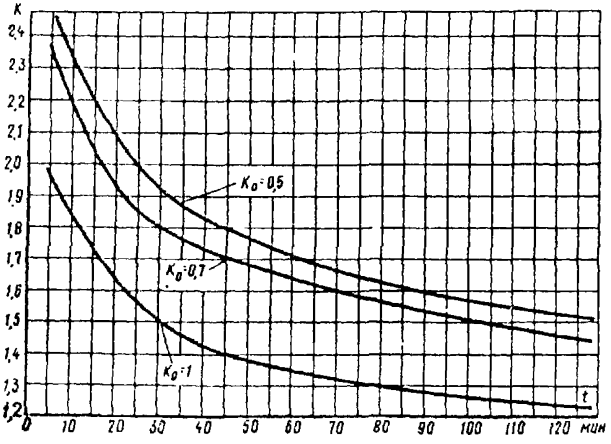


Рис.3. Допустимые кратности перегрузки стационарных трансформаторов подстанций:

K_Q – коэффициент загрузки трансформатора в режиме, предшествующем режиму плавки гололеда

24. Если установленная мощность силового трансформатора с учетом допустимых перегрузок недостаточна для плавки гололеда, необходимо заменить его более мощным или отключить часть нагрузки на период плавки. Целесообразность применения того или другого варианта определяется путем экономических расчетов. Пример расчета приведен в приложении 5.

25. Необходимые мощности и ступени напряжения на вторичной стороне передвижного трансформатора (автотрансформатора) определяются по параметрам сети (участка сети), для которой предназначена данная подстанция.

Методика расчета приведена в приложении 6.

26. Для коммутационных аппаратов (выключателей и разъединителей) в режиме плавки допустима нагрузка, превышающая номинальный ток в I,5 раза.

27. Кабельные выводы и вставки напряжением 6-20 кВ в режиме плавки допускают перегрузки в соответствии с § 3I.4 "Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей" с учетом поправочных коэффициентов на температуру воздуха и земли, приведенных в табл.I-3-36 гл.I-3 "Правил устройства электроустановок".

28. Для трансформаторов тока ТПЛ-IO допустима нагрузка, превышающая номинальный ток в 3,5 раза.

Допустимая кратность перегрузки K трансформаторов тока ТПФ и ТПФМ определяется по табл.3 в зависимости от времени плавки.

Таблица 3

Допустимая кратность перегрузки трансформаторов тока ТПФ и ТПФМ

Время плавки, мин	5	IO	I5	20	30	40	50	60
K	5	3,7	3,I	2,8	2,6	2,I5	2,0	I,9

Одновременно при этом должна быть проверена возможность работы с требуемой перегрузкой элементов вторичных цепей. Элементы, не удовлетворяющие этому требованию, должны быть на период плавки зашунтированы.

При использовании трансформаторов тока для измерения тока плавки их перегрузка допускается в пределах, обеспечивающих требуемую точность измерения.

29. В процессе плавки линия должна быть защищена токовой защитой, для чего могут быть использованы существующие защиты или смонтирована специальная защита, вводимая в действие на время плавки. В этом случае рабочие защиты на время плавки выводятся из действия.

Уставка защиты должна превышать ток плавки на 20%.

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер предприятия
электрических сетей
" " _____ г.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ПРОВОДАХ ВЛ 10 кВ

Фидер № 606, участок плавки гололеда АБ
Ток плавки подается с подстанции (от ячейки № 606)

Очередность операций

1. Снять крышку блока в токовых цепях измерения на фидере № 606.
2. Вывести местную токовую защиту (МТЗ) на фидере № 606.
3. Включить разъединитель плавки РПГ-4 на участке плавки гололеда.
4. Включить масляный выключатель ВМ-4.

После окончания плавки операции произвести в обратной последовательности.

Условия плавки

1. Потребители фидера № 606 не отключаются.
2. Предупредить потребителей, обозначенных знаком Х, о необходимости отключения электродвигателей на время плавки.

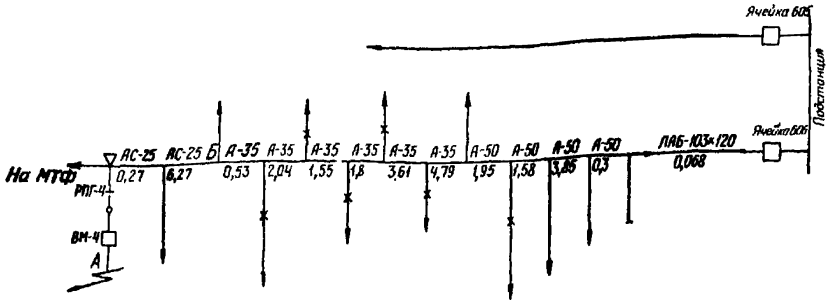
Связь

Телефонная с диспетчером электрических сетей с ближайших почтовых отделений.

Условные обозначения на схеме

Х – потребители, которых следует предупредить о необходимости отключения электродвигателей.

АБ – участок плавки гололеда.



Марка провода	Допустимый ток, А	Протяженность участка с данным проводом, км	Сопротивление участка плавки, Ом	Ток плавки, А	Мощность, необходимая для плавки МВА	Продолжительность плавки, мин
А-50 А-35 АС-25	215 175 130	7,68 14,58 6,48	28,9	210	3,83	25

Согласовано		Разработал
Начальник РЭС		Начальник службы РЭС
Начальник ОДС		
Начальник МС РЗАИТ		
Начальник подстанции		Номер карты ( )

Приложение 2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА В ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

Расчет плавки гололеда в повторно-кратковременном режиме, характеризуемом чередованием периода протекания тока (рабочий период) с бестоковыми паузами, 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 температуре воздуха -5°С и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с п.17 и 18 настоящих Руководящих указаний.

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

2. Ток плавки определяется по формуле (1).

3. По кривым (рис.4-13) для определенного тока плавки и максимально допустимой температуры нагрева провода определяется продолжительность нагрева τ_p (рабочий период) провода до максимально допустимой температуры.

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

$$\tau = \frac{36{,}4\gamma d(\delta+0{,}265d)\cdot 10^3+164\gamma(D^2-d^2)t_2+\Sigma c\gamma_n S(20+t_2)}{I^2R_{20}-(0{,}09D+1{,}1\sqrt{vD})t_2}, \quad (4)$$

где γ - объемный вес льда, г/см^3;

d - диаметр провода без гололеда, см;

δ - толщина стенки гололеда, см;

D - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;

t_2 - абсолютное значение температуры воздуха, °С;

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

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

S - сечение провода, см^2;

I - ток плавки, А;

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

v - скорость ветра, м/с.

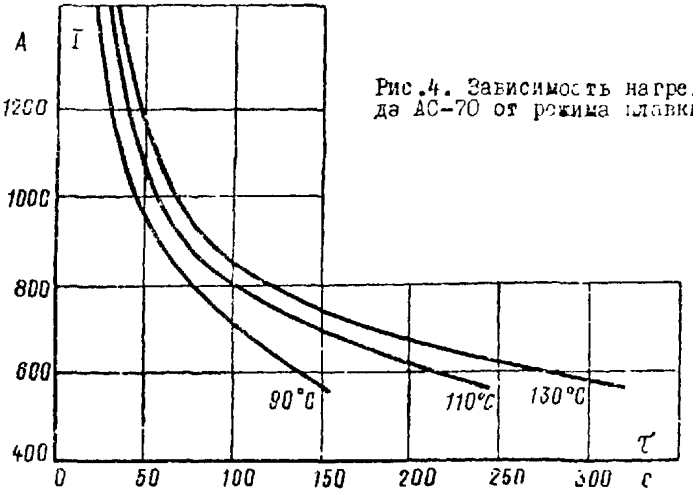


Рис.4. Зависимость нагрева провода АС-70 от режима плавки

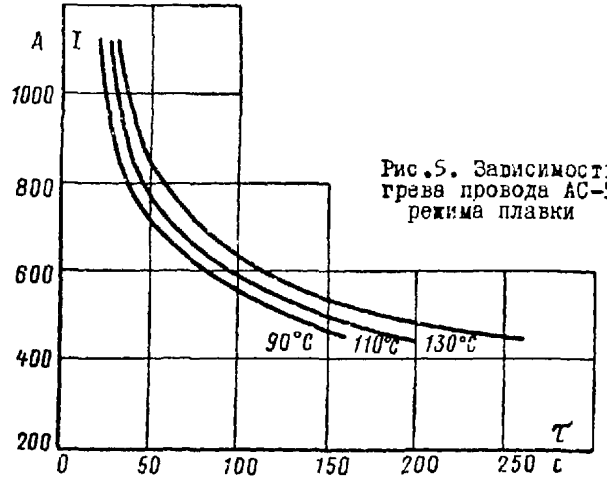


Рис.5. Зависимость нагрева провода АС-50 от режима плавки

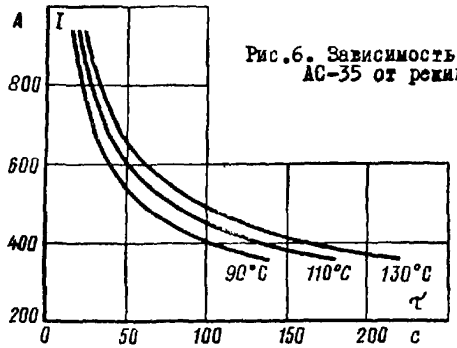


Рис.6. Зависимость нагрева провода АС-35 от режима плавки

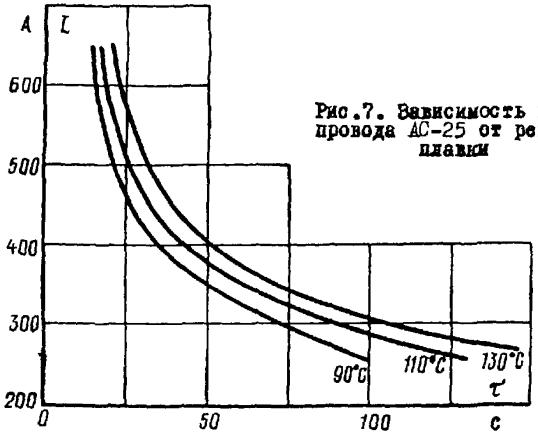


Рис.7. Зависимость нагрева провода АС-25 от режима плавки

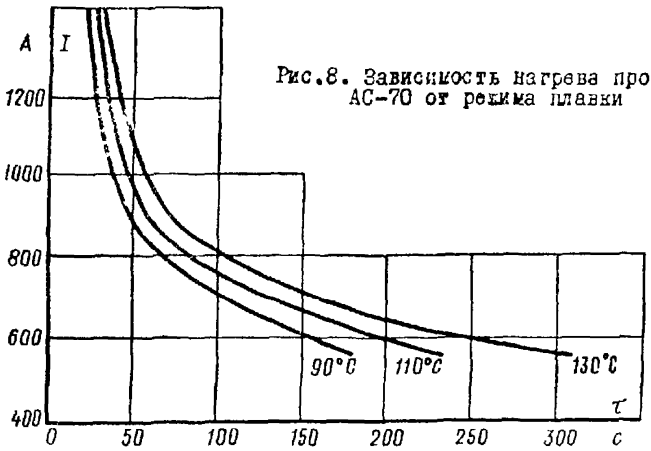


Рис.8. Зависимость нагрева провода АС-70 от режима плавки

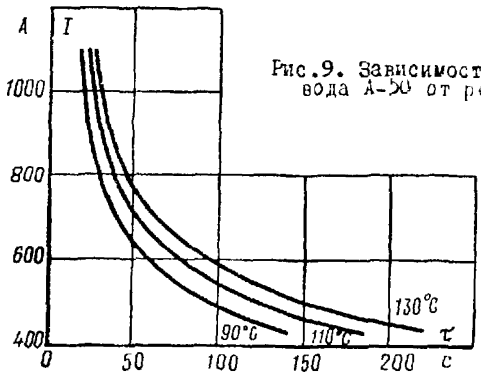


Рис.9. Зависимость нагрева провода А-50 от режима плавки

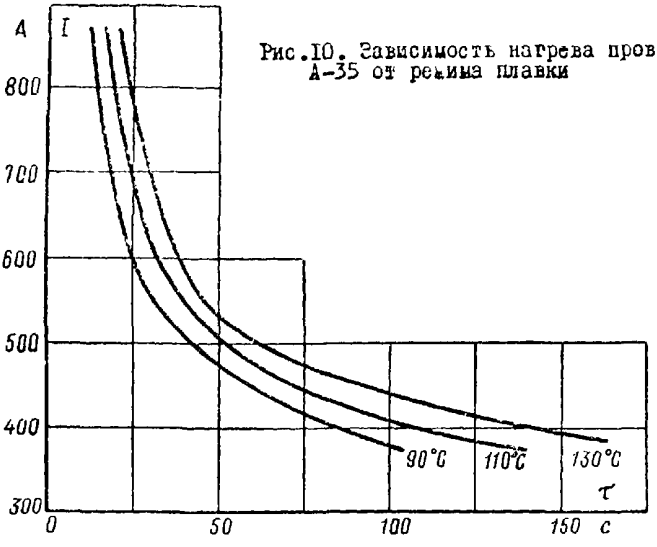


Рис.10. Зависимость нагрева провода А-35 от режима плавки

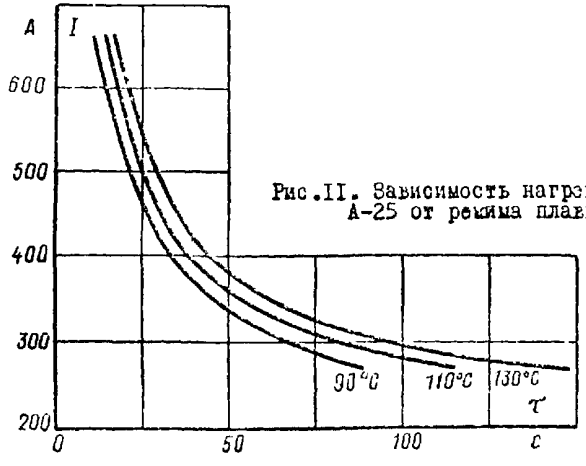


Рис.11. Зависимость нагрева провода А-25 от режима плавки

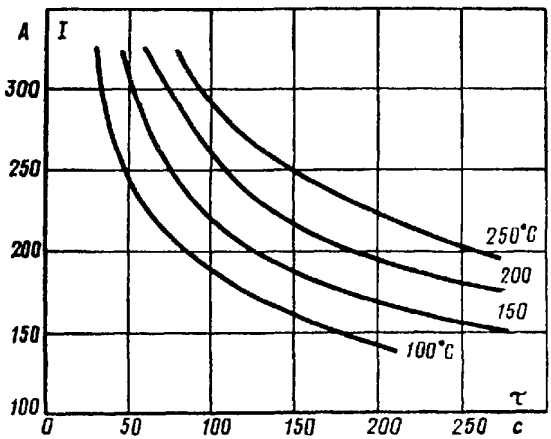


Рис.I2. Зависимость нагрева провода ПС-35 от режима пайки

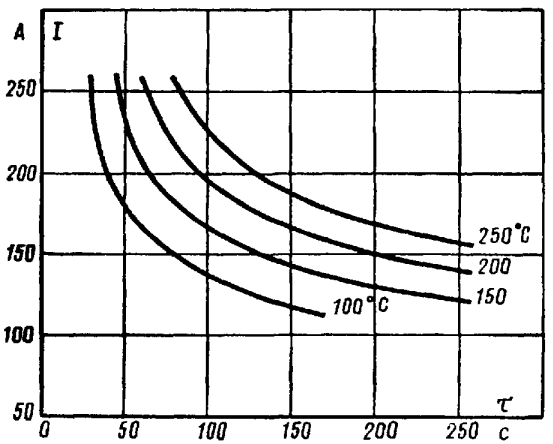


Рис.I3. Зависимость нагрева провода ПС-25 от режима пайки

Значения $\Sigma c\gamma_n S$ для 1 м провода:

Марка провода	$\Sigma c\gamma_n S$, Вт·с/°С	Марка провода	$\Sigma c\gamma_n S$, Вт·с/°С	Марка провода	$\Sigma c\gamma_n S$, Вт·с/°С
А-25	61,4	АС-25	70,4	ПС-25	90
А-35	85,5	АС-35	114,2	ПС-35	126
А-50	123	АС-50	149,3	-	-
А-70	172	АС-70	209,5	-	-
А-95	232	АС-95	294,5	-	-

5. Число циклов, необходимое для плавки :

$$n = 1{,}2\,\frac{\tau}{\tau_p}\,. \qquad (5)$$

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

6. Бестоковая пауза для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов сечением 25 и 35 мм^2 для проводов ПС-25 принимается равной 3 мин; сечением 50 и 70 мм^2 и для провода ПС-35 – 4 мин; для проводов сечением 95 мм^2 – 5 мин.

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

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

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

Пример расчета:

На ВЛ с проводом АС-70 предполагается плавка гололеда током 900 А.

Линия в середине пролета длиной 115 м пересекает автодорогу; габарит ВЛ (Γ) при температуре 15°С составляет 7,3 м при стреле провода f_n = 2,0 м.

По табл.I допустимый габарит $г_{доп}$ составляет 4,5 м. Стрела провеса нагретого провода $f_т$ определяется по формуле

$$f_т = f_п + (г - г_{доп}). \qquad (6)$$

Ее значение может быть не более

$$f_т = 2 + (7{,}3-4{,}5) = 4{,}8 \text{ м}.$$

Этой стреле провеса соответствует напряжение в проводе $б_т$, определяемое по формуле

$$б = \frac{g_1 \ell^2}{8f}; \qquad (7)$$

$$б_т = \frac{3{,}47\cdot10^{-3}\cdot 115^2}{8\cdot 4{,}8} = 1{,}19 \text{ кгс/мм}^2,$$

где g_1 - удельная нагрузка на провод от собственного веса провода, равная $3{,}47\cdot10^{-3}$ кгс/м·мм^2;

ℓ - длина пролета, м.

При исходных условиях это напряжение составляет

$$б_{15} = \frac{3{,}47\cdot10^{-3}\cdot 115^2}{8\cdot 2} = 2{,}88 \text{ кгс/мм}^2.$$

Из уравнения состояния провода в пролете

$$б_т - \frac{\ell^2 g_1^2 E}{24 б_т^2} = б_{15} - \frac{\ell^2 g_1^2 E}{24 б_{15}^2} - E\alpha(t_т - t_{15}), \qquad (8)$$

где E - модуль упругости провода, кгс/мм^2;

α - коэффициент температурного линейного расширения провода.

Определяем максимально допустимую по условиям габарита температуру $t_т$:

$$1{,}19 - \frac{115^2\,(3{,}47\cdot10^{-3})^2\cdot 7{,}9\cdot10^3}{24\cdot 1{,}19^2} = 2{,}88 -$$

$$- \frac{115^2(3{,}47\cdot10^{-3})^2\cdot 7{,}9\cdot10^3}{24\cdot 2{,}88^2} - 7{,}9\cdot10^3\cdot 19{,}7\cdot10^{-6}\,(t_т - 15),$$

откуда максимально допустимая температура $t_т = 225^0$С, что значи-

тельно больше температуры, допустимой по условиям механической прочности.

За максимально допустимую принимаем температуру 130°С.

Продолжительность нагрева до этой температуры по кривым рис.4 составляет τ_p = 80 с.

Суммарное время плавки при толщине стенки гололеда 2 см, ветре 3 м/с и температуре воздуха -10°С:

$$\tau = \frac{36{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}14\ (2 + 0{,}265 \cdot 1{,}14) \cdot 10^3 + 164 \cdot 0{,}9\ (5{,}14^2 - 1{,}14^2) \cdot 10 + 209{,}5(20+10)}{500^2 \cdot 0{,}46 \cdot 10^{-3} - (0{,}09 \cdot 5{,}14 + 1{,}1 \cdot \sqrt{3 \cdot 5{,}14}) \cdot 10} = 385 \text{ с.}$$

Число циклов n определяется по формуле (5)

$$n = \frac{1{,}2 \cdot 385}{80} = 5{,}8.$$

Для плавки необходимо шесть включений тока длительностью 80 с с бестоковой паузой 4 мин.

Приложение 3

НОМОГРАММА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМОГО ТОКА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ СО СТАЛЬНЫМИ ПРОВОДАМИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТРЕЛЫ ПРОВЕСА ВЛ И СКОРОСТИ ВЕТРА

Правила пользования номограммой (рис. 14)

1. На шкале L откладывается длина самого большого пролета ВЛ с проводом марки ПС (точка А).

2. От точки А проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой, соответствующей расчетной стреле провеса (точка В).

3. От точки В проводится вертикальная линия до пересечения с кривой, соответствующей марке провода и необходимой скорости ветра (точка D).

4. Из точки D проводится горизонтальная прямая до пересечения со шкалой I (точка Е).

5. На шкале I читаем величину допустимого тока.

6. Опустив из точки В перпендикуляр на шкалу Т (точка С), получим температуру провода при данном токе и скорости ветра (см.рис.I4).

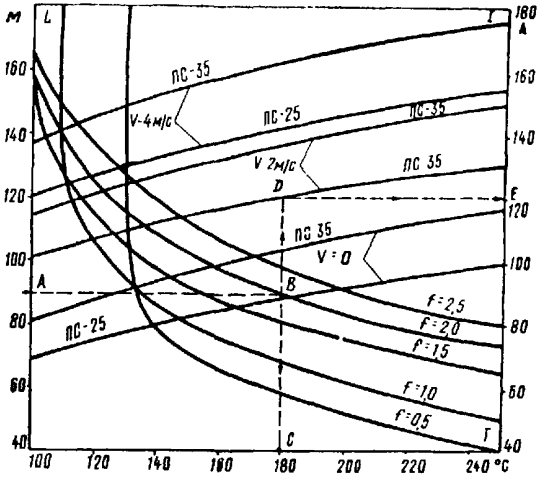


Рис.I4. Номограмма для определения допустимого тока плавки гололеда на ВЛ со стальными проводами в зависимости от стрелы провеса и скорости ветра

Приложение 4

КРИВЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА ПРИ ЗАДАННОМ ТОКЕ И РАЗЛИЧНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Кривые (см. рис. I5–43) построены в предположении, что изменяется один из трех метеорологических факторов (диаметр гололеда D, температура воздуха t и скорость ветра при гололеде v).

Кривые, обозначенные на рисунках индексом Ⓓ, построены для

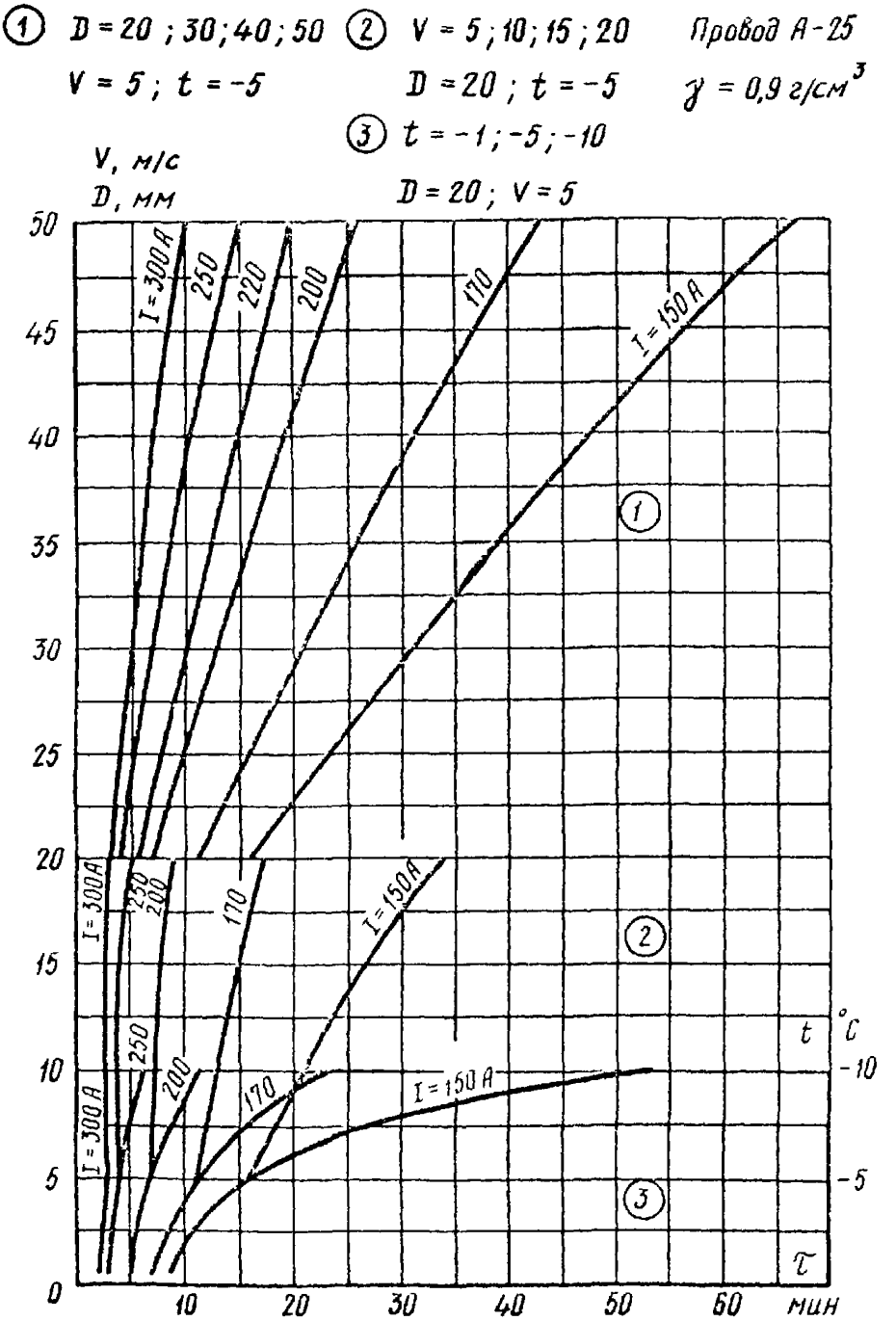

① D = 20 ; 30; 40; 50
V = 5 ; t = -5
② V = 5 ; 10; 15 ; 20
D = 20 ; t = -5
③ t = -1 ; -5 ; -10
D = 20 ; V = 5
Провод А-25
γ = 0,9 г/см³
V, м/с
D, мм
I = 300 А
250
220
200
170
I = 150 А
t °C
-10
-5
τ
мин
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
10
20
30
40
50
60

Рис. 15

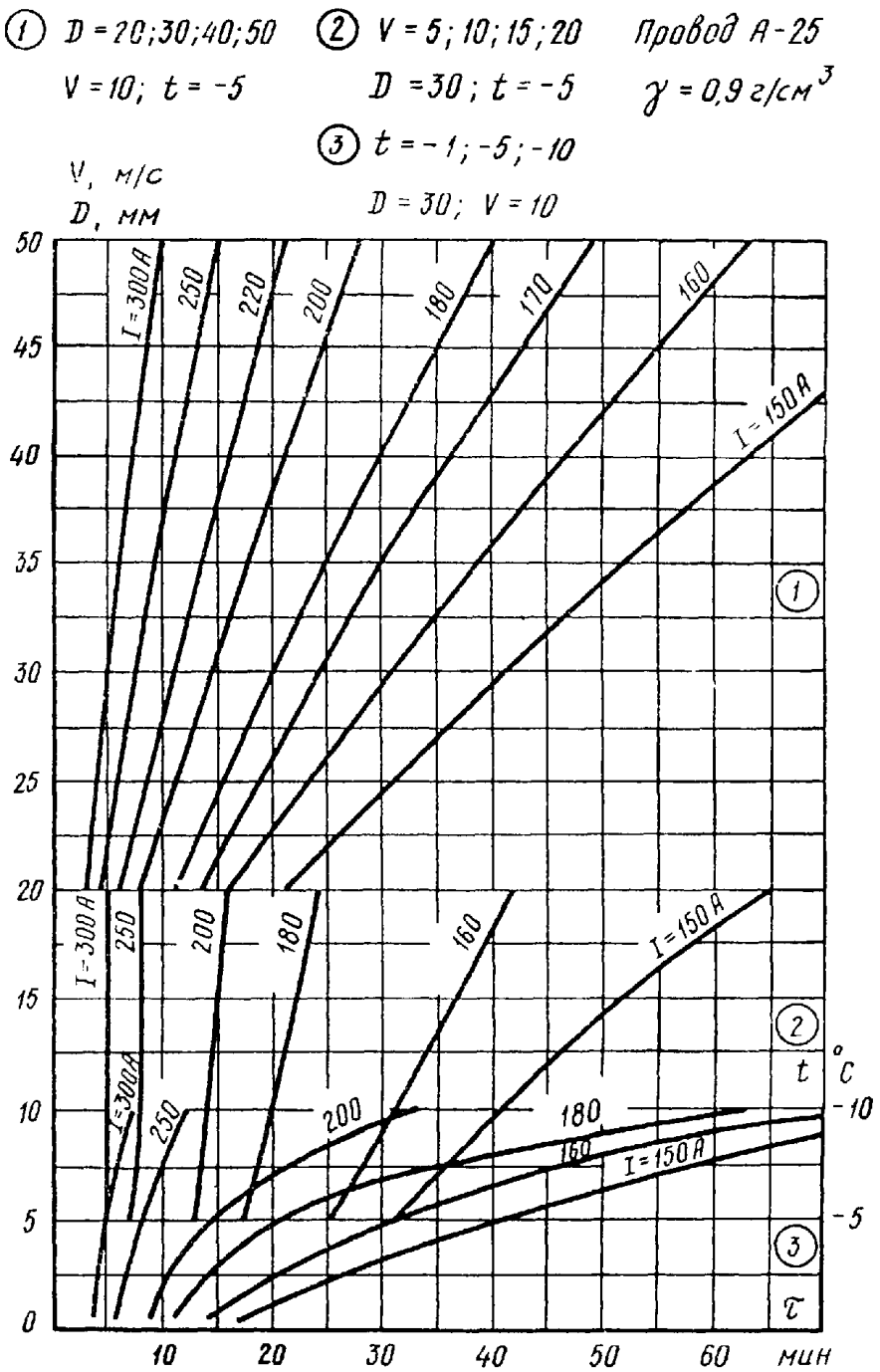

① D = 20; 30; 40; 50
V = 10; t = -5
② V = 5; 10; 15; 20
D = 30; t = -5
③ t = -1; -5; -10
D = 30; V = 10
Провод А-25
γ = 0,9 г/см³
V, м/с
D, мм
I = 300 А
250
220
200
180
170
160
I = 150 А
t °C
-10
-5
τ
мин
10
20
30
40
50
60
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50

Рис. I6

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод А-25

$V = 15;\ t = -10$ $D = 40;\ t = -10$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40;\ V = 15$

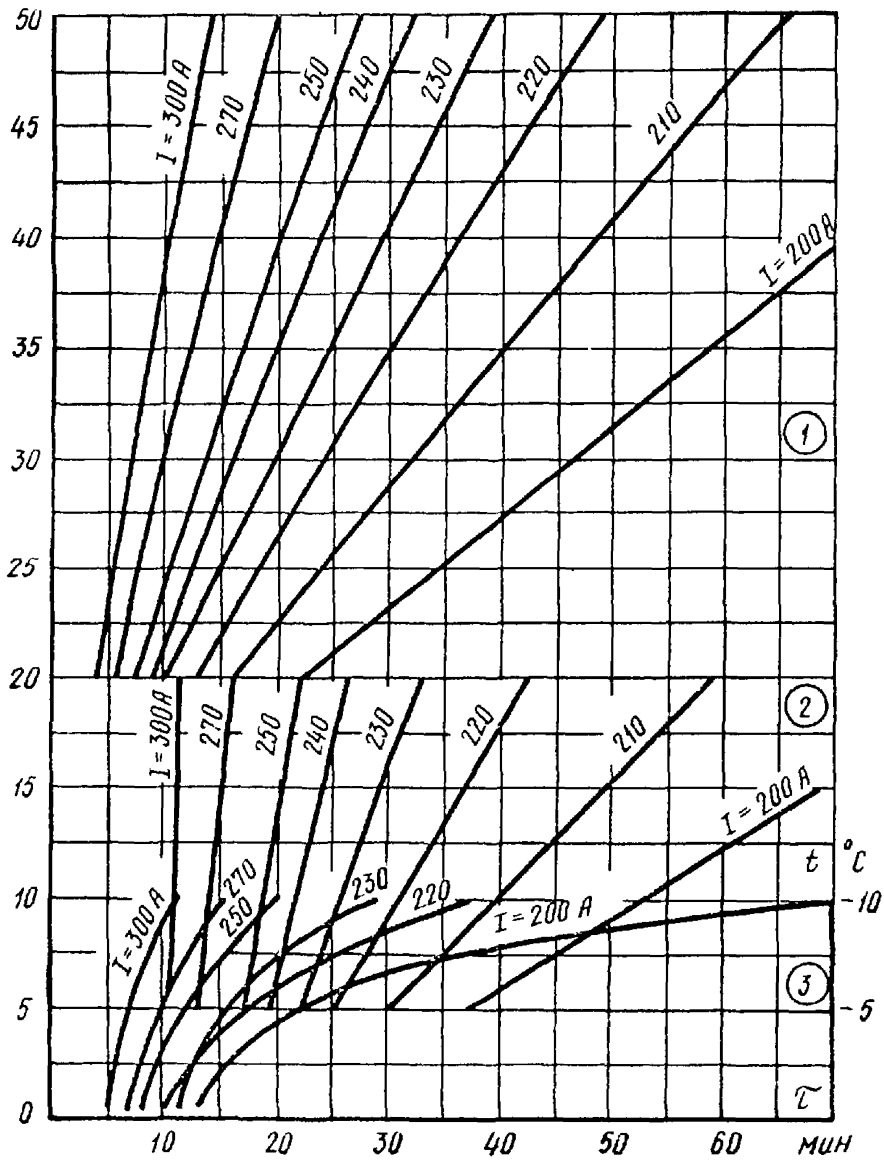


Рис. 17

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод А-35

$V = 5;\ t = -5$ $D = 20;\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20;\ V = 5$

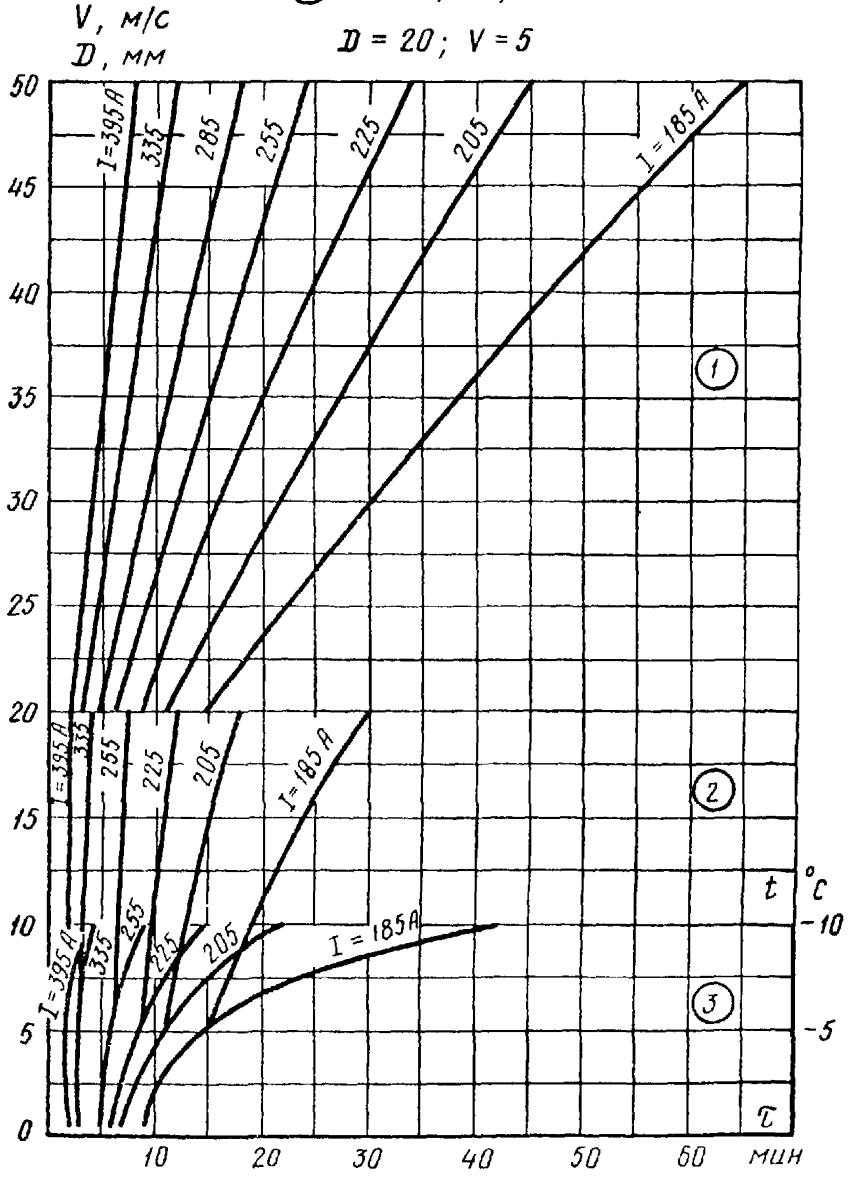


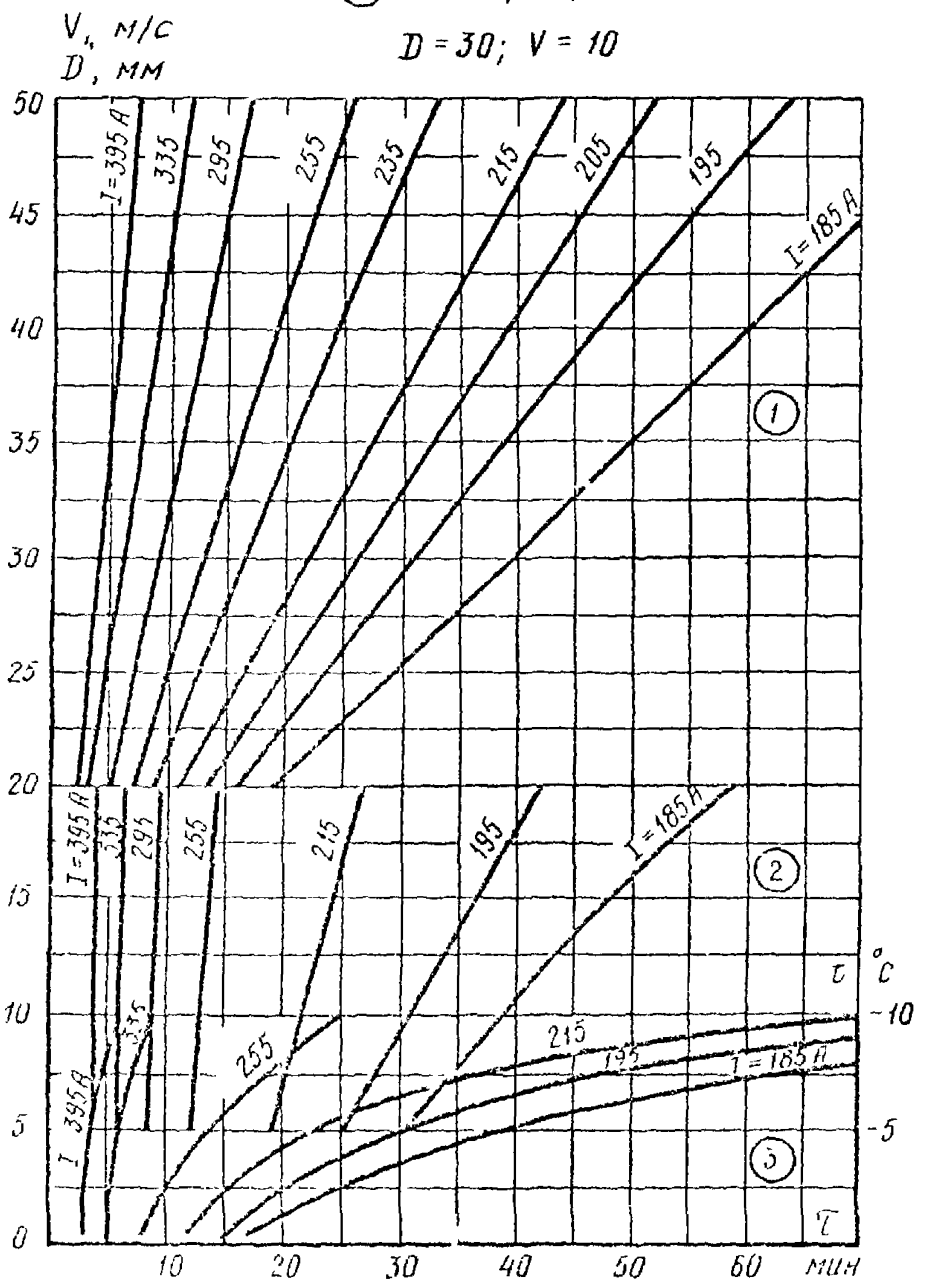
Рис. 16

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод А-35

$V = 10$, $t = -5$ $D = 30$, $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 30$; $V = 10$



① $D = 20;30;40;50$ ② $V = 5;\ 10,\ 15,\ 20$ Провод А-35

$V = 15;\ t = -10$ $D = 40;\ t = -10$ $\gamma = 0{,}9\ г/см^3$

③ $t = -1;-5,-10$

$D = 40;\ V = 15$

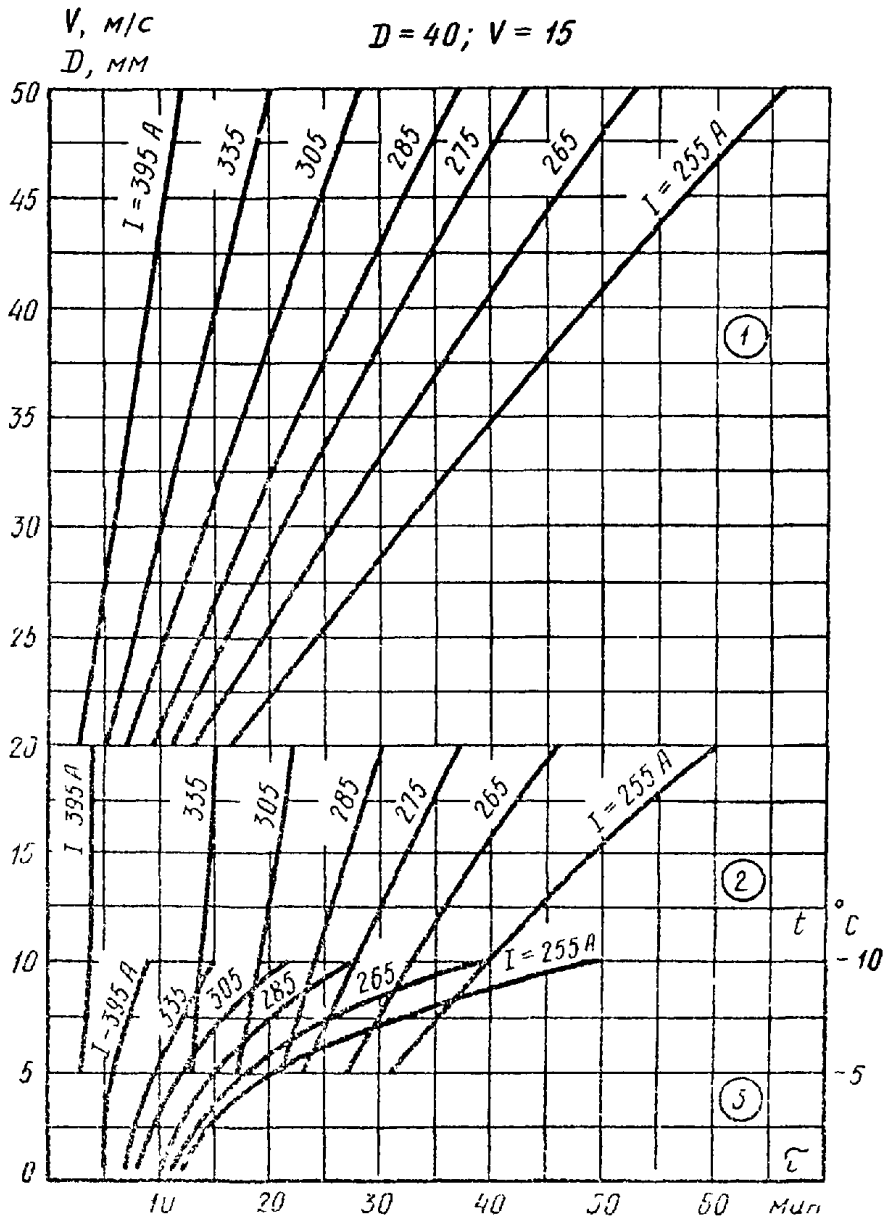


Рис. 20

① $D = 20, 30, 40, 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод А-50

$V = 5;\ t = -5$ $D = 20;\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20;\ V = 5$

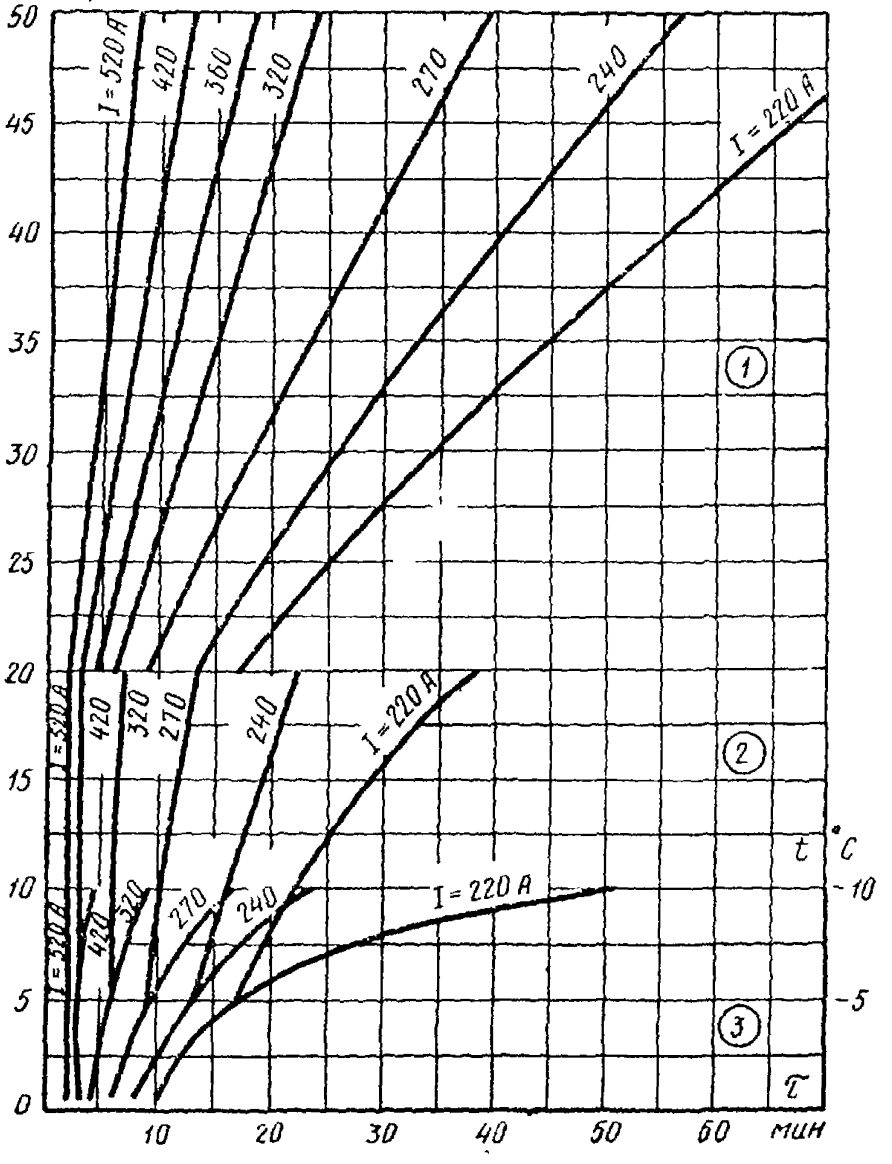


Рис. 21

① $D = 20, 30, 40, 50$ ② $V = 5; 10, 15; 20$ Провод А -50

$V = 10;\ t = -5$ $D = 30,\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 30,\ V = 10$

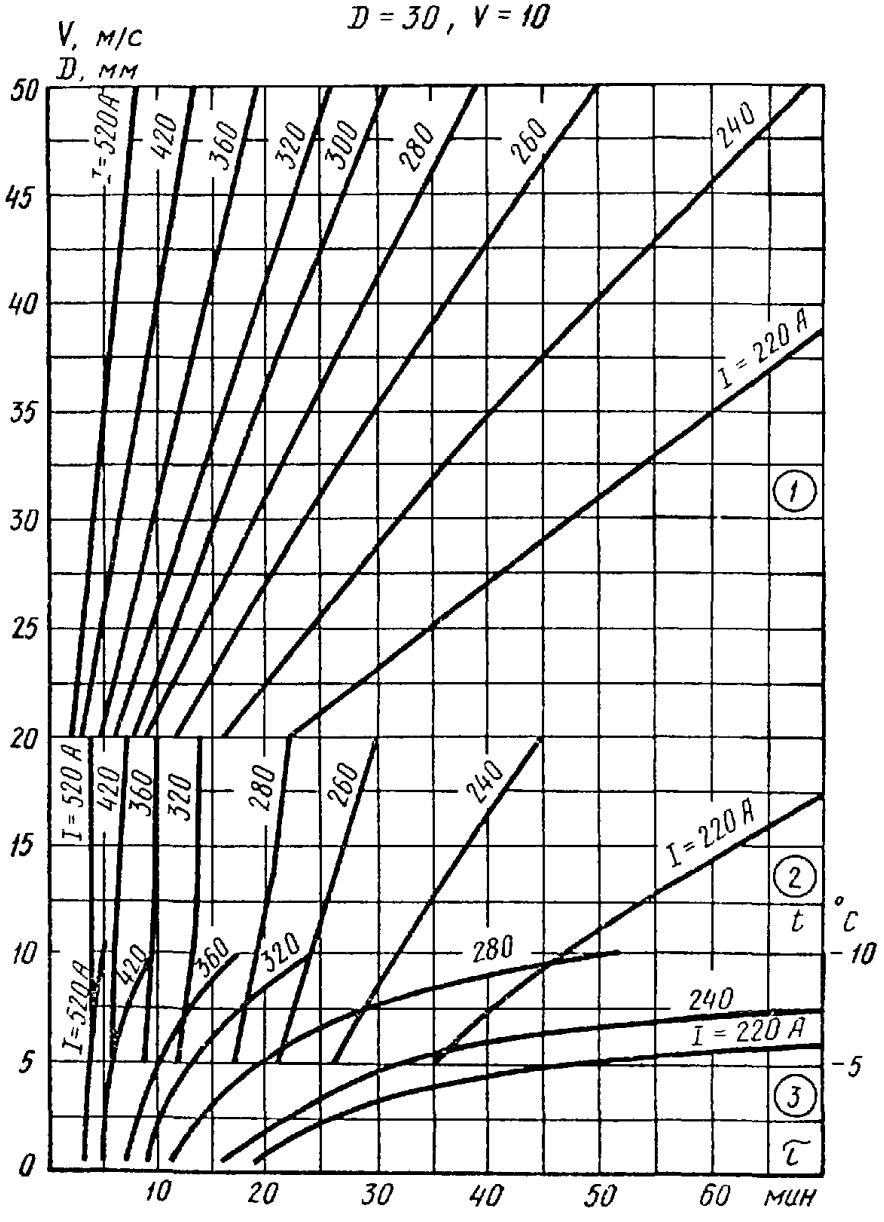


Рис.22

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод А-50

$V = 15;\ t = -10$ $D = 40;\ t = -10$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40;\ V = 15$

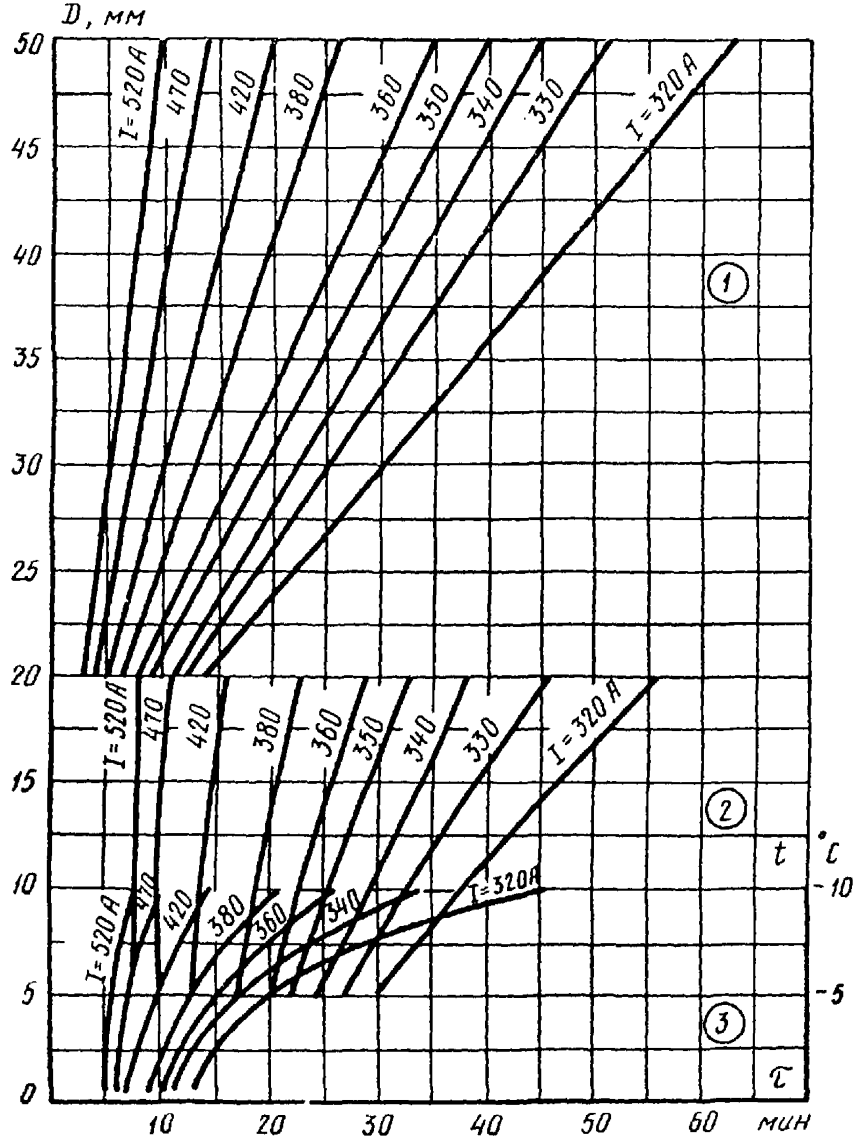


Рис.23

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-16

$V = 5;\ t = -5$ $D = 20;\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20;\ V = 5$

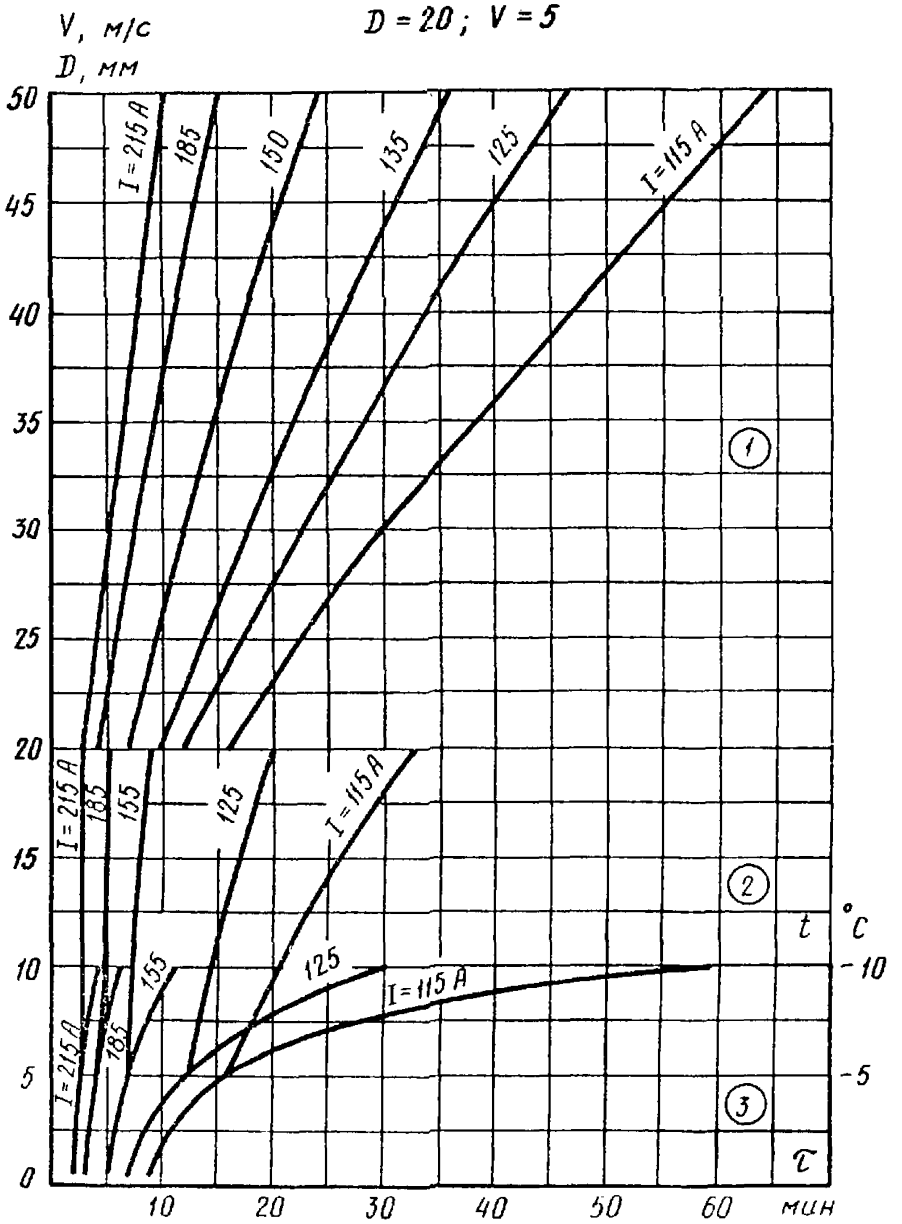


Рис. 14

① $D = 20, 30, 40; 50$
$V = 10;\ t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$
$D = 30;\ t = -5$

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 30;\ V = 10$

Провод АС – 16
$\gamma = 0{,}9$ г/см^3

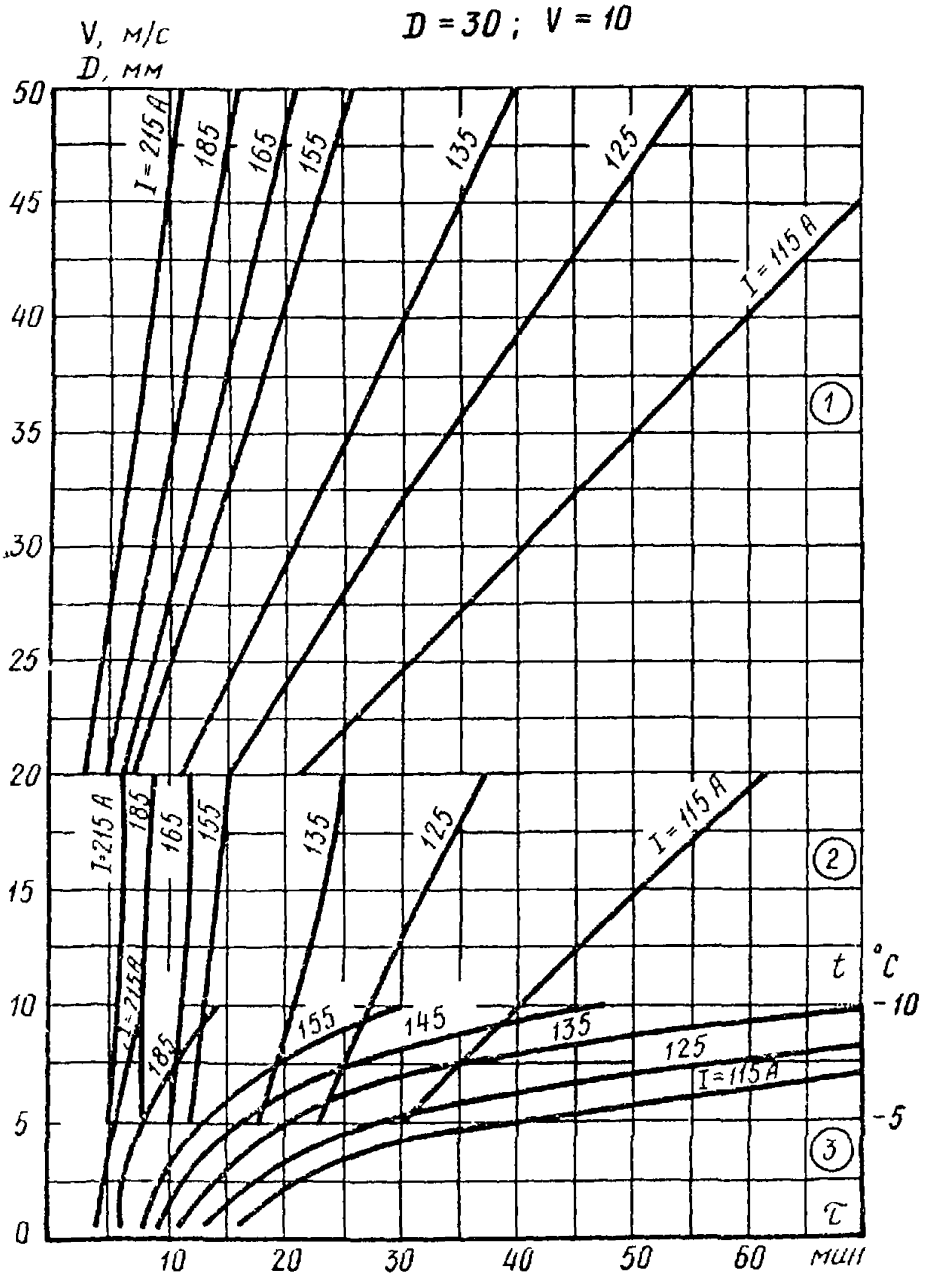


Рис.25

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-16

$V = 15$, $t = -10$ $D = 40$; $t = -10$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40$; $V = 15$

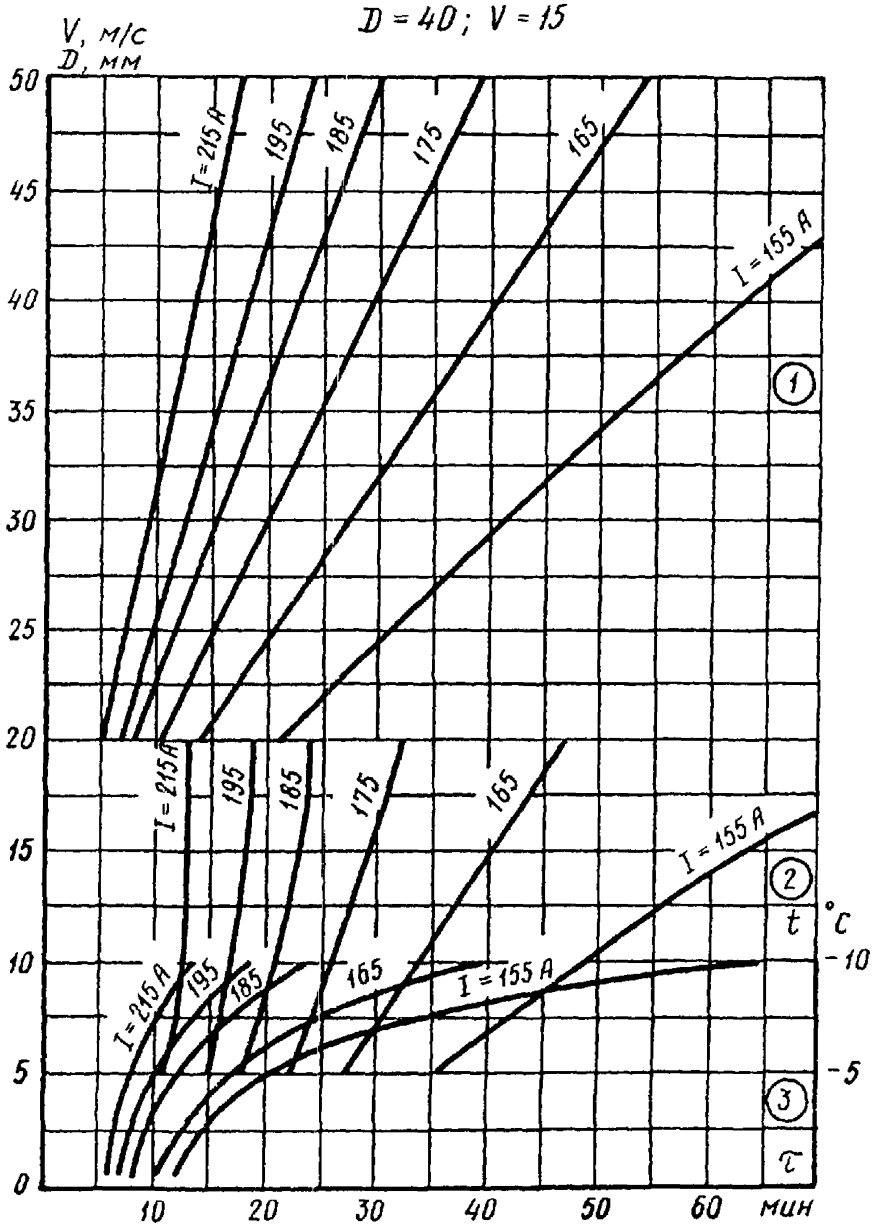


Рис.26

① $D = 20; 30; 40; 50$ $V = 5$; $t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$ $D = 20$; $t = -5$

Провод АС – 25 $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$ $D = 20$; $V = 5$

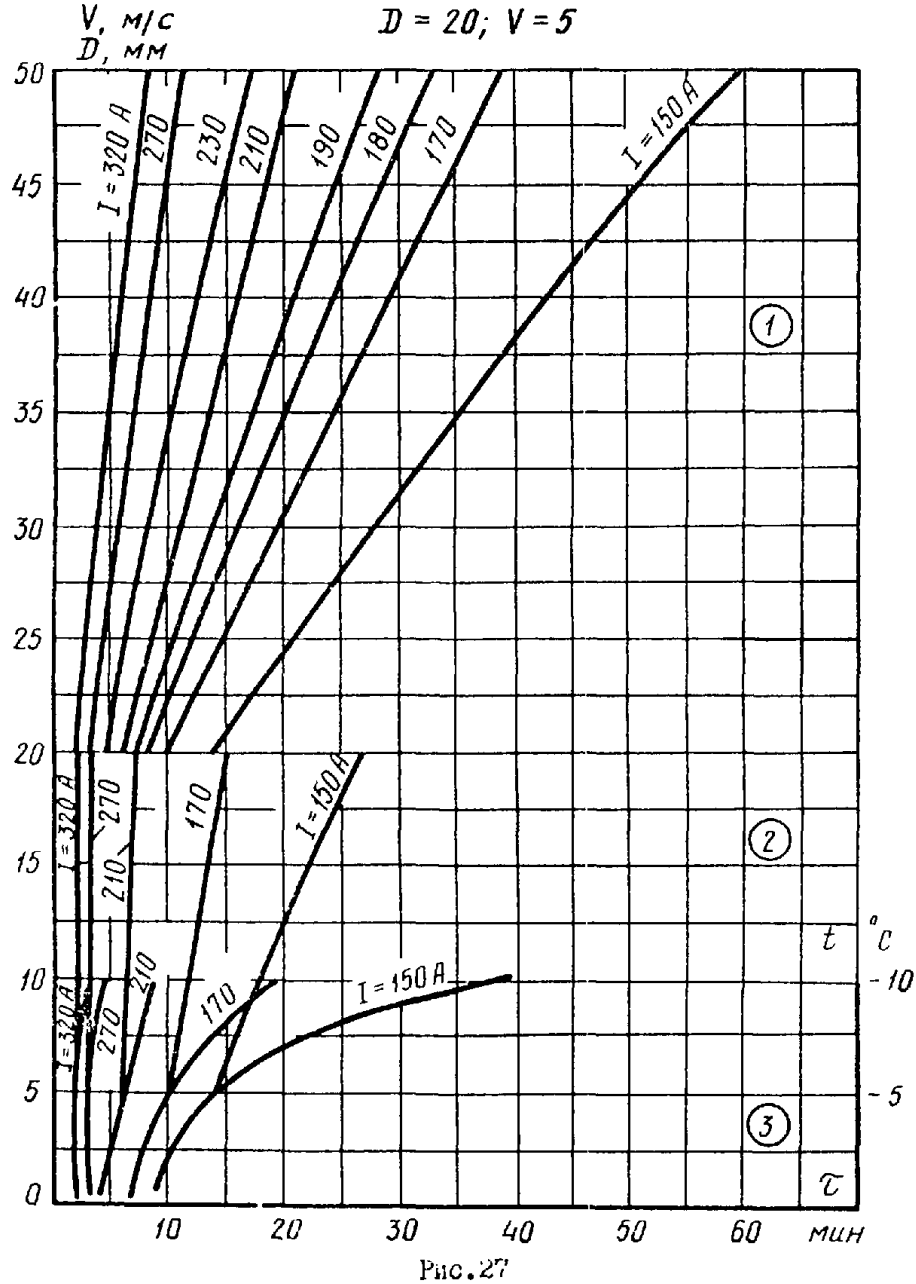


Рис.27

① $D = 20, 30, 40, 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-25

$V = 10;\ t = -5$ $D = 30;\ t = -5$ $\gamma = 0,9$ г/см^3

③ $t = -1; -5, -10$

$D = 30,\ V = 10$

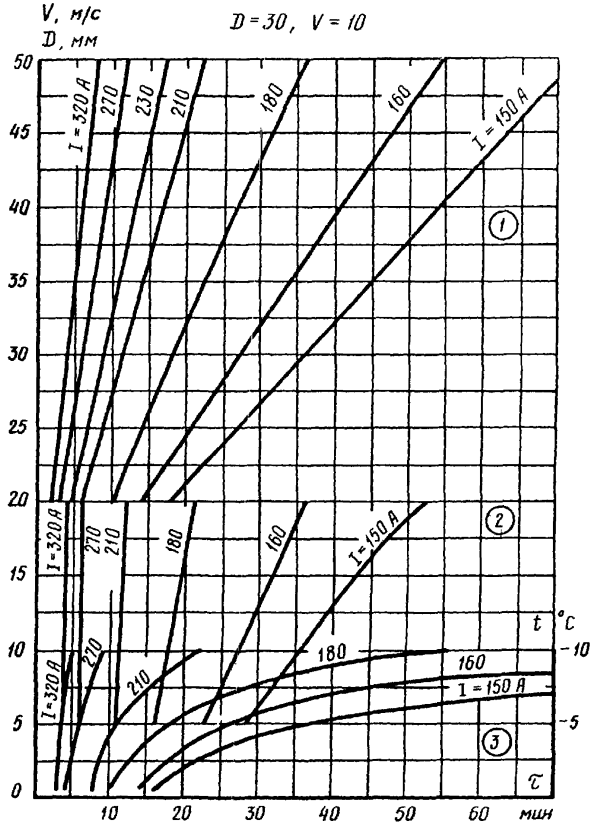


Рис. 28

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-25

$V = 15$; $t = -10$ $D = 40$; $t = -10$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40$; $V = 15$

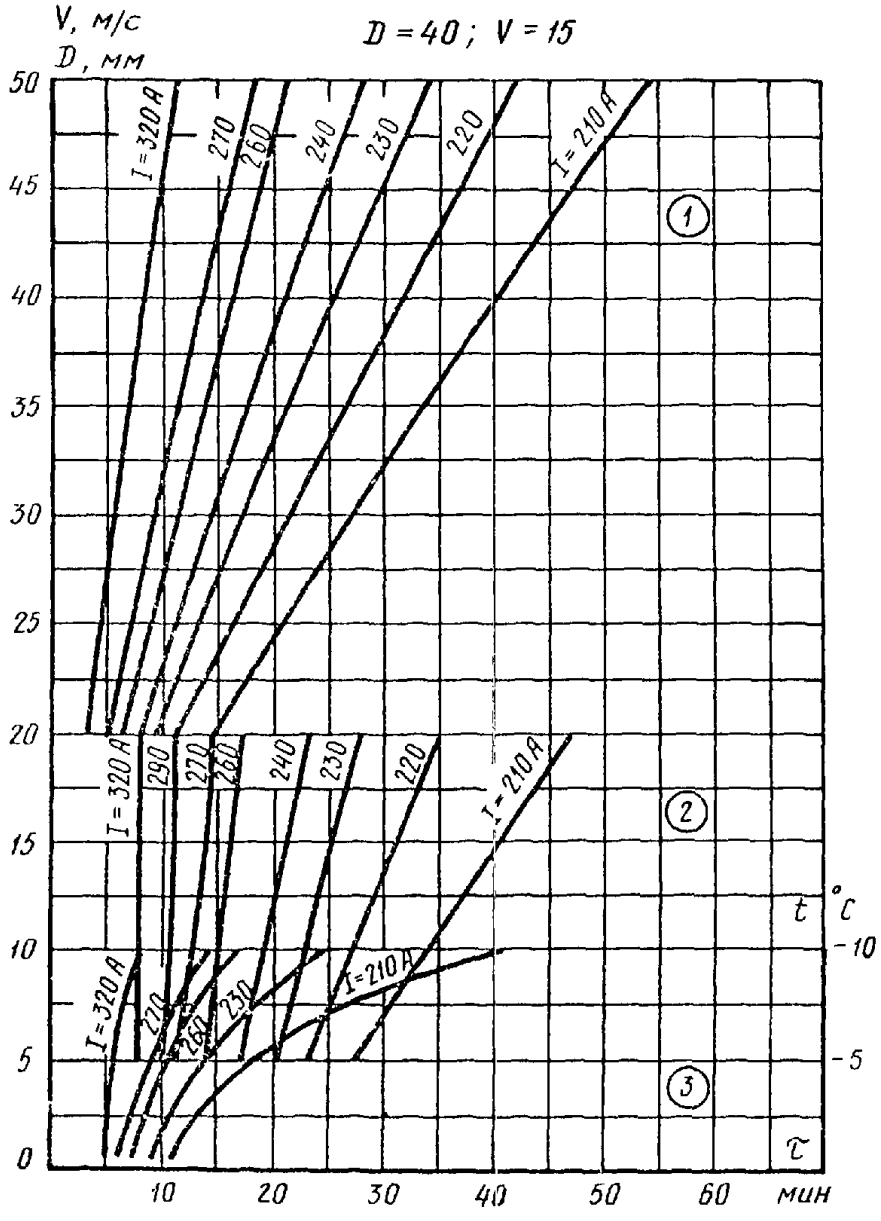


Рис. 29

① $D = 20; 30; 40; 50$ $V = 5$; $t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$ $D = 20$; $t = -5$

③ $t = -1; -5; -10$ $D = 20$; $V = 5$

Провод АС-35 $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

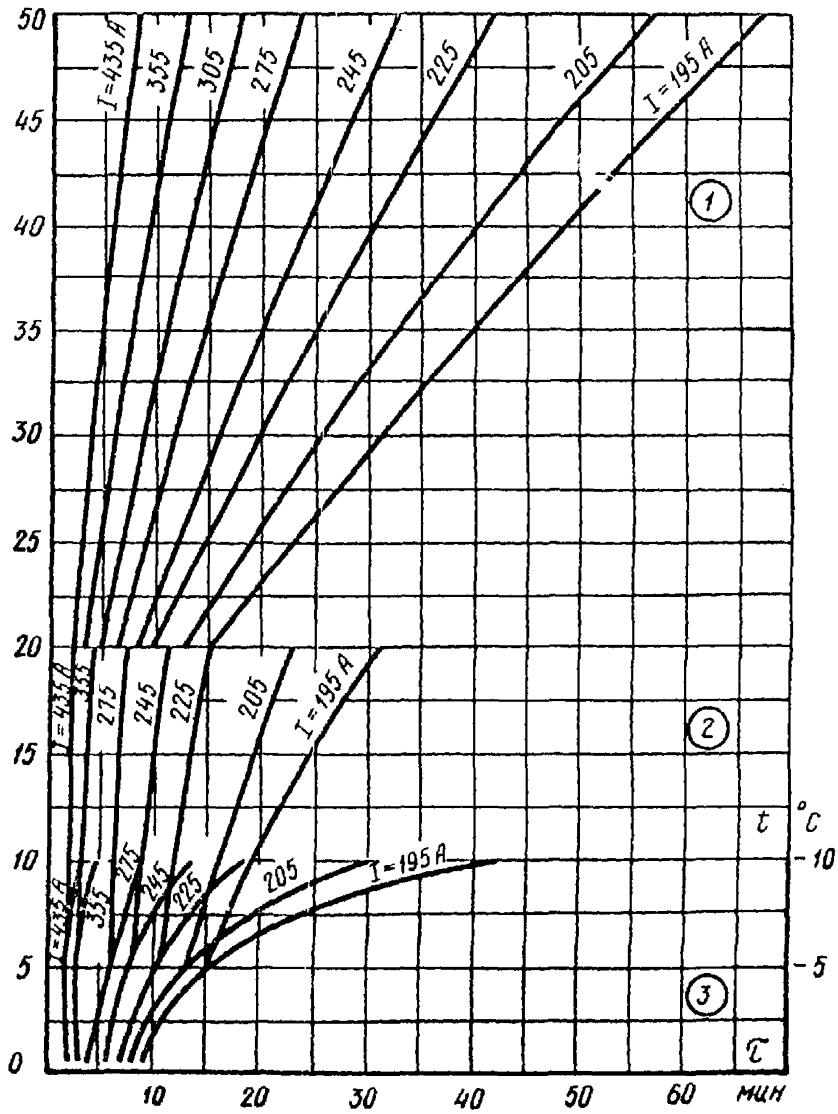


Рис.30

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-35

$V = 10;\ t = -5$ $D = 30;\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9\ г/см^3$

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 30;\ V = 10$

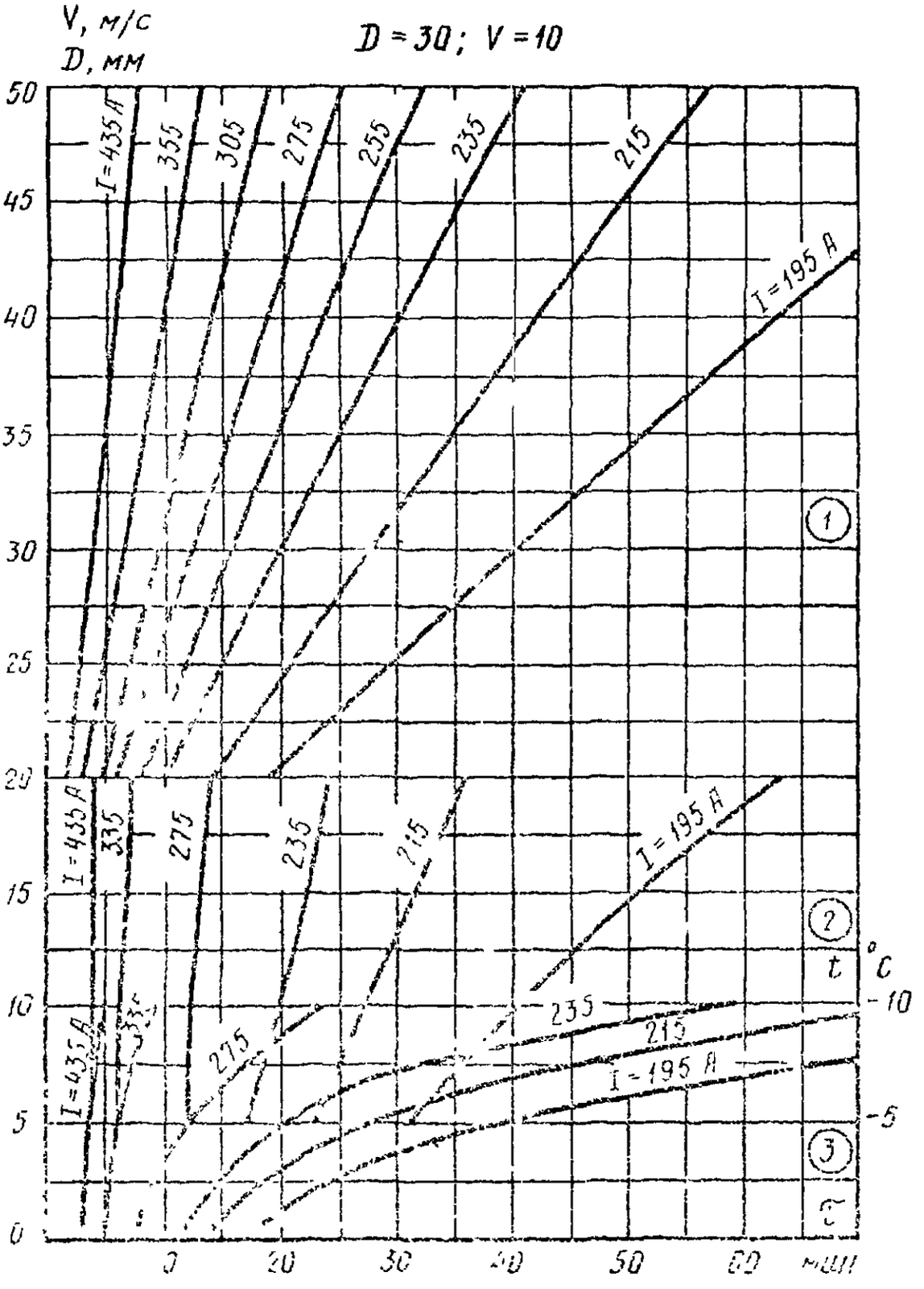


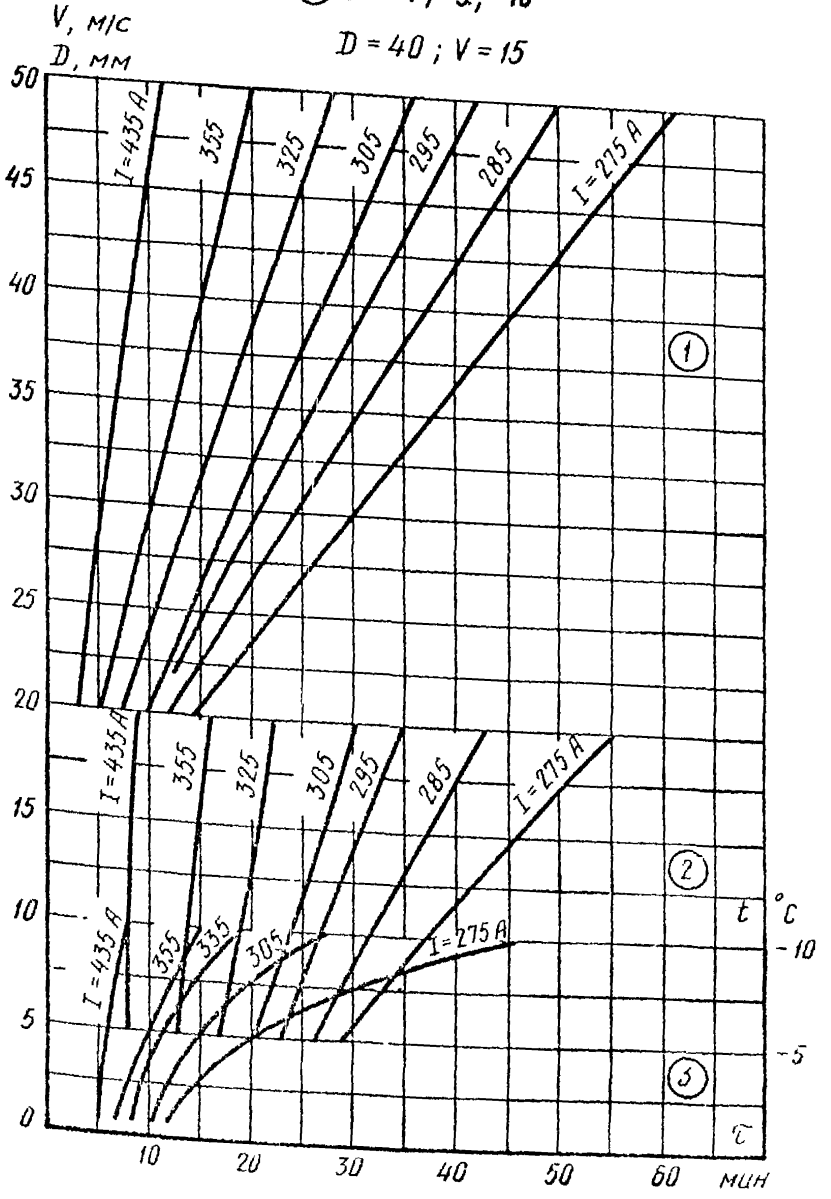
Рис. 31

① $D = 20; 30; 40; 50$
$V = 15$; $t = -10$

② $V = 5; 10; 15; 20$
$D = 40$; $t = -10$

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 40$; $V = 15$

Провод АС-35
$\gamma = 0{,}9$ г/см^3



① $D = 20; 30, 40, 50$ ② $V = 5; 10, 15; 20$ Провод АС-50

$V = 5,\ t = -5$ $D = 20;\ t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20;\ V = 5$

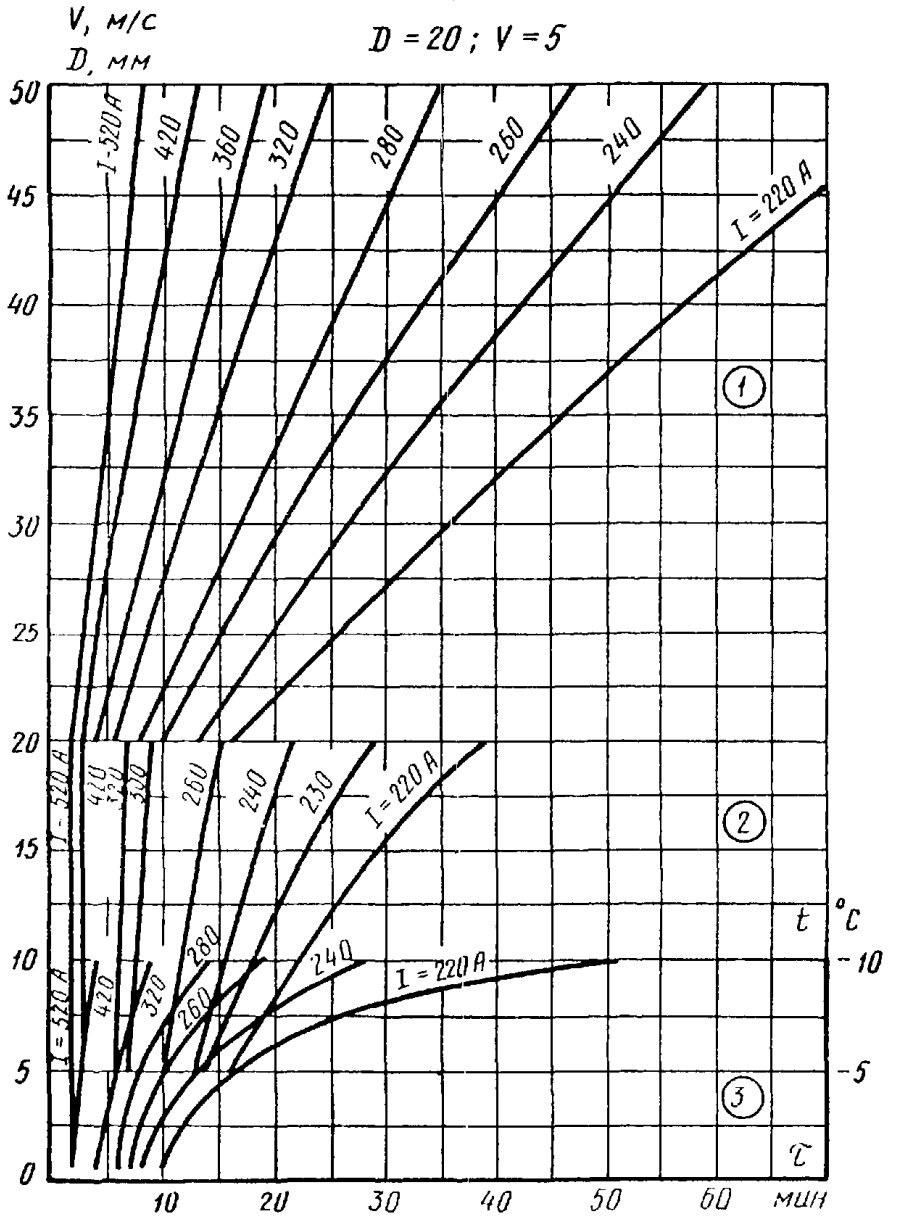


Рис. 33

① $D = 20; 30; 40, 50$ $V = 10$; $t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$ $D = 30$; $t = -5$

③ $t = -1; -5; -10$ $D = 30$; $V = 10$

Провод АС-50 $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

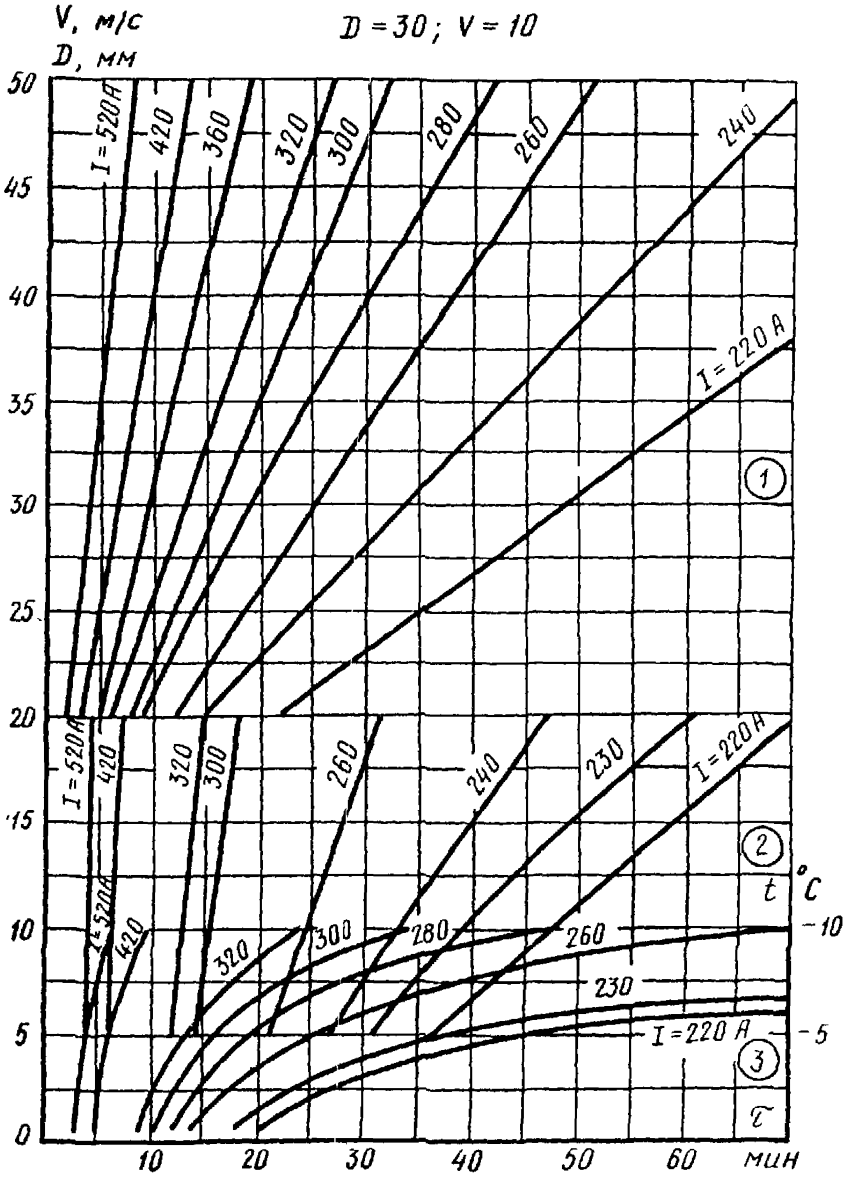


Рис.34

① $D = 20; 30, 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод АС-50

$V = 15$; $t = -10$ $D = 40$; $t = -10$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40$; $V = 15$

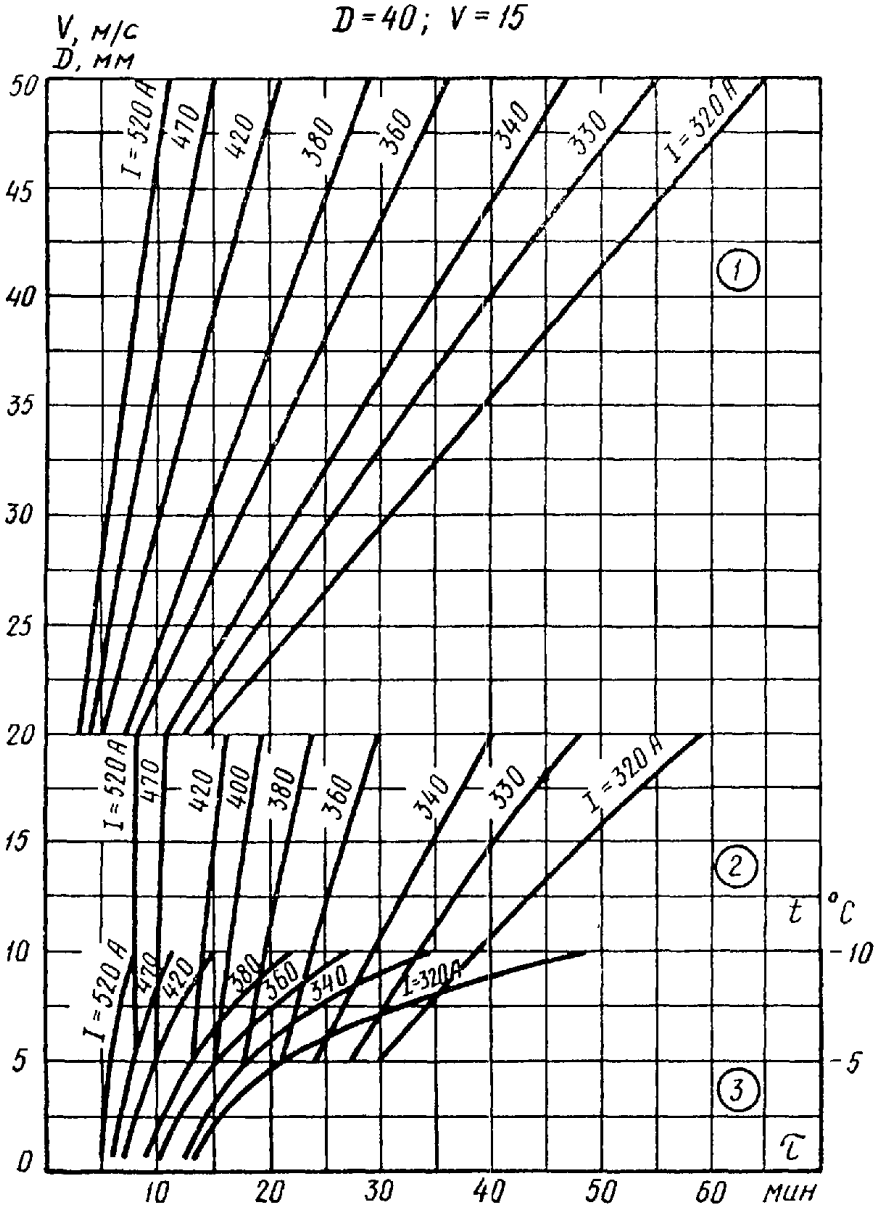


Рис.35

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод ПС-25

$V = 5$; $t = -5$ $D = 20$; $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20$; $V = 5$

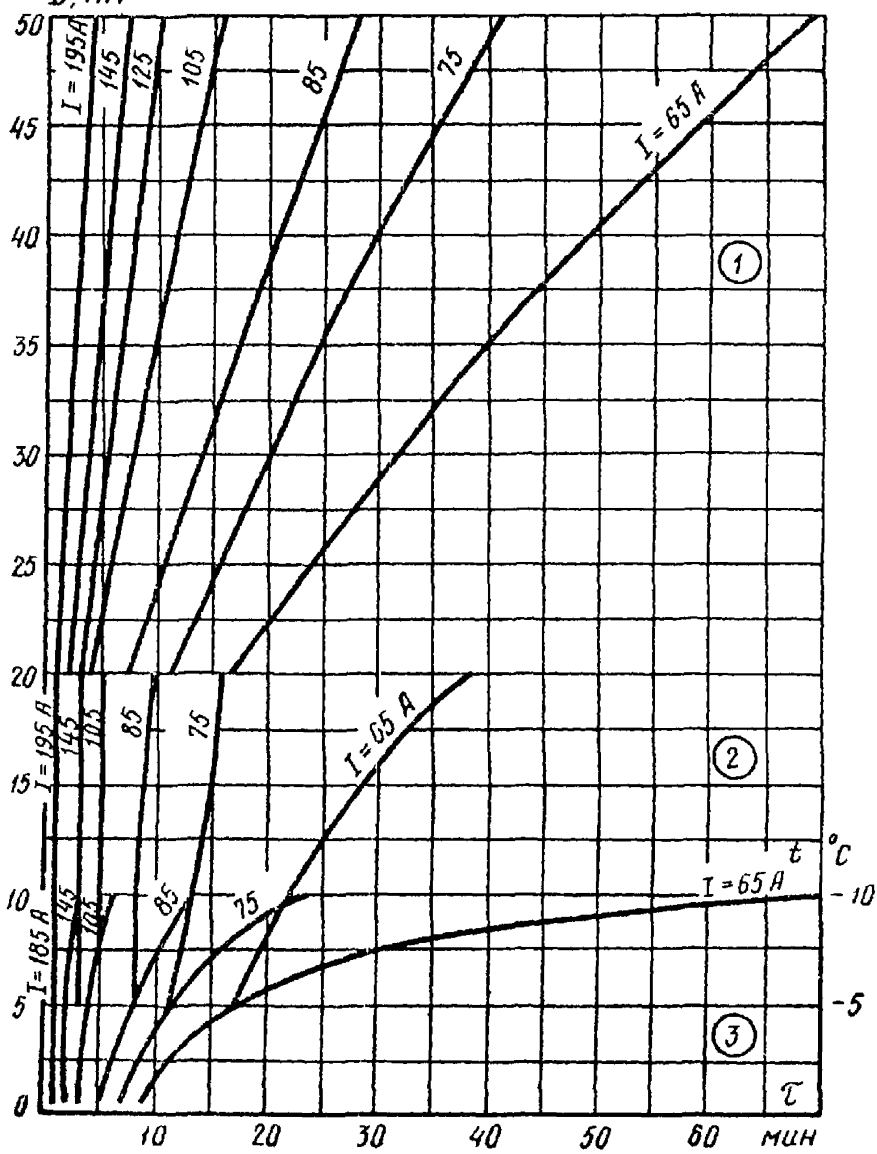


Рис.36

① $D = 20; 30; 40; 50$
$V = 10;\ t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$
$D = 30;\ t = -5$

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 30;\ V = 10$

Провод ПС-25
$\gamma = 0{,}9$ г/см^3

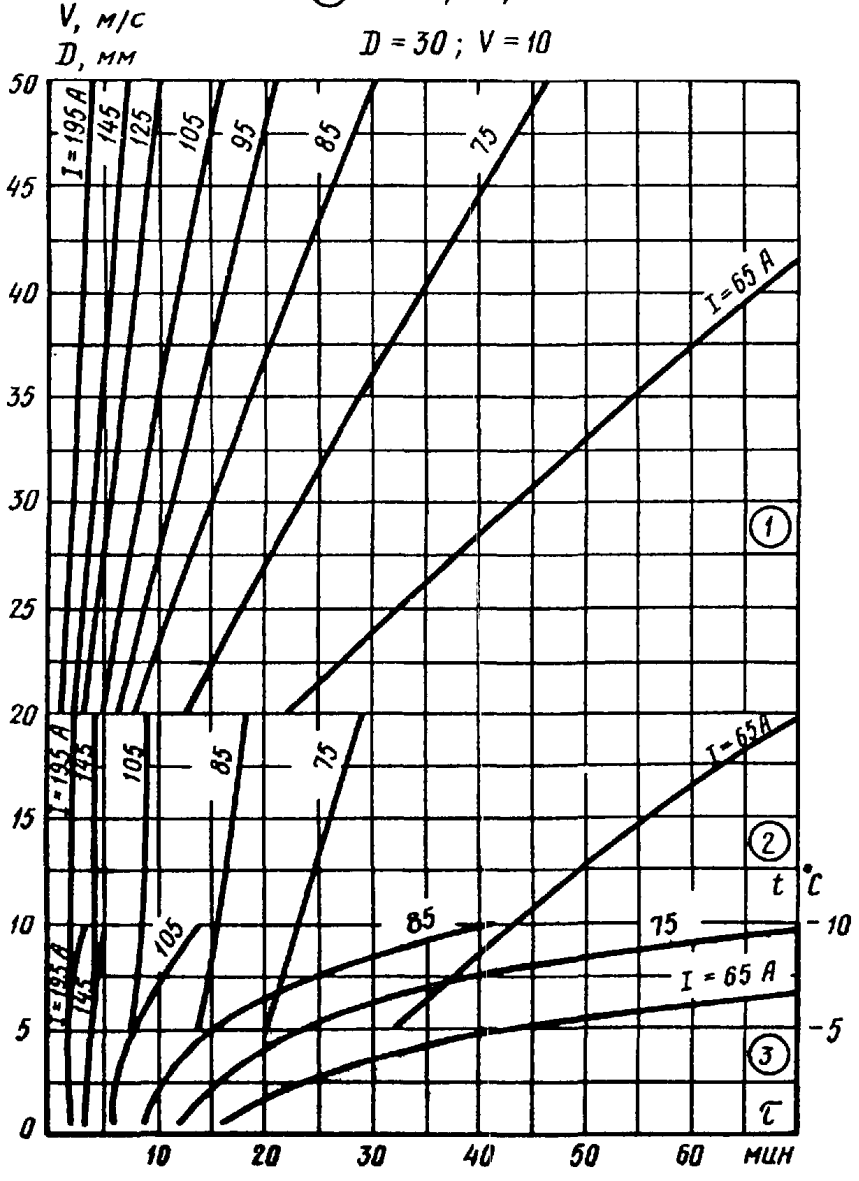


Рис.37

① $D = 20; 30; 40; 50$
$V = 15$; $t = -10$

② $V = 5; 10; 15; 20$
$D = 40$; $t = 10$

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 40$; $V = 15$

Провод ПС-25
$\gamma = 0{,}9$ г/см^3

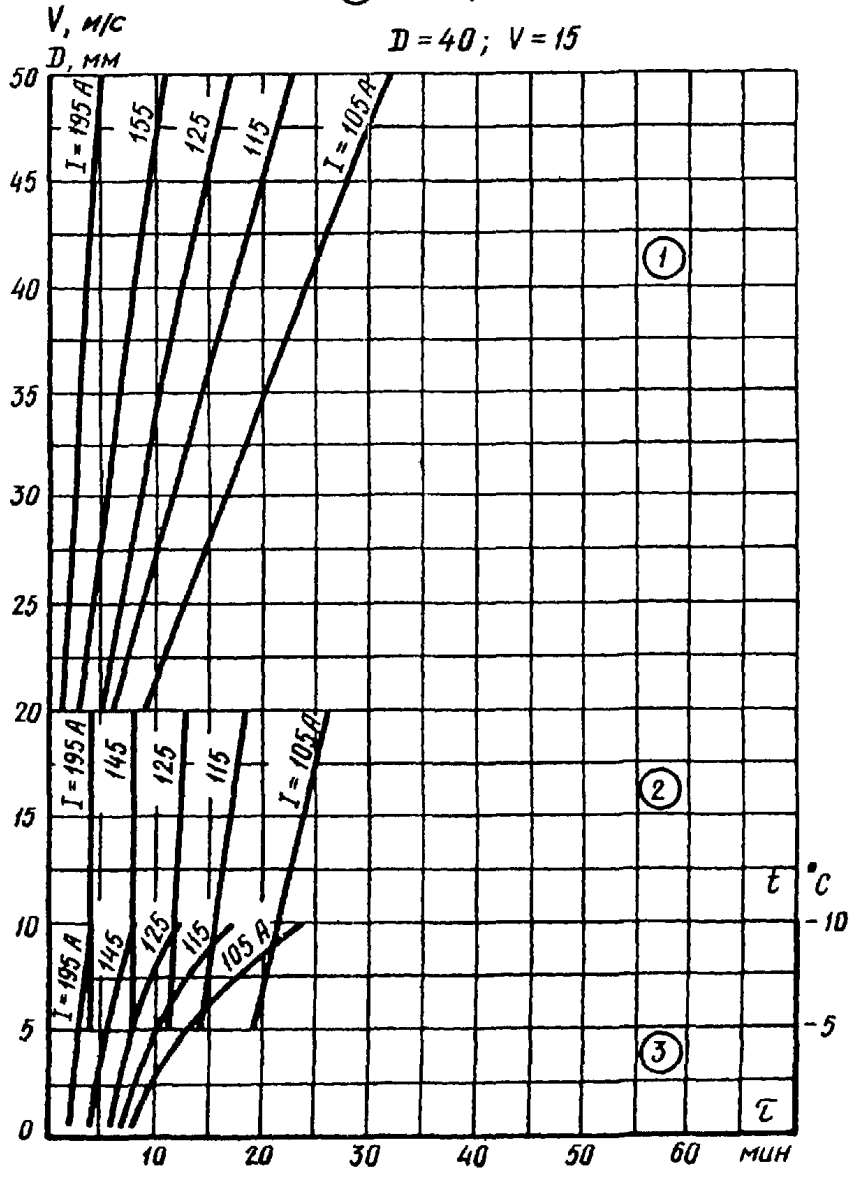


Рис.38

① $D = 20; 30; 40; 50$
$V = 5$; $t = -5$

② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод ПС-35
$D = 20$; $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 20$; $V = 5$

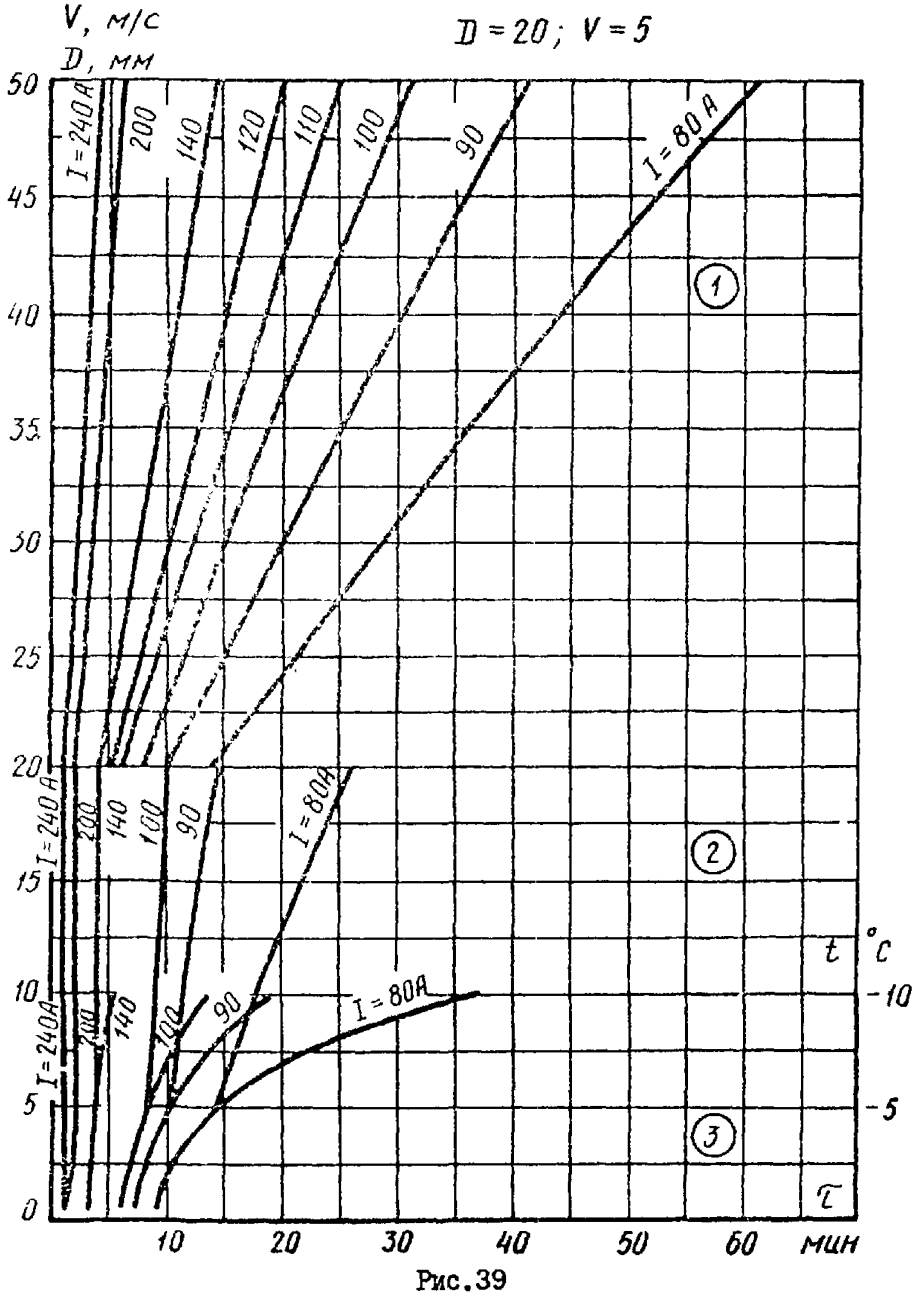


Рис.39

① $D = 20, 30; 40; 50$ ② $V = 5, 10, 15; 20$ Провод ПС-35

$V = 10$; $t = -5$ $D = 30$; $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1, -5; -10$

$D = 30$, $V = 10$

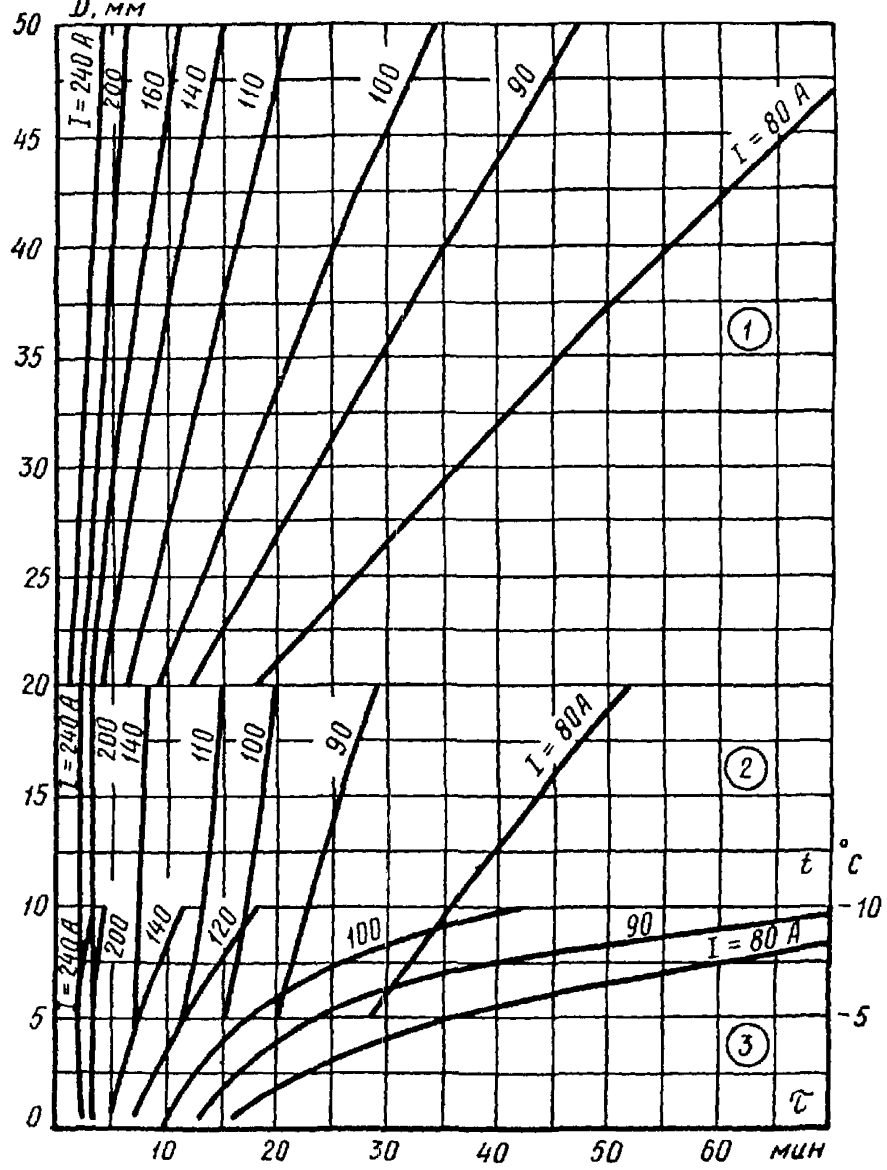


Рис. 40

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод ПС-35

$V = 15;\ t = -10$ $D = 40;\ t = -10$ $\gamma = 0{,}9\ г/см^3$

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 40;\ V = 15$

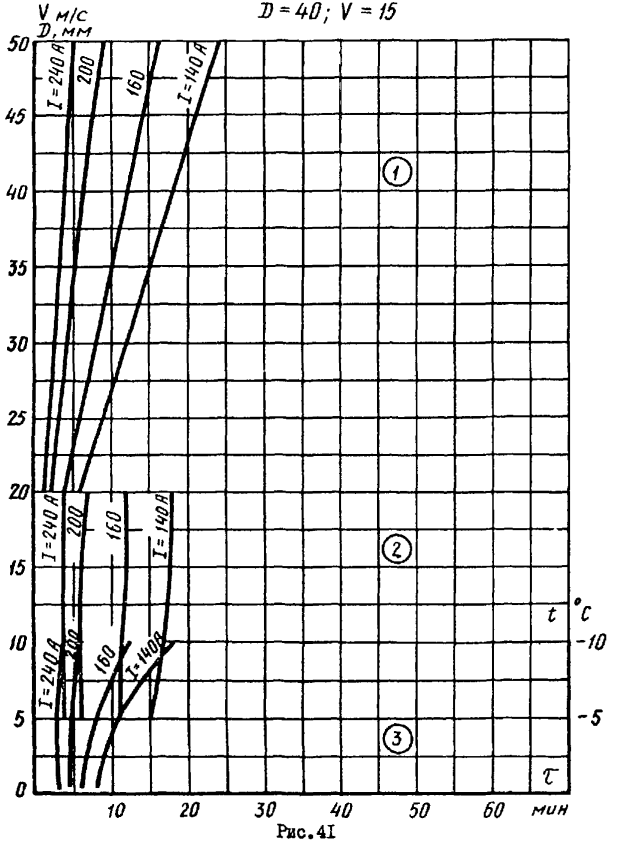


Рис.41

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод ПСО-5

$V = 5$; $t = -5$ $D = 20$; $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 20$; $V = 5$

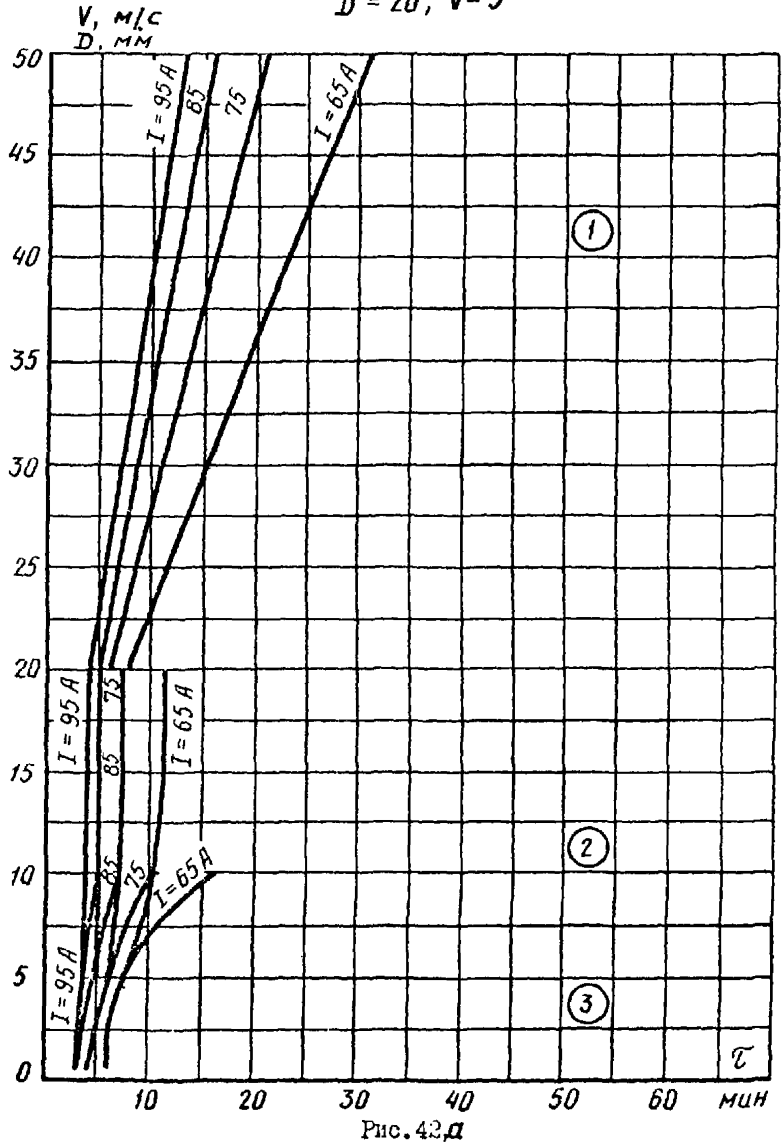


Рис. 42,д

① $D = 20; 30; 40; 50$ ② $V = 5; 10; 15; 20$ Провод ПСО-5

$V = 10$; $t = -5$ $D = 30$; $t = -5$ $\gamma = 0{,}9$ г/см^3

③ $t = -1; -5; -10$

$D = 30$; $V = 10$

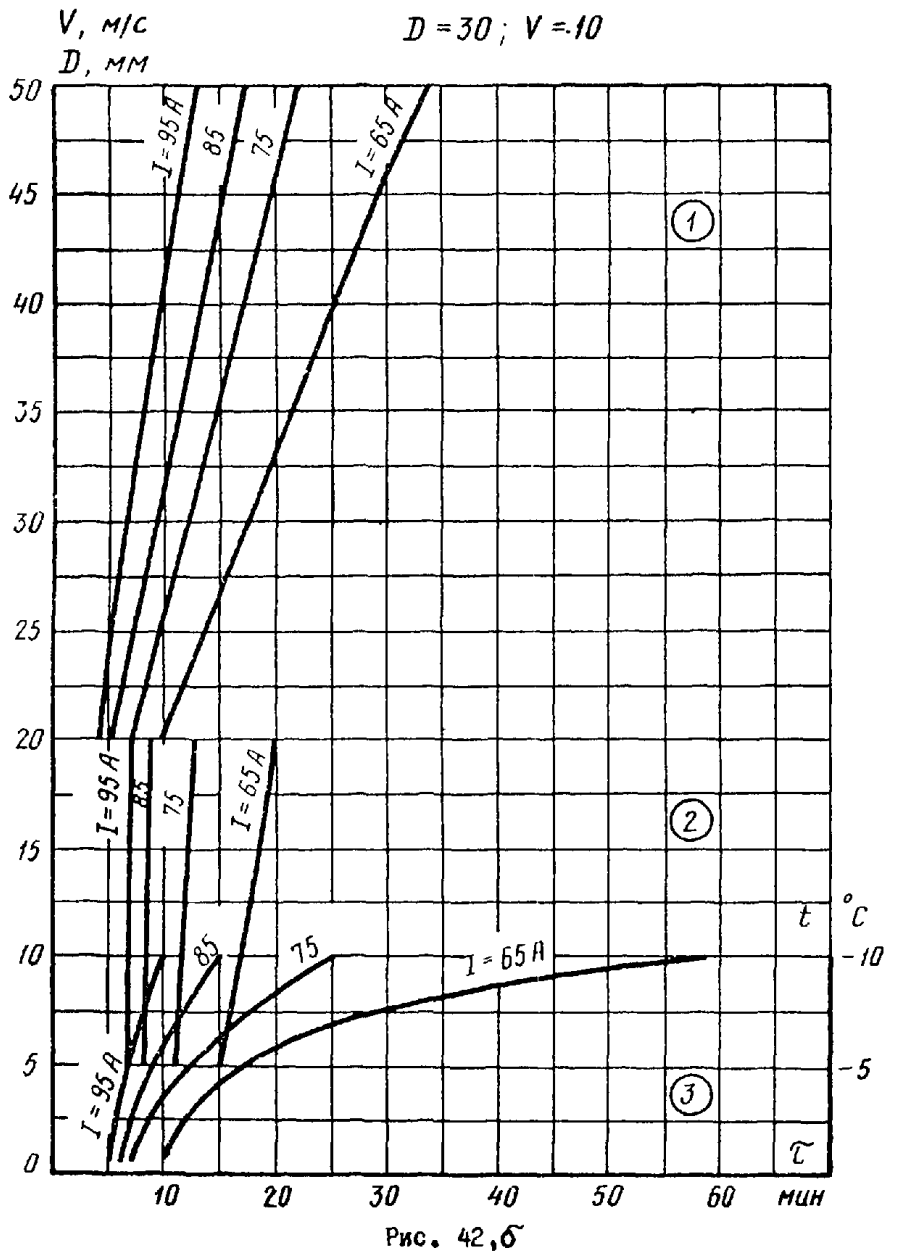


Рис. 42,б

① $D = 20; 30; 40; 50$
$V = 15$; $t = -10$

② $V = 5$; 10 ; 15 ; 20
$D = 40$; $t = -10$

③ $t = -1; -5; -10$
$D = 40$; $V = 15$

Провод ПСО-5
$\gamma = 0{,}9$ г/см^3

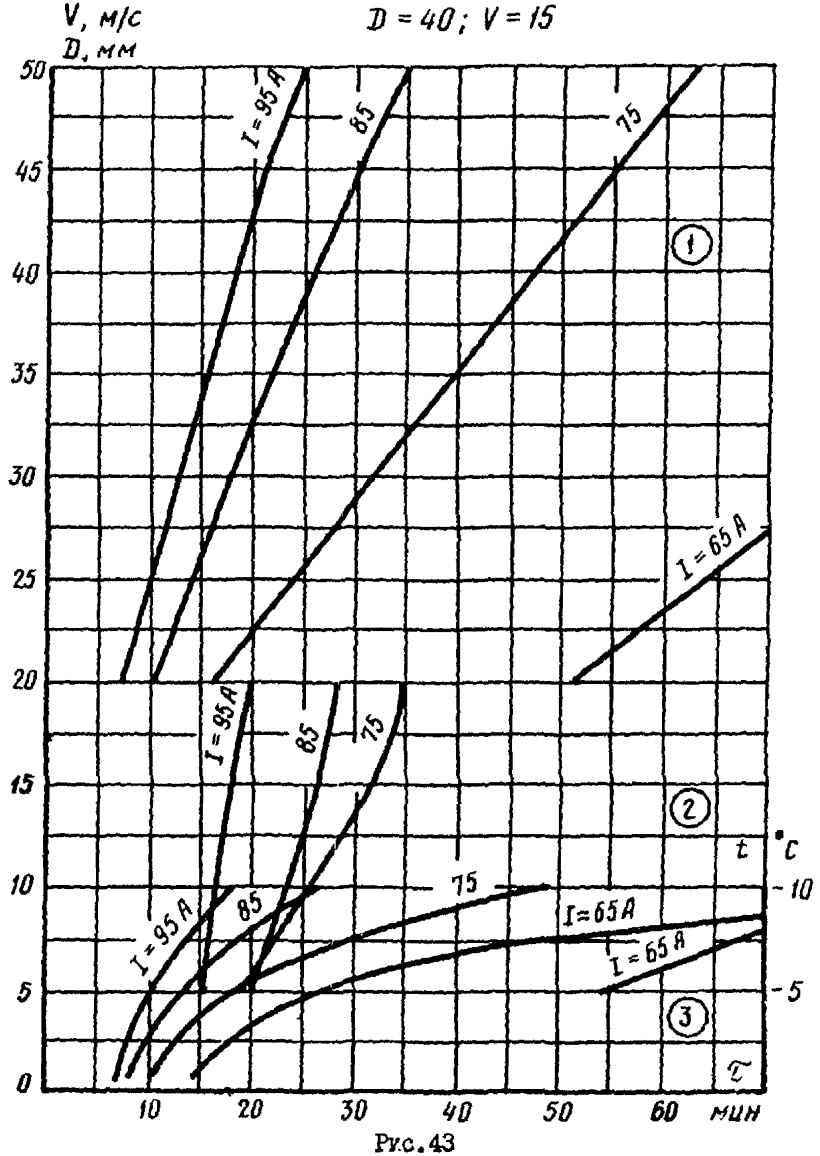


Рис. 43

постоянных υ и t и изменяющегося D.

Кривые, обозначенные на рисунках индексом②, построены для постоянных D и t и изменяющейся υ

Кривые, обозначенные на рисунках индексом③, построены для постоянных D и υ и изменяющейся t.

Единиц измерения: D - мм; t - ^{o}С; υ - м/с, γ - г/см^{3}.

Пример пользования кривыми

Требуется определить время плавки гололеда на линии, выполненной проводом АС-35, при токе 235 А, диаметре гололеда 30 мм, температуре - 5°С и скорости ветра при гололеде 7 м/с.

На рис.31 находим D = 30 мм и t = -5°С. По кривым 2 для υ = 7 м/с и I = 235 А находим τ = 18 мин.

Время плавки изморози практически не зависит от скорости ветра, поэтому кривые для изморози (см.рис.44-63) построены в координатах $t-\tau$ для диаметров изморози 50 и 100 мм.

Приложение 5

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ МОЩНОСТИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ДЛЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Если мощность трансформатора недостаточна для плавки гололеда, производится замена трансформатора более мощным или отключение части потребителей.

Выбор варианта производится в предлагаемой последовательности:

а) по известным токам плавки, нагрузке потребителей и мощности трансформатора определяется фактический коэффициент перегрузки трансформатора $K_{пер}$ при плавке гололеда на каждой из линий;

б) определяются значения коэффициента Π_i

$$\Pi_i = \frac{I_i}{I_{ном.т}}, \qquad (9)$$

где I_i - ток нагрузки i -той линии;

$I_{ном.т}$ - номинальный ток трансформатора;

в) сопоставлением фактических и допустимых кратностей перегрузки определяются линии, которые должны быть отключены во время плавки по условию

Провод А-25

D = 50 мм; γ = 0,2 г/см^3

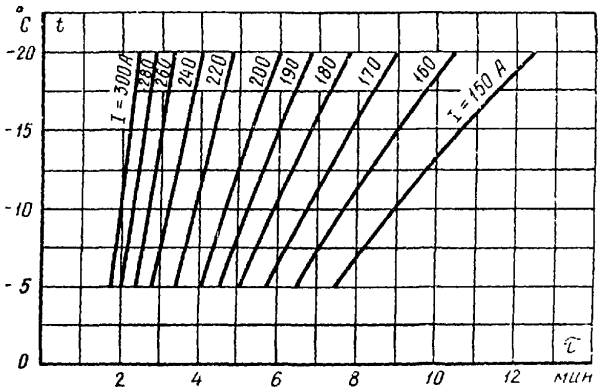


Рис. 44

Провод А-25

D = 100 мм; γ = 0,2 г/см^3

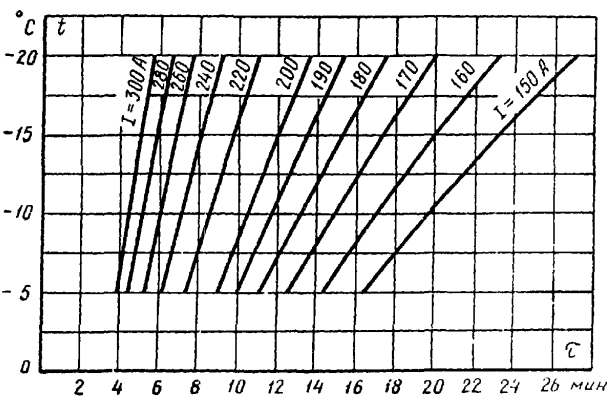


Рис. 45

Провод А-35

D = 50 мм; γ = 0,2 г/см^3

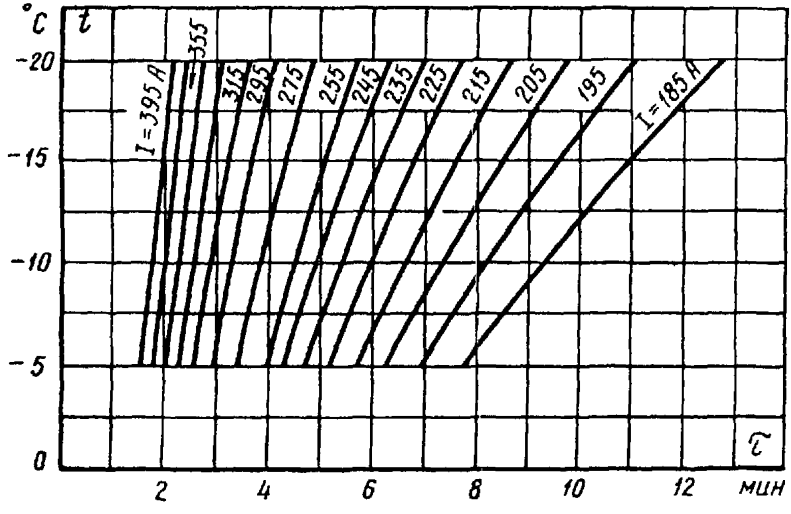


Рис. 46

Провод А-35

D = 100 мм; γ = 0,2 г/см^3

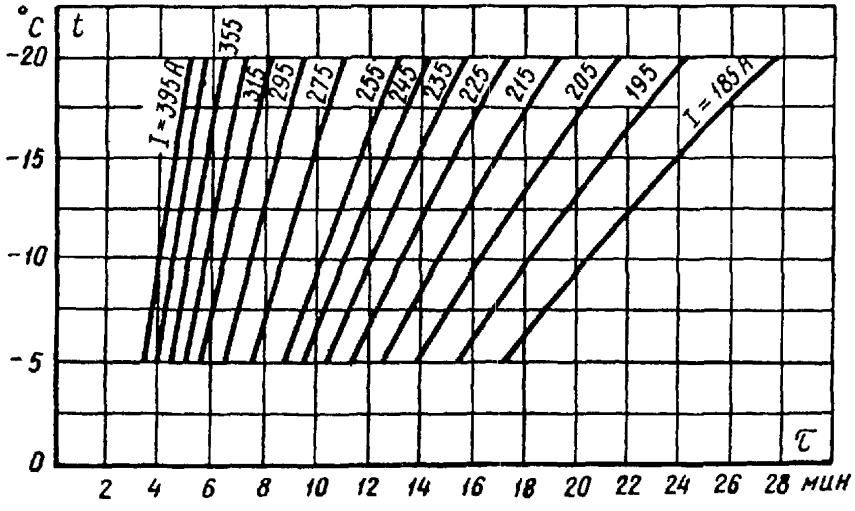


Рис. 47

Провод А-50

D = 50 мм ; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

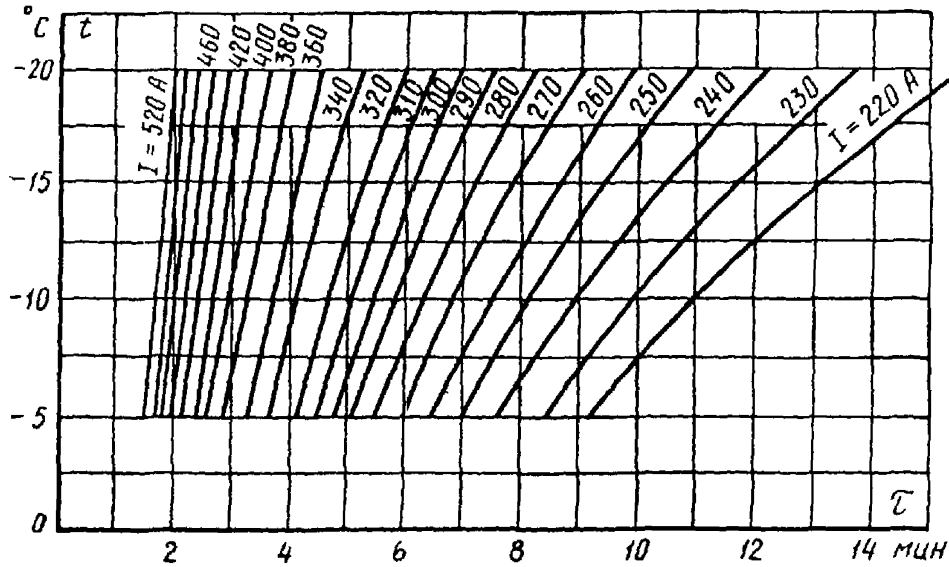


Рис.48

Провод А-70

D = 50 мм ; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

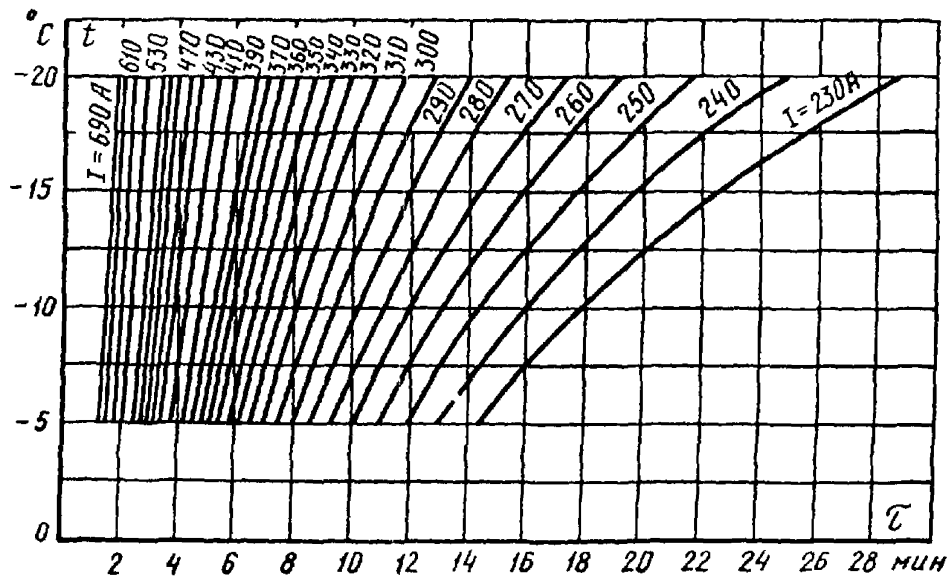


Рис.49

Провод А-50

D = 100 мм; γ = 0,2 г/см^3

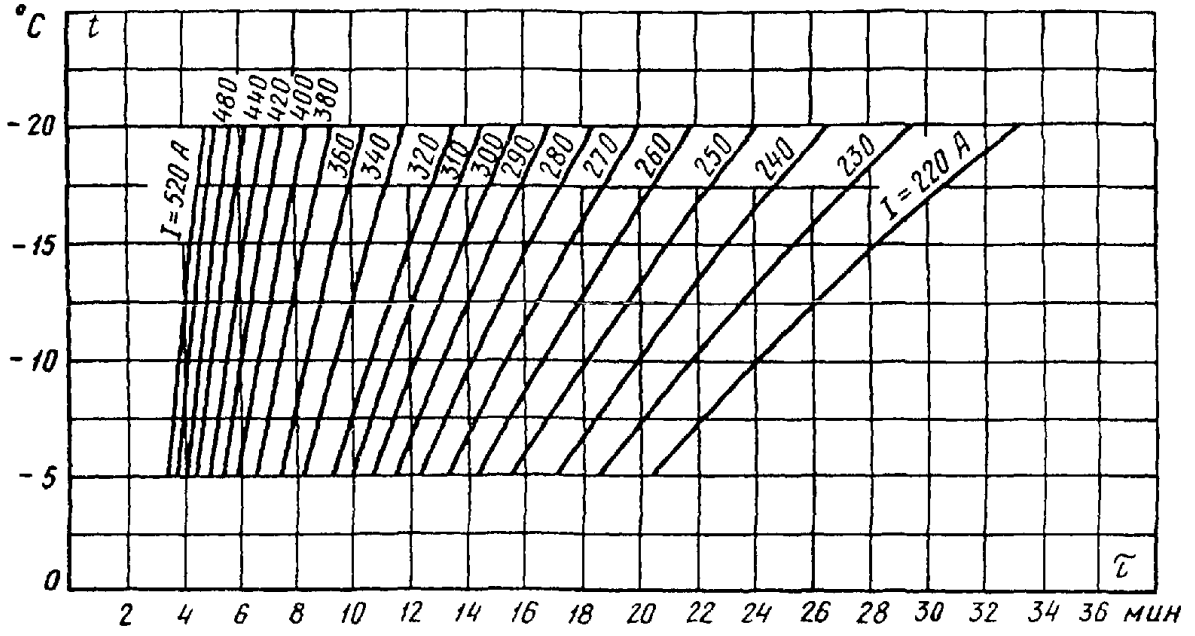


Рис. 50

Провод А-70

D = 100 мм; γ = 0,2 г/см^3

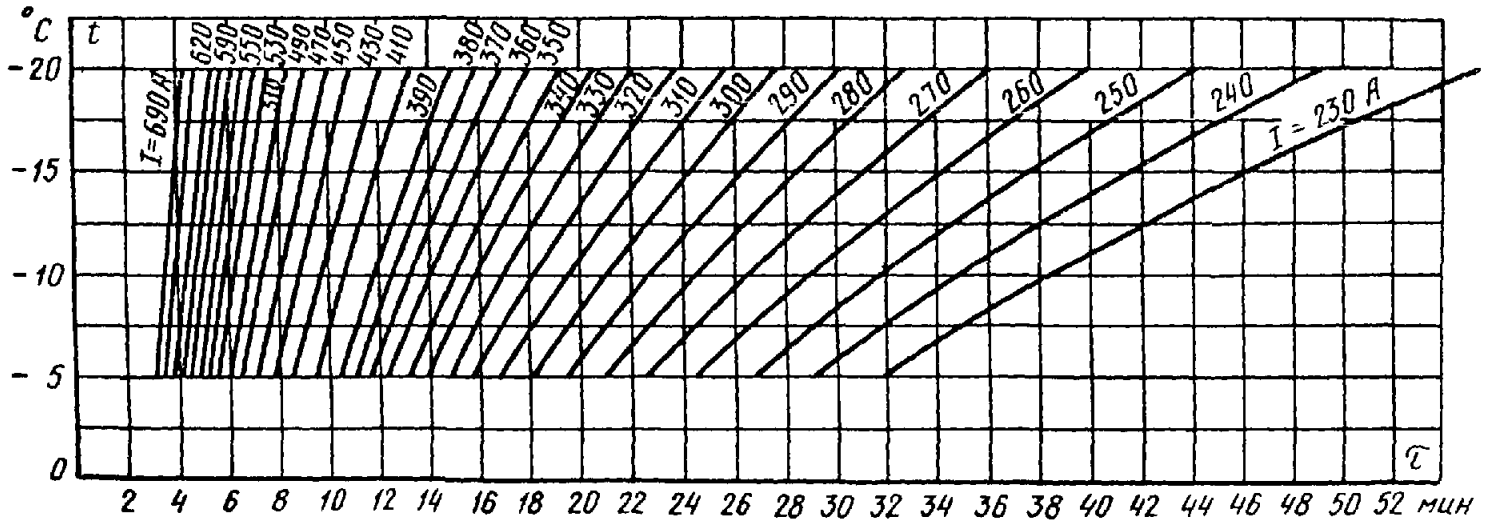


Рис.5I

Провод АС-25

D = 50 мм; γ = 0,2 г/см^3

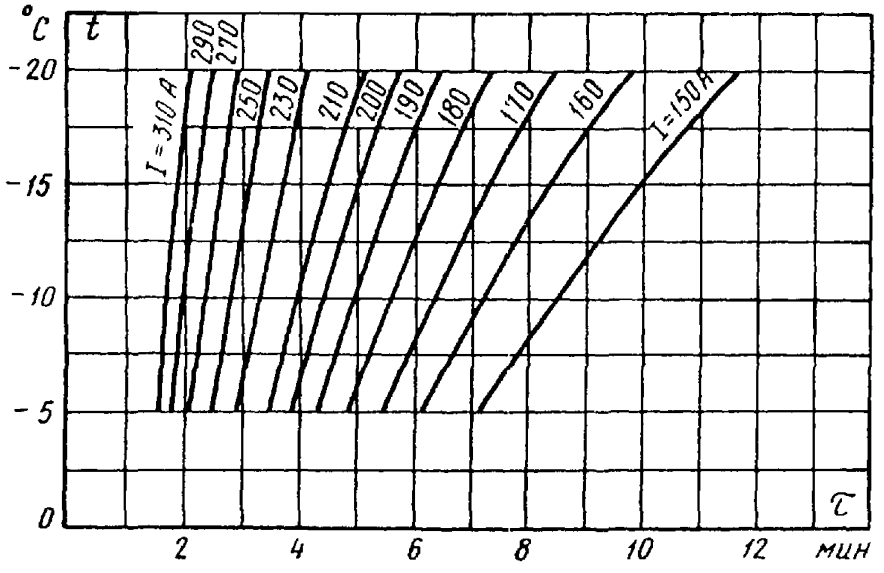


Рис.52

Провод АС-25

D = 100 мм; γ = 0,2 г/см^3

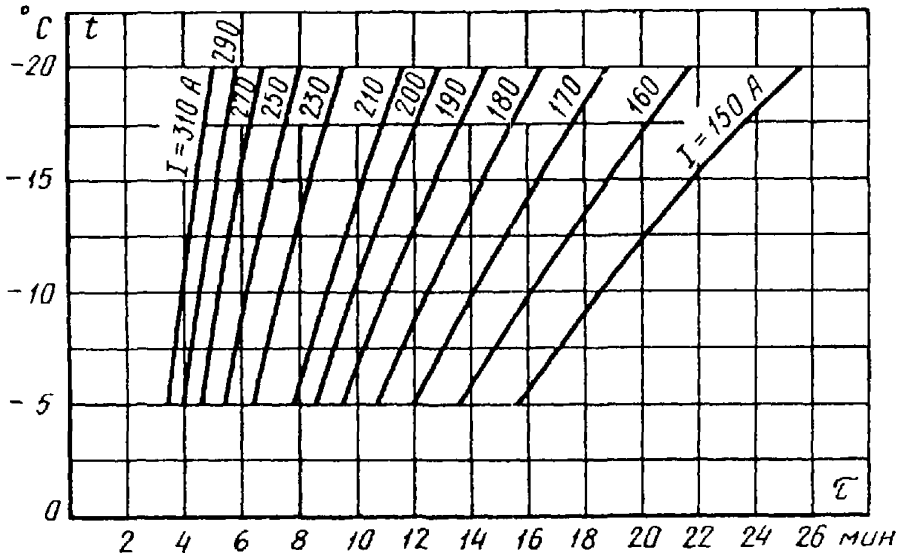


Рис.53

Провод АС-35

$D = 50$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

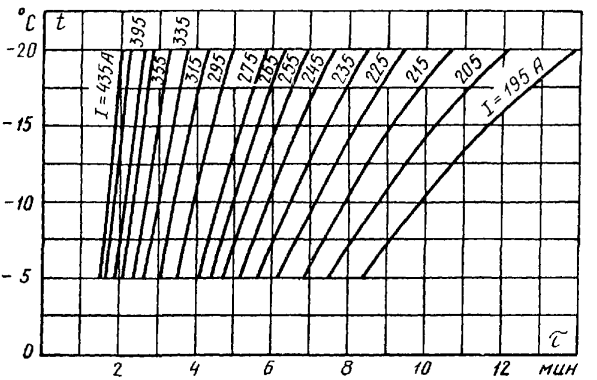


Рис. 54

Провод АС-35

$D = 100$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

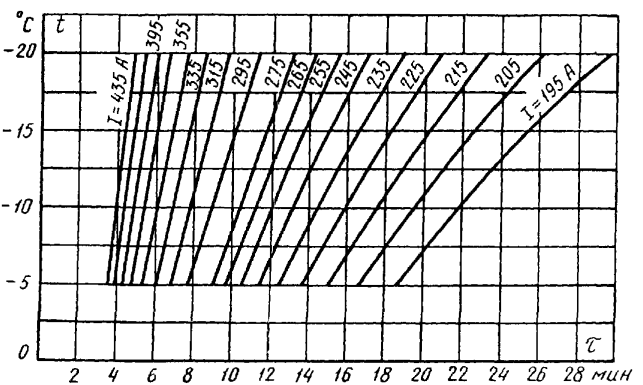


Рис. 55

Провод АС-50

D = 50 мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

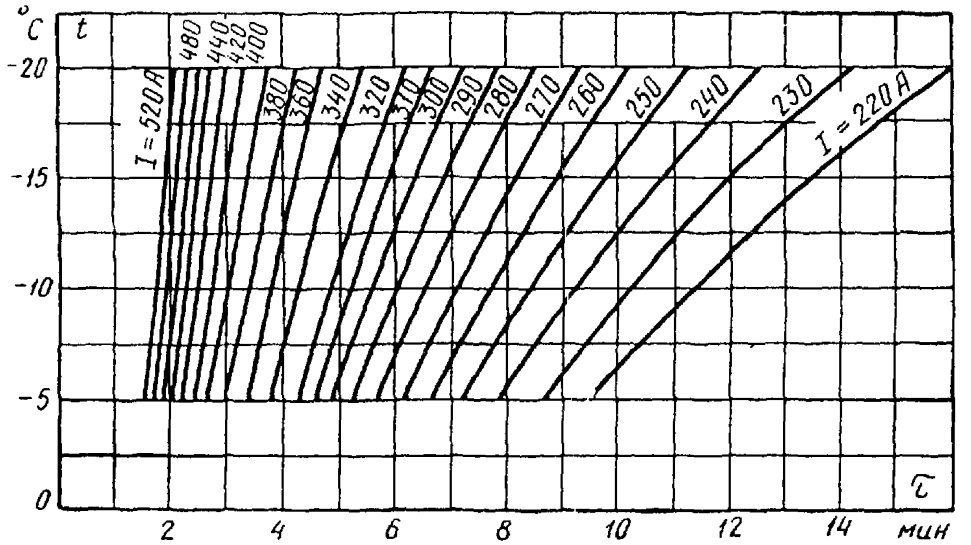


Рис. 56

Провод АС-50

D = 100 мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

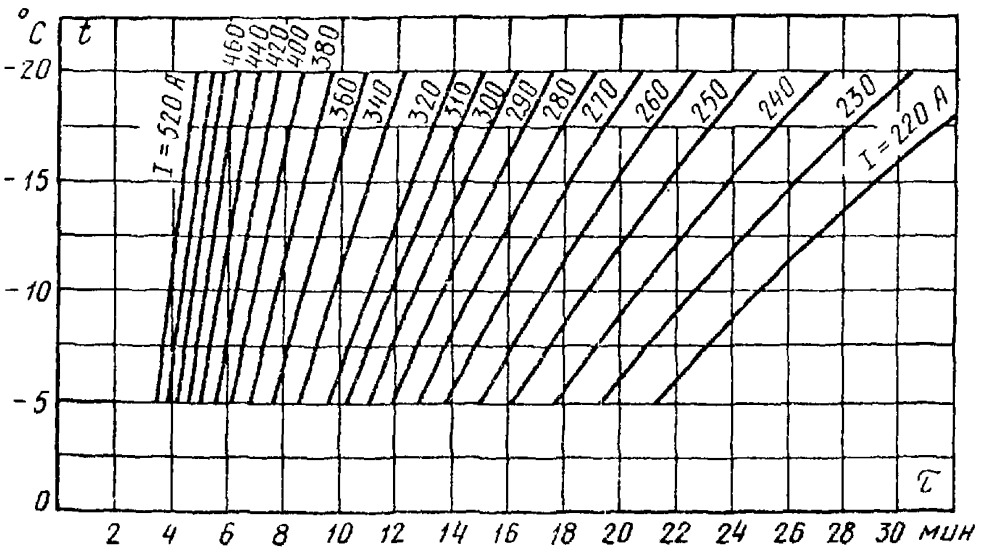


Рис. 57

Провод ПСО-5

$D = 50$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

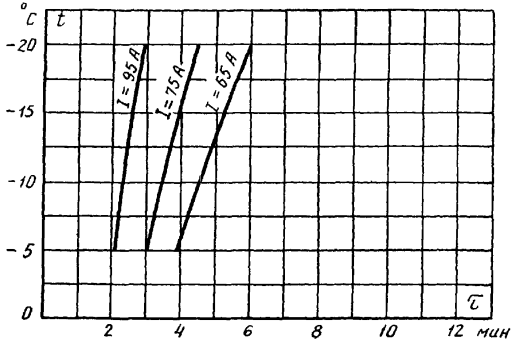


Рис. 58

Провод ПСО-5

$D = 100$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

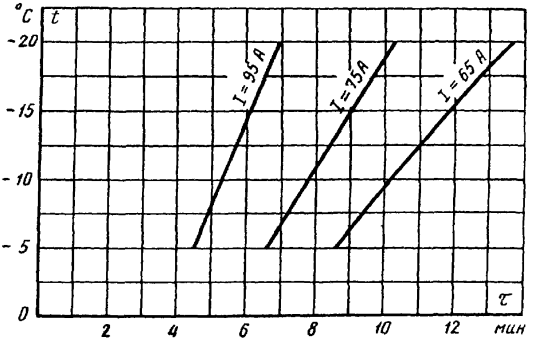


Рис. 59

Провод ПС-25

D = 50 мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

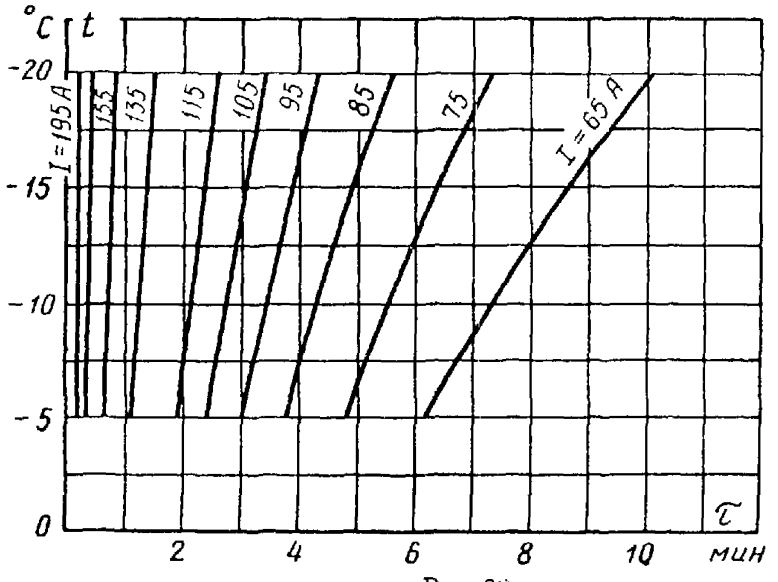


Рис.60

Провод ПС-25

D = 100 мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

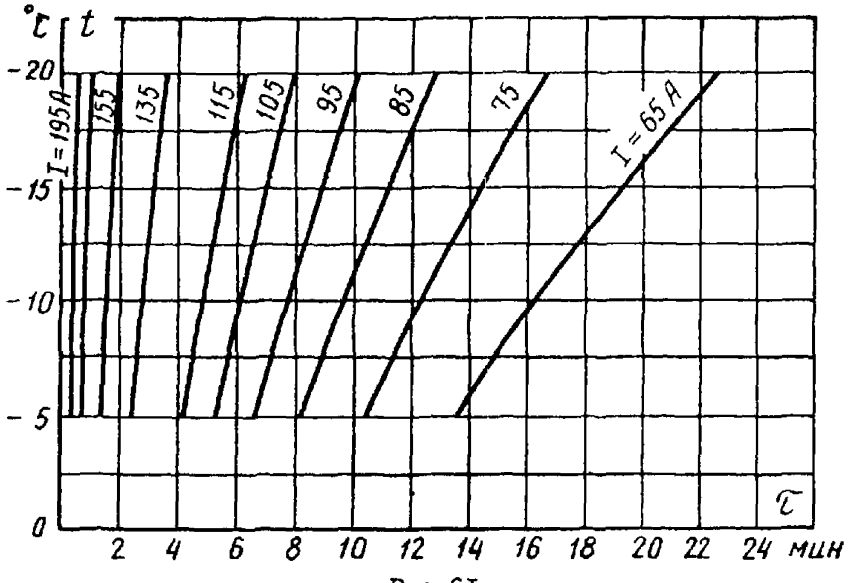


Рис.61

Провод ПС-35

$D = 50$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

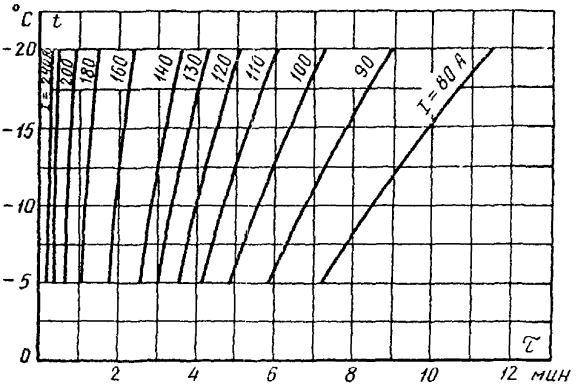


Рис.62

Провод ПС-35

$D = 100$ мм; $\gamma = 0{,}2$ г/см^3

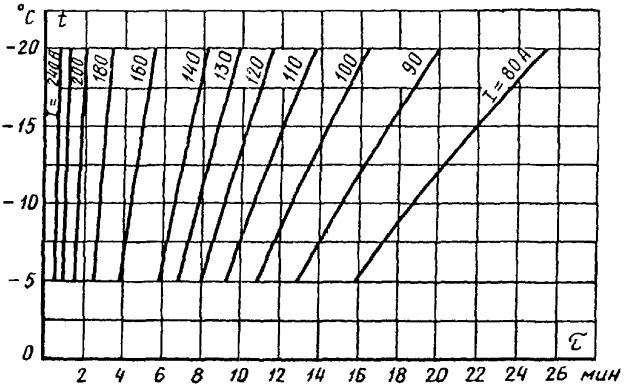


Рис.63

$$K_{пер} - П_i \leq K ; \qquad (10)$$

г) замена трансформатора большим по мощности необходима при условии

$$K_n(E_н P_a + A_n + W_n n \sum_i П_i y_i (t_{пл.i} + t_n)) \geq K_{n+1}(E_н + P_a) + A_{n+1} , \qquad (11)$$

где K_n и K_{n+1} – стоимости трансформаторов меньшей и большей мощности соответственно, тыс.руб.;

A_n и A_{n+1} – годовые стоимости потерь электроэнергии в тех же трансформаторах, тыс.руб.;

$E_н = 0,12$ – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$P_a = 0,063$ – коэффициент амортизационных отчислений;

W_n – мощность установленного на подстанции трансформатора, кВ·А.

n – предполагаемое количество плавок в течение года;

y_i – удельный ущерб при отключении нагрузок, принимаемый в зависимости от характера потребителей, руб/кВт.ч;

$t_{пл.i}$ – время плавки гололеда на i -той линии, ч;

t_n – время переключений (принимается на основании опыта эксплуатации), ч;

В случае, если условие II не выполняется, замена трансформатора невыгодна.

Пример экономического сравнения вариантов

На подстанции 35/10 кВ установлен один трансформатор ТМП-4000/35 мощностью 4000 кВ·А. От подстанции отходят четыре линии напряжением 10 кВ, на каждой из которых предусмотрена плавка гололеда. Основные параметры плавки и данные о предполагаемом ущербе от отключения потребителей приведены в табл.1.

Нагрузка, предшествующая началу плавки, равна номинальной мощности трансформатора. Предполагается проведение двух плавок в течение гололедного сезона.

Таблица I

Номер линии	Длина линии, км	Ток нагрузки, А	Ток плавки, А	Время плавки, мин	Удельный ущерб у потребителей в результате отключения, руб/кВт·ч при	
					варианте I	варианте 2
I	24	73	278	I0	0,05	0,I5
2	2I	50	II6	I4	0,I5	0,2
3	23	42	296	I0	0,05	0,2
4	I4	70	300	I0	0,I5	0,I5

Требуется определить оптимальный режим работы подстанции при двух вариантах заданных величин удельных ущербов.

Вариант I

I. Определяется нагрузка трансформатора при поочередной плавке гололеда на каждой из линий:

$$I_1 = I_{пл1} + I_{нагр2} + I_{нагр3} + I_{нагр4} = 440А.$$

$$I_2 = I_{пл2} + I_{нагр1} + I_{нагр3} + I_{нагр4} = 30IА.$$

$$I_3 = I_{пл3} + I_{нагр1} + I_{нагр2} + I_{нагр4} = 489А.$$

$$I_4 = I_{пл4} + I_{нагр1} + I_{нагр2} + I_{нагр3} = 465А.$$

2. Производится сравнение перегрузки во время плавки с перегрузочной способностью трансформатора, представленной кривыми на рис.3.

Результаты приведены в табл.2.

Таблица 2

Показатель	Значения показателей для линий №			
	I	2	3	4
$K_{пер}$	I,9I	I,3I	2,I3	2,02
$t_{пл}$	I0	I4	I0	I0
$K_{доп}$	I,8	I,7	I,8	I,8

Допустимая перегрузка трансформатора не превышается только при плавке на линии № 2.

Требуется решить, целесообразно ли отключать нагрузку при плавке гололеда на остальных линиях или производить замену трансформатора.

Учитывая значения $П_1 = 0,32$; $П_2 = 0,22$; $П_3 = 0,18$; $П_4 = 0,31$, полученные по данным табл.I и формуле (9), можно принять, что при плавке на линии № I отключается линия № 3; при плавке на линии № 3 - линия № 4 и при плавке на линии № 4 - линия № 2.

3. На основании условия (II) определяется необходимость замены трансформатора или отключения части нагрузок.

Основные данные для расчета приведены в табл.3.

Таблица 3

Мощность трансформатора, ВА	Стоимость трансформатора $К$, тыс.руб.	Годовая стоимость потерь А, тыс.руб.
4000	I5,0I	0,935
6300	I8,55	0,7I2

где

$$к_п(E_н+P_д)+A_п+4000\cdot 2\sum_i П_i y_i(t_{плi}+t_п)\cdot 10^{-3} \gtrless к_{п+1}(E_н+P_д)+A_{п+1},$$

$$\sum_i П_i y_i(t_{плi}+t_п)=П_3 y_3(t_{пл1}+t_п)+П_1 y_i(t_{пл3}+t_п)+П_2 y_2(t_{пл4}+t_п)=0,052$$

В результате получаем $4,I \approx 4,I02$. Следовательно, для обеспечения плавки гололеда достаточно отключить часть нагрузки трансформатора.

Вариант 2.

Путем сравнения по формуле (II) определяем целесообразность замены трансформатора мощностью 4000 кВ·А трансформатором мощностью 6300 кВ·А.

Приложение 6

МЕТОДИКА РАСЧЕТА МОЩНОСТИ И СТУПЕНЕЙ ВТОРИЧНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ПОДСТАНЦИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

Плавка гололедно-изморозевых отложений на ответвлениях производится по схеме, приведенной на рис.64.

Ступени вторичного напряжения выбираются в следующей последовательности:

а) на линии выделяются ответвления и участки магистрали, гололед на которых не может быть расплавлен при номинальном напряжении;

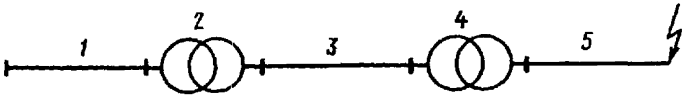


Рис.64. Схема плавки гололеда на ответвлениях с использованием передвижной подстанции:

I - питающая ВЛ напряжением U_{Π} = 35-110 кВ с полным удельным сопротивлением Z_1, Ом/км, длиной ℓ_1, км; 2 - питающий трансформатор 35-110/60-20 кВ номинальной мощностью W_1, кВ·А, и напряжением к.з. U_{K_1}, %; 3 - ВЛ напряжением $U_{ном}$ = 6-20 кВ, к которой присоединяется передвижная подстанция. Полное сопротивление ВЛ $\Sigma Z_i \ell_i$, Ом, равно сумме полных сопротивлений отдельных участков с удельным полным сопротивлением Z_i, Ом/км, и соответствующей длиной ℓ_i, км; 4 - трансформатор(автотрансформатор) передвижной подстанции номинальной мощностью W_2, кВ·А, напряжением к.з. U_{K_2}% Вторичное напряжение передвижного трансформатора $U_2 = U_{ном} \cdot K$, кВ·А. где K - коэффициент трансформации соответствующей ступени; 5 - ответвление, полное сопротивление которого $\Sigma Z_i \ell_i$, Ом, равно сумме полных сопротивлений отдельных участков с удельным полным сопротивлением каждого Z_j, Ом/км, и соответствующей длиной ℓ_j, км

б) для каждого из участков определяются токи и мощность плавки на всех возможных ступенях напряжения (рассматриваются ступени в диапазоне от 100 В до номинального напряжения через каждые 100 В).

Ток для каждой ступени определяется по формуле

$$I = \frac{W_1 W_2 U_п^2 U_{ном} K}{\sqrt{3}(Z_1 \ell_1 W_1 W_2 U_п^2 K^2 + W_1 W_2 U_п^2 K^2 \sum_i Z_i \ell_i + W_1 W_2 U_п^2 \sum_j Z_j \ell_j + U_{к1} W_2 U_п^2 K^2 + U_{к2} W_1 U_п^2 U_{ном}^2 K^2} \quad (12)$$

Примечание. Обозначения в формуле соответствуют обозначениям на рис.64.

Необходимая мощность трансформатора (автотрансформатора) передвижной подстанции определяется с учетом перегрузочной способности, равной 2,1, по формуле

$$W_2 = 0{,}835 \cdot I \cdot U_{ном} \cdot K; \quad (13)$$

в) по полученным значениям тока выбираются ступени напряжения (не более 5), необходимые для обеспечения плавки, с учетом ограничений по мощности трансформатора и времени плавки. Мощность трансформатора, как правило, не должна превышать 400кВА. Время плавки определяется по кривым приложения 4.

Решение № 3-20/72
Руководящие указания по плавке гололеда
на ВЛ напряжением до 20 кВ,
проходящих в сельской местности
Издание Специализированного центра
научно-технической информации ОРГРЭС

Редактор В.А.Кудрявцева
Техн.редактор Г.Д.Глазова Корректор Л.Ф.Петрухина
3,57 уч.-изд.л. Цена 36 коп. (25/74) Заказ № 198/72
Л53564 Подписано к печати 14/I 1974 г. Тираж 3510 экз.
Ротапринт СЦНТИ ОРГРЭС
109432,Москва,Ж-432, 2-й Кожуховский проезд, д.29, корп.6
gost.e-ecolog.ru