

РЕШЕНИЕ №Э-20/72
РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ПЛАВКЕ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 20кВ,
ПРОХОДЯЩИХ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

РД 34.20.512-74

**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

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

УДК 621.315.175(083.96)

Составлено

Всесоюзный научно-исследовательским институтом электроэнергетики, Всесоюзным
государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом
"Сельэнергопроект"

(Украинское отделение) и районным энергетическим управлением Башкирэнерго

Авторы 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.ЛИВИШЦ (РЭУ Башкирэнерго)

Редактор инж.З.Ф.ЗЯБКИНА

1. Основные методические указания по плавке гололеда¹ 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 удалить гололед на десятках километров линий, предупредив 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 1. 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 передвижных трансформаторов).

¹ Здесь и далее под гололедом подразумеваются все виды обледенения проходов ВЛ.

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

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

10. Ток плавки гололеда определяется по следующим формулам.

а) при способе трехфазного к.з.:

$$I^{(3)} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot 10^3}{\sqrt{3}(Z_c + Z_T + Z_\lambda)} \quad (1)$$

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

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

$Z_T = X_T = \frac{U_K U_{\text{ном}}^2}{100 \cdot W_{\text{ном}}}$ - сопротивление питающего трансформатора, приведенное к

напряжению цепи плавки Ом;

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

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

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

б) при способе двухфазного к.з.;

$$I^{(2)} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot 10^3}{2(Z_c + Z_T + Z_\lambda)} \quad (2)$$

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

$$I^{(\delta)} = \frac{2U_{\text{ном}} \cos \frac{\delta}{2}}{Z_{c1} + Z_{c2} + Z_{T1} + Z_{T2} + Z_\lambda} \quad (3)$$

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.

11. Способ трехфазного к.з. при номинальном напряжении сети (рис.1) является наиболее простым и распространенным и применяется на магистральных участках сети и ответвлениях, если получаемые токи к.з. достаточны для плавки гололеда.



Рис.1. Схема плавки гололеда:

1 - энергосистема; 2 - питающий трансформатор; 3 - магистральная ВЛ 6-20 кВ; 4 - ответвление; 5 - место к.з.

12. 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.

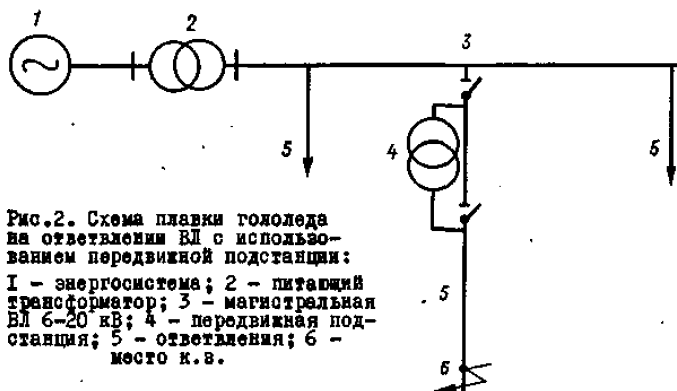
13. Для подключения передвижного трансформатора при плавке гололеда без

отключения питающей линии в месте его подключения должны быть установлены разъединители.

14. Время плавки на отдельных участках сети не должно превышать 1 ч.

15. 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;



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,

16. 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 двигателя на время плавки должны быть отключены.

17. 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.1.

Таблица 1

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

№ п.п.	Объект, пересекаемый ВЛ	Габарит (м) не менее
1	Линии электропередачи равного или более низкого напряжения	1,0
1	Линии связи и сигнализации	1,0
3	Провода или несущие тросы троллейбусной или трамвайной линии	1,0
4	Полотно железной дороги широкой колес	6,0
5	Полотно автомобильной дороги	4,5
6	Земля	4,5

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

18. Для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов при длительном режиме плавки определяющим является условие сохранения механической прочности. Допустимая

температура нагрева этих проводов при плавке 90°C.

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

Для проводов марки ПС по условию механической прочности допустима температура 250°C, 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 номограмме, приведенной в приложении 3.

В повторно-кратковременном режиме для проводов марок А и АС по условию механической прочности допускается температура 130°C.

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

19. При использовании данных табл.2 и номограммы (см.приложение 3) следует принимать следующую расчетную скорость ветра: $V = 2$ м/с для районов, где скорость ветра при гололеде достигает 15 м/с, и $U=4$ м/с для районов, где скорость ветра при гололеде превышает 15 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/см³ (рис.15-43) и изморози 0,2 г/см³ (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		
	$t = -1^\circ\text{C}$	$t = -5^\circ\text{C}$	$t = -10^\circ$	$t = -1^\circ\text{C}$	$t = -5^\circ\text{C}$	$t = -10^\circ\text{C}$
A-25	254	260	266	295	305	313
A-35	314	323	328	368	374	384
A-50	394	410	415	465	475	485
A-70	485	497	501	572	584	600
AC-25	247	252	258	290	297	304
AC-35	336	342	352	398	405	415
AC-50	398	406	416	465	476	490
AC-70	496	510	521	580	583	610

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 наибольшим 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.

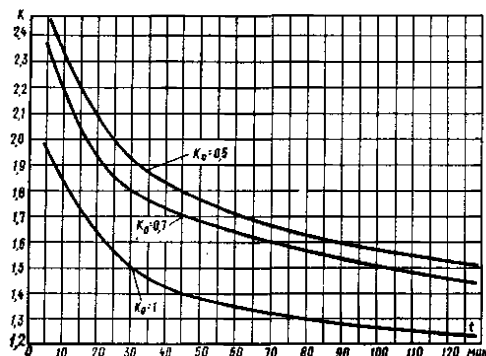


Рис.3. Допустимые кратности перегрузки стационарных трансформаторов подстанций:
 K_0 - коэффициент загрузки трансформатора в режиме, предшествующем режиму плавки гололеда

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 1,5 раза.

27. Кабельные выводы и вставки напряжением 6-20 кВ в режиме плавки допускают перегрузки в соответствии с § 31.4 "Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей" с учетом поправочных коэффициентов на температуру воздуха и земли, приведенных в табл.1-3-36 гл.1-3 "Правил устройства электроустановок".

28. Для трансформаторов тока ТПЛ-10 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	10	15	20	30	40	50	60
K	5	3,7	3,1	2,8	2,6	2,15	2,0	1,9

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 1

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер предприятия
электрических сетей

" " _____ 197 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 РПП-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 X, о необходимости отключения электродвигателей на время плавки.

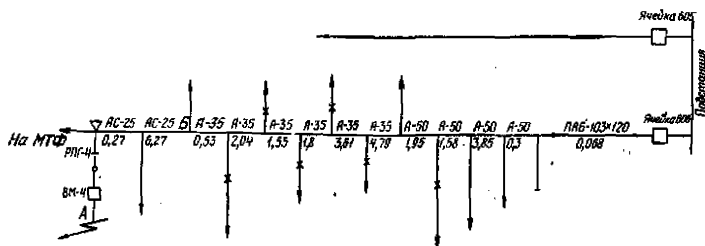
Связь

еффонная с диспетчером электрических сетей с ближайших почтовых отделений.

Условные обозначения на схеме

X - 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
A-50	215	7,68				
A-35	175	14,58	28,9	210	3,83	25
AC-25	130	6,48				
Согласовано					Разработал	
Начальник РЭС					Начальник службы РЭС Номер карты ()	
Начальник ОДС						
Начальник МС РЗАИТ						
Начальник подстанции						

Приложение 2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЖИМА ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА В ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

Расчет плавки гололеда в повторно-кратковременном режиме, характеризуемой 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°C и ниже или скорости ветра 4 м/с и более, определяется в соответствии с п.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°C 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 $\tau_{(c)}$ определяется по формуле

$$\tau = \frac{36,4\gamma d(\epsilon + 0,265d) \cdot 10^3 + 164\gamma(D^2 - d^2)t_2 + \sum c\gamma_n S(20 + t_2)}{I^2 R_0 - (0,09D + 1,1\sqrt{UD})t_2} \quad (4)$$

где γ - объемный вес льда, г/см³;

d - диаметр провода без гололеда, см;

ϵ - толщина стенки гололеда, см;

D - наружный диаметр провода, покрытого гололедом, см;

t_2 - абсолютное значение температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

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

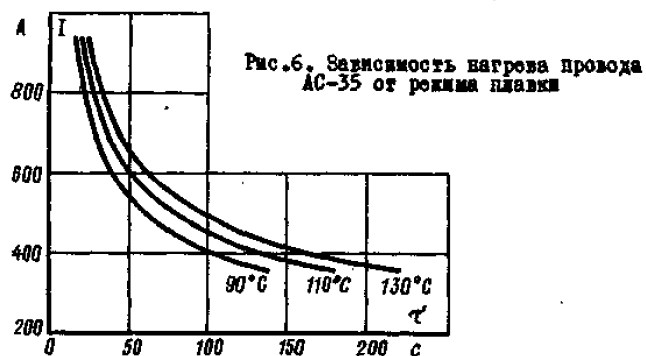
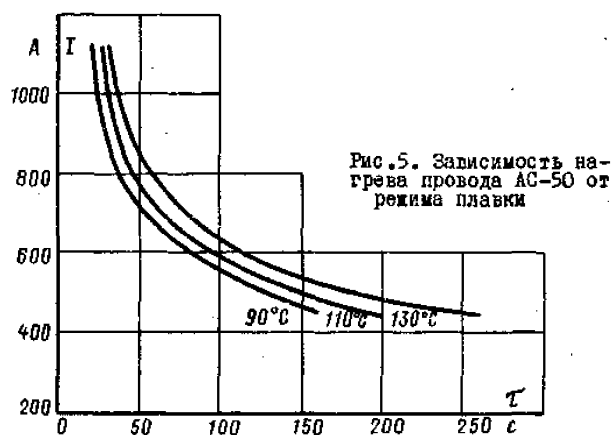
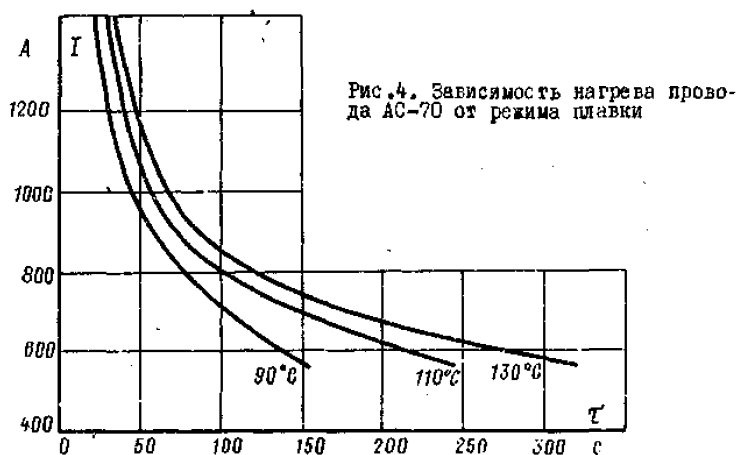
γ_n - объемный вес материала провода, г/см³;

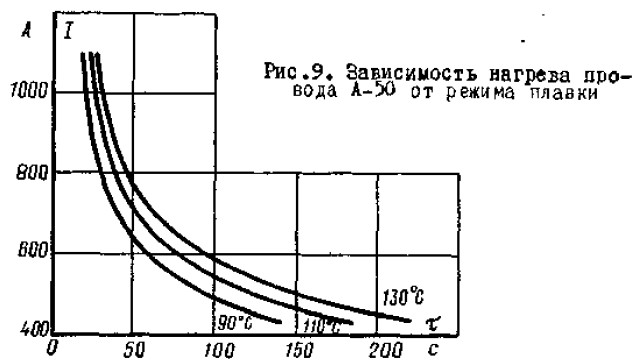
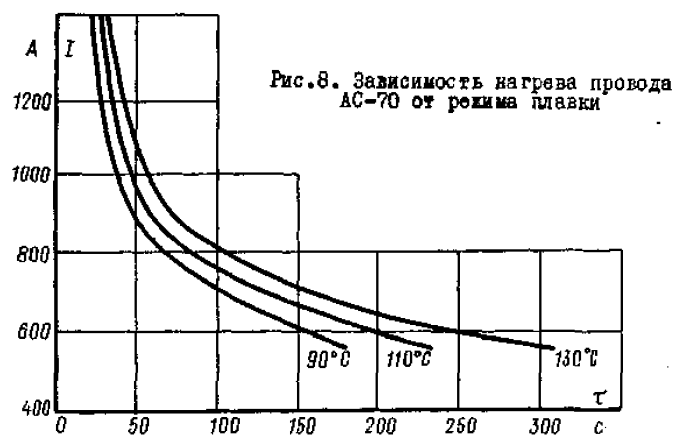
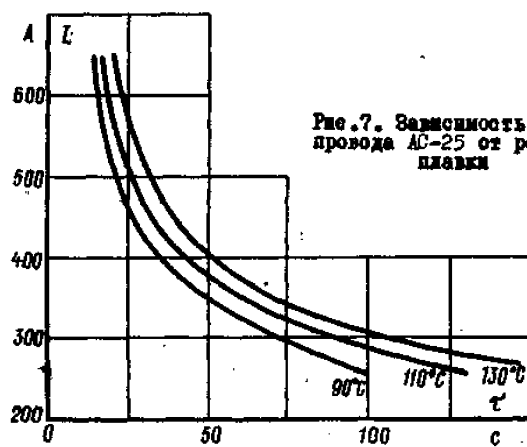
S - сечение провода, см^2 ;

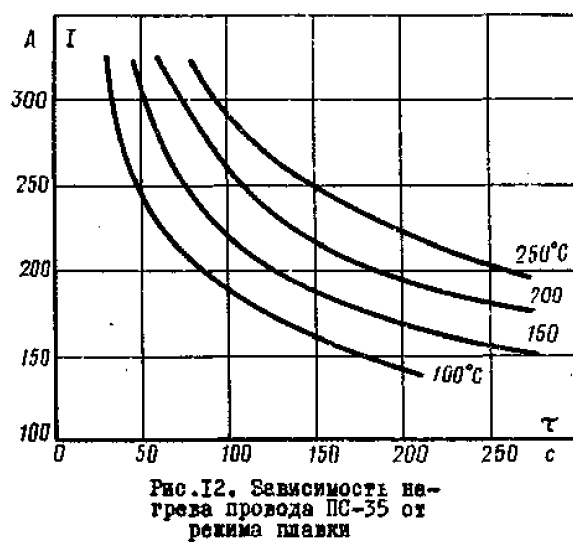
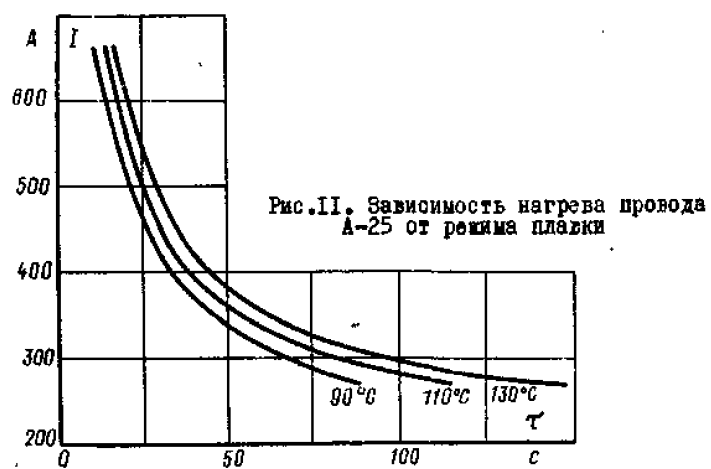
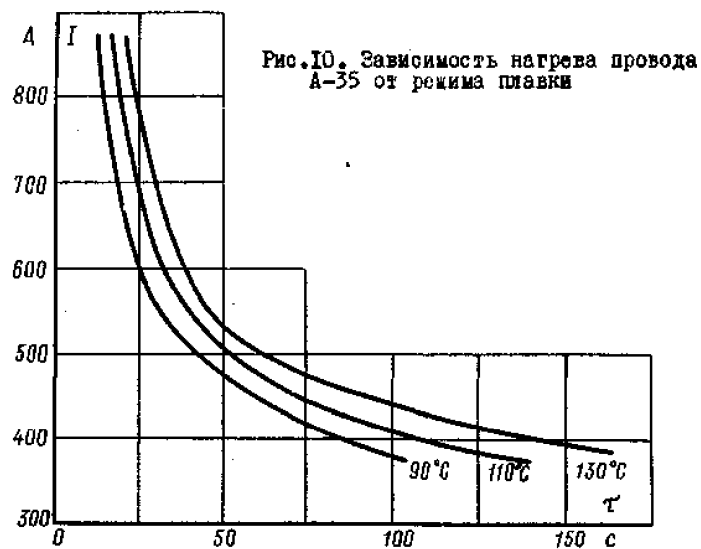
I - ток плавки, А;

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

U - скорость ветра, м/с.







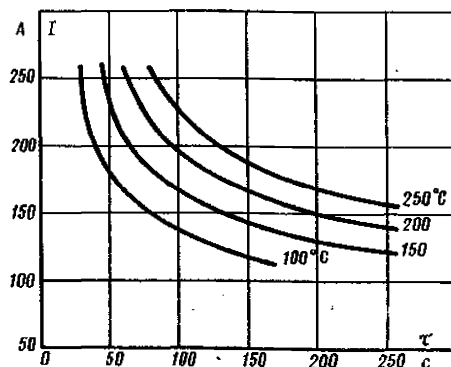


Рис.13. Зависимость нагрева провода ПС-25 от режима плавки

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

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

5. Число циклов, необходимое для плавки

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

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 мм² для проводов ПС-25 принимается равной 3 мин; сечением 50 и 70 мм² и для провода ПС-35 - 4 мин; для проводов сечением 95 мм² - 5 мин.

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

Увеличение времени бестоковой паузы сверх рекомендованного нежелательно, так как это приводит к увеличению продолжительности планки 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 AC-70 предполагается плавка гололеда током 900 А.

Линия в середине пролета длиной 115 м пересекает автодорогу; габарит ВЛ (I) при

температуре 15°C составляет 7,3 м при стреле провеса $f_n = 2,0$ м.

По табл.1 допустимый габарит $\Gamma_{дон}$ составляет 4,5 п. Стрела провеса нагретого провода f_τ определяется по формуле:

$$f_\tau = f_n + (\Gamma - \Gamma_{дон}) \quad (6)$$

Ее значение может быть не более:

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

Этой стреле провеса соответствует напряжение в проводе σ_τ определяемое по формуле:

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

$$\sigma_\tau = \frac{3,47 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{8 \cdot 4,8} = 1,19 \text{ кгс/мм}^2$$

где g_1 - удельная нагрузка на провод от собственного веса провода, равная $3,47 \cdot 10^{-3}$ кгс/м-мм²;

ℓ - длина пролета, м.

При исходных условиях это напряжение составляет

$$\sigma_{15} = \frac{3,47 \cdot 10^{-3} \cdot 115^2}{8 \cdot 2} = 2,88$$

Из уравнения состояния провода в пролете

$$\sigma_\tau - \frac{\ell^2 g_1^2 E}{24 \sigma_\tau^2} = \sigma_{15} - \frac{\ell^2 g_1^2 E}{24 \sigma_{15}^2} - E \alpha (t_\tau - t_{15}) \quad (8)$$

где E - модуль упругости провода, кгс/мм²;

α - коэффициент температурного линейного расширения провода.

Определяем максимально допустимую по условиям габарита температуру t_τ :

$$1,19 - \frac{115^2 (3,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7,9 \cdot 10^3}{24 \cdot 1,19^2} = 2,88 -$$

$$- \frac{115^2 (3,47 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 7,9 \cdot 10^3}{24 \cdot 2,88^2} - 7,9 \cdot 10^3 \cdot 19,7 \cdot 10^{-6} (t_\tau - 15),$$

откуда максимально допустимая температура $t_\tau = 225^\circ\text{C}$, что значительно больше температуры, допустимой по условиям механической прочности.

За максимально допустимую принимаем температуру 130°C.

Продолжительность нагрева до этой температуры по кривым рис.4 составляет $\tau_p = 80$

с.

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

$$\tau = \frac{36,4 \cdot 0,9 \cdot 1,14 (2 + 0,265 \cdot 1,14) \cdot 10^3 + 164 \cdot 0,9 (5,14^2 - 1,14^2) \cdot 10 + 209,5 (20 + 10)}{900^2 \cdot 0,46 \cdot 10^{-3} - (0,09 \cdot 5,14 + 1,1 \cdot \sqrt{3 \cdot 5,14}) \cdot 10} = 385 \text{ с}$$

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 Д).
4. Из точки Д 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 T (точка С), получим температуру провода при данном токе и скорости ветра (см.рис.14).

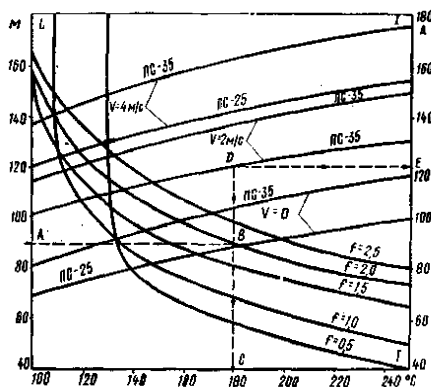


Рис.14. Номограмма для определения допустимого тока плавки гололеда на ВЛ со стальными проводами в зависимости от стрелы провеса и скорости ветра

Приложение 4

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

Кривые (см. рис. 15-43) построены в предположении, что изменяется один из трех метеорологических факторов (диаметр гололеда D , температура воздуха t и скорость ветра при гололеде U).

Кривые, обозначенные на рисунках индексом 1, построены для постоянных U и t и изменяющегося D .

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

2) $V=5; 10; 15; 20$
 $D=20; t=-5$
 3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

Привод А-25
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

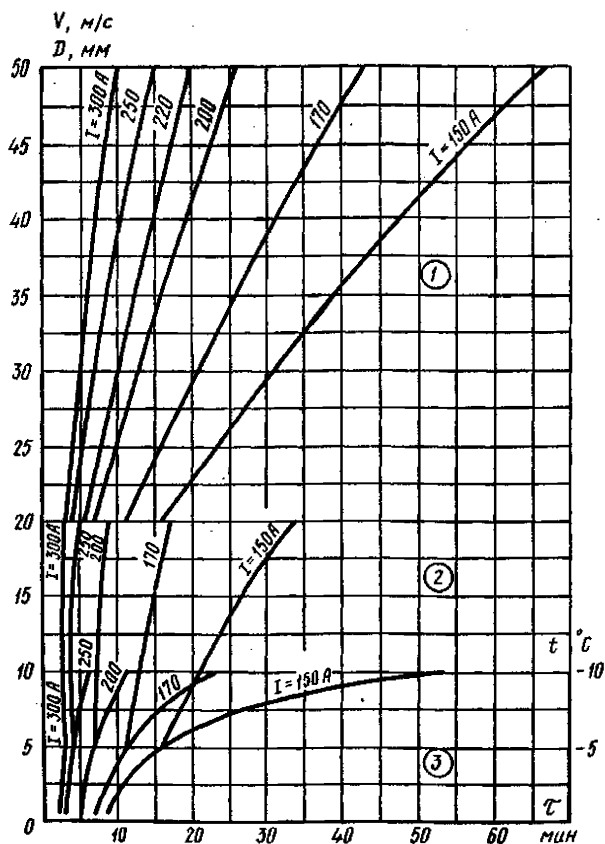


Рис. 15

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

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

Провод А-25
 $\gamma=0,9\text{г/см}^3$

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

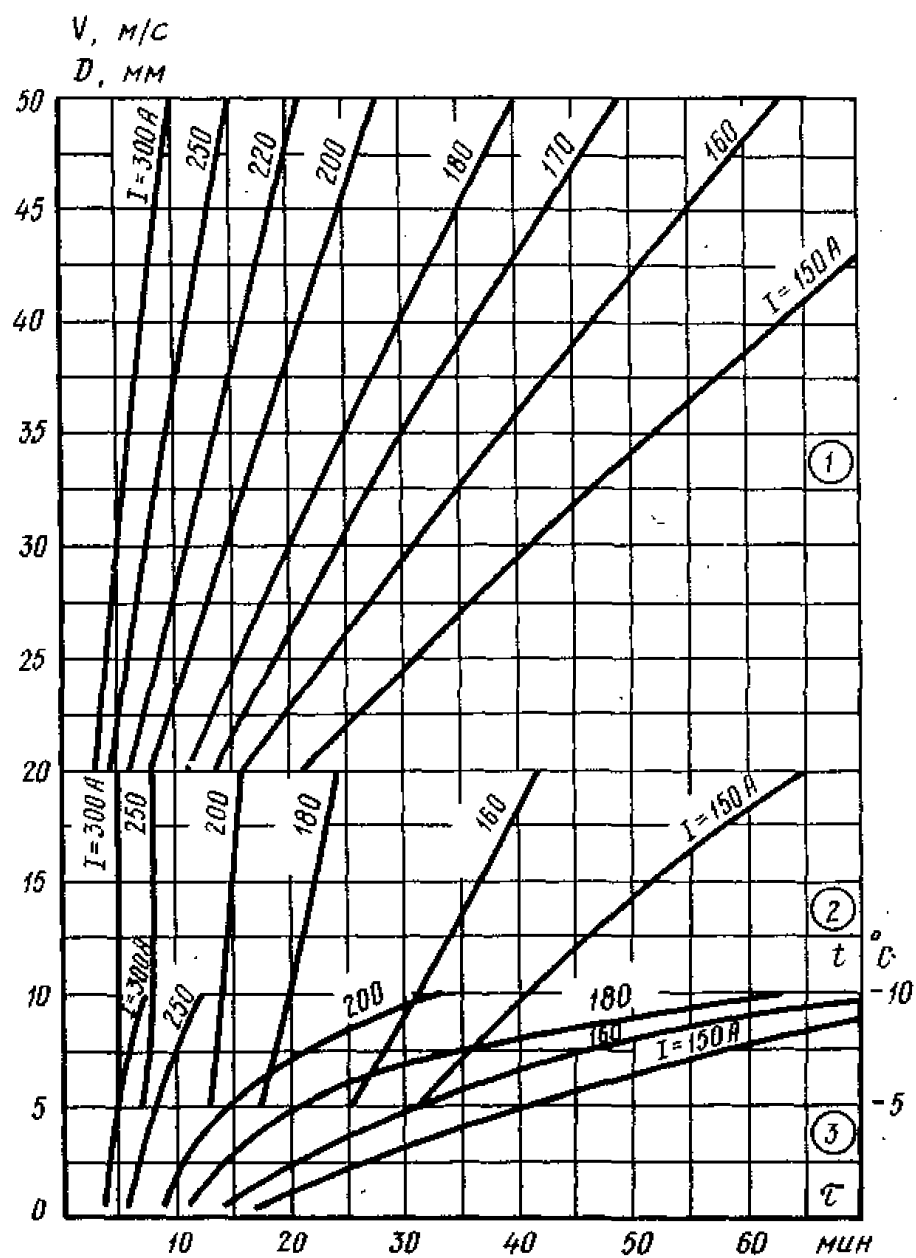


Рис. 16

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 А-25
 $\gamma=0,9 \text{ г/см}^3$

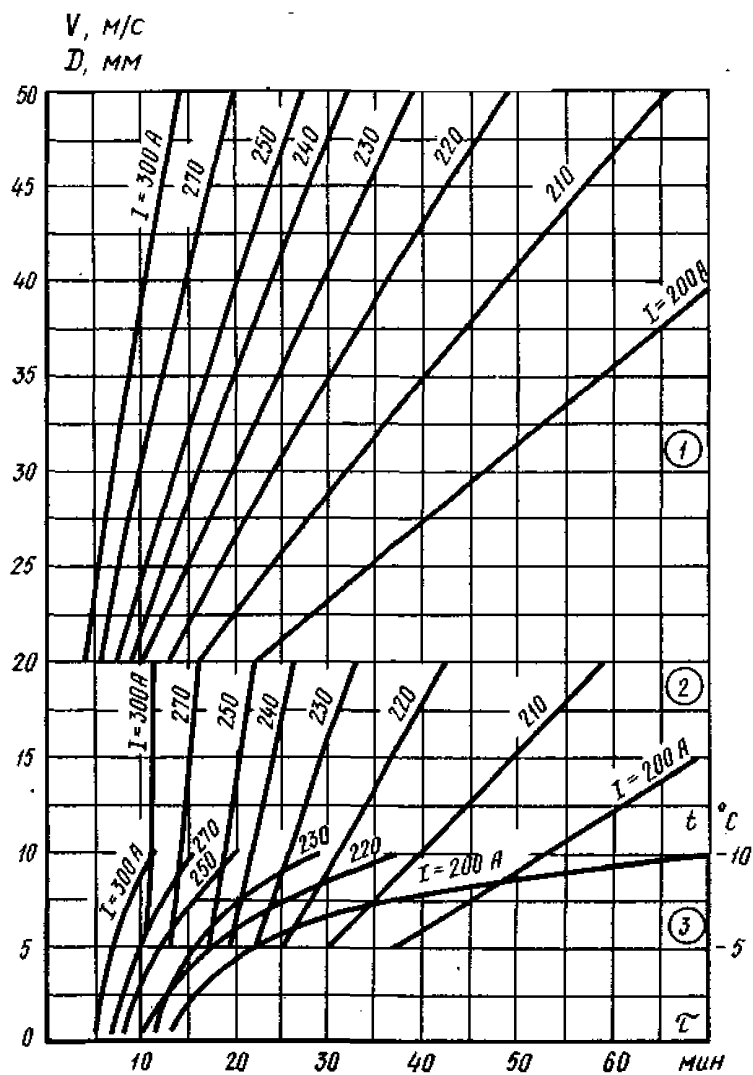


Рис. 17

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 -35
 $\gamma=0,9\text{г/см}^3$

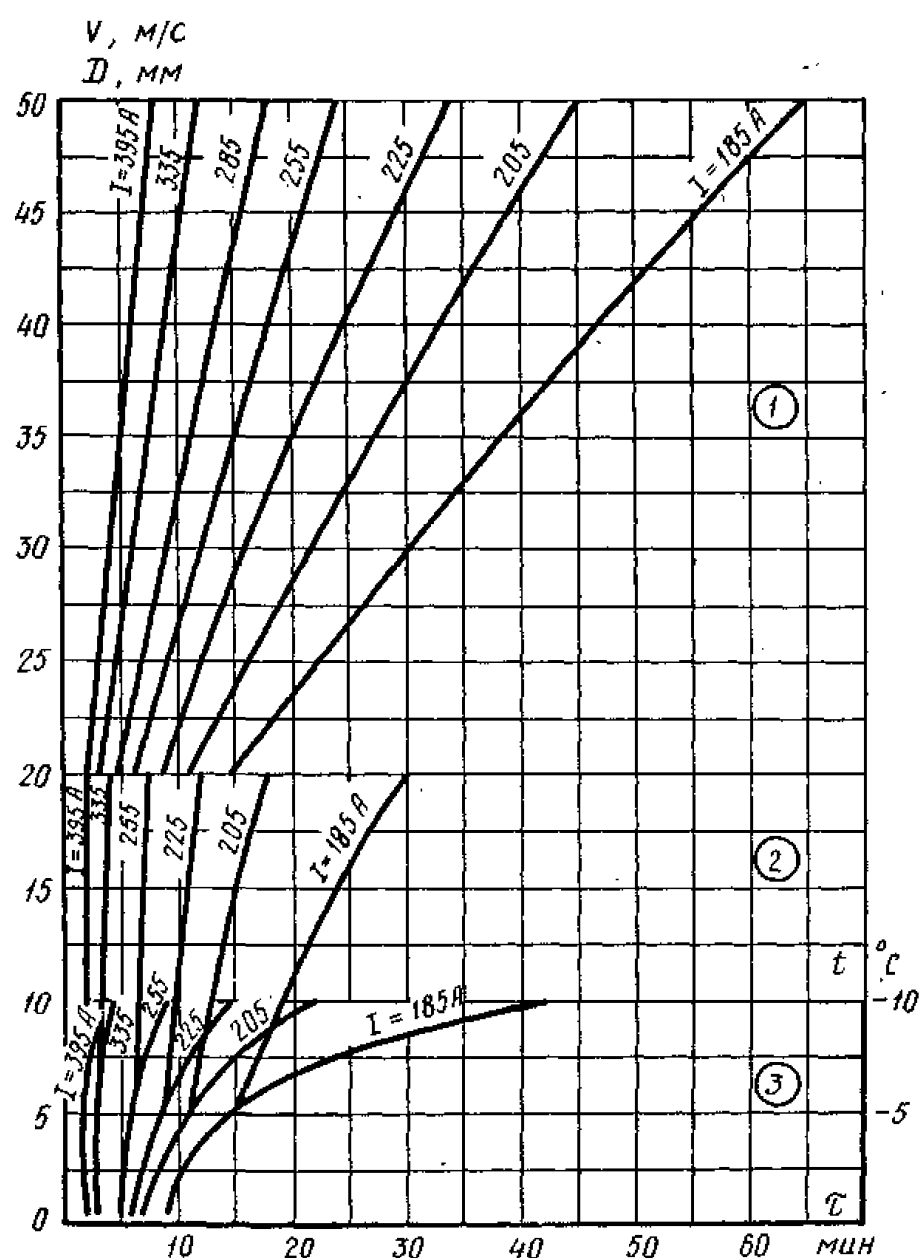


Рис. 18

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

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

Провод А-35
 $\gamma=0,9\text{г/см}^3$

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

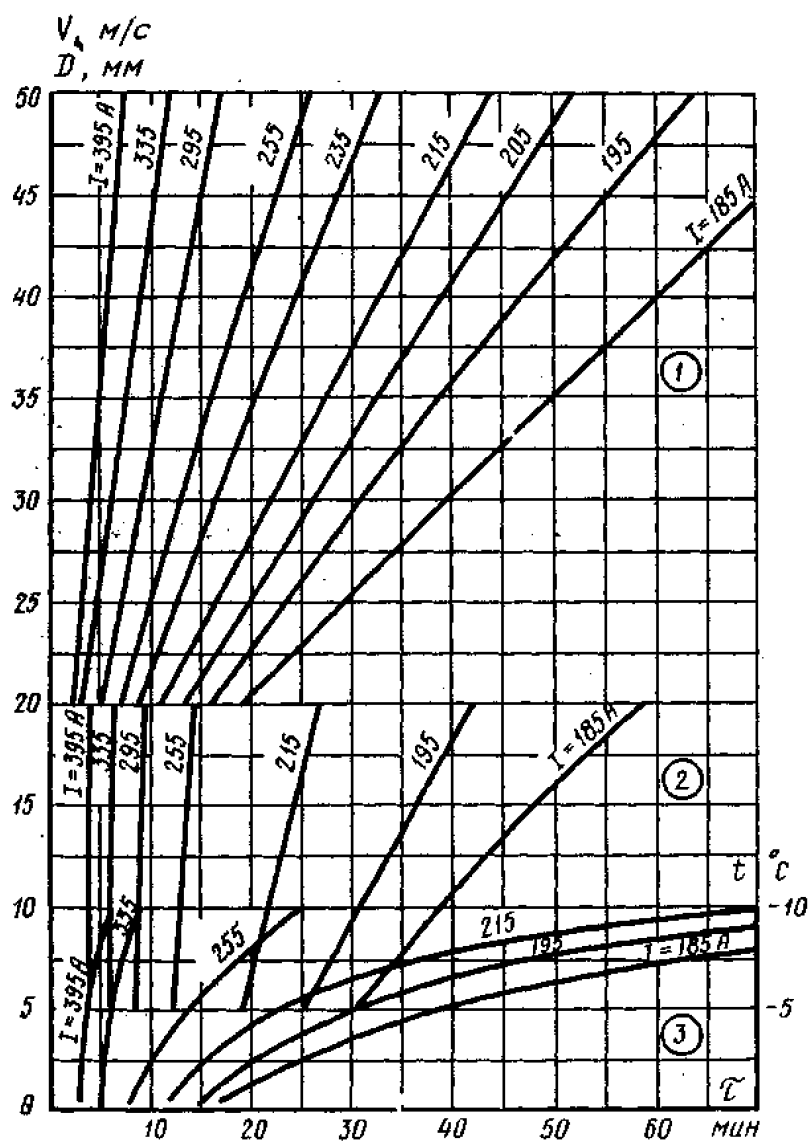


Рис. 19

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

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

Провод А-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

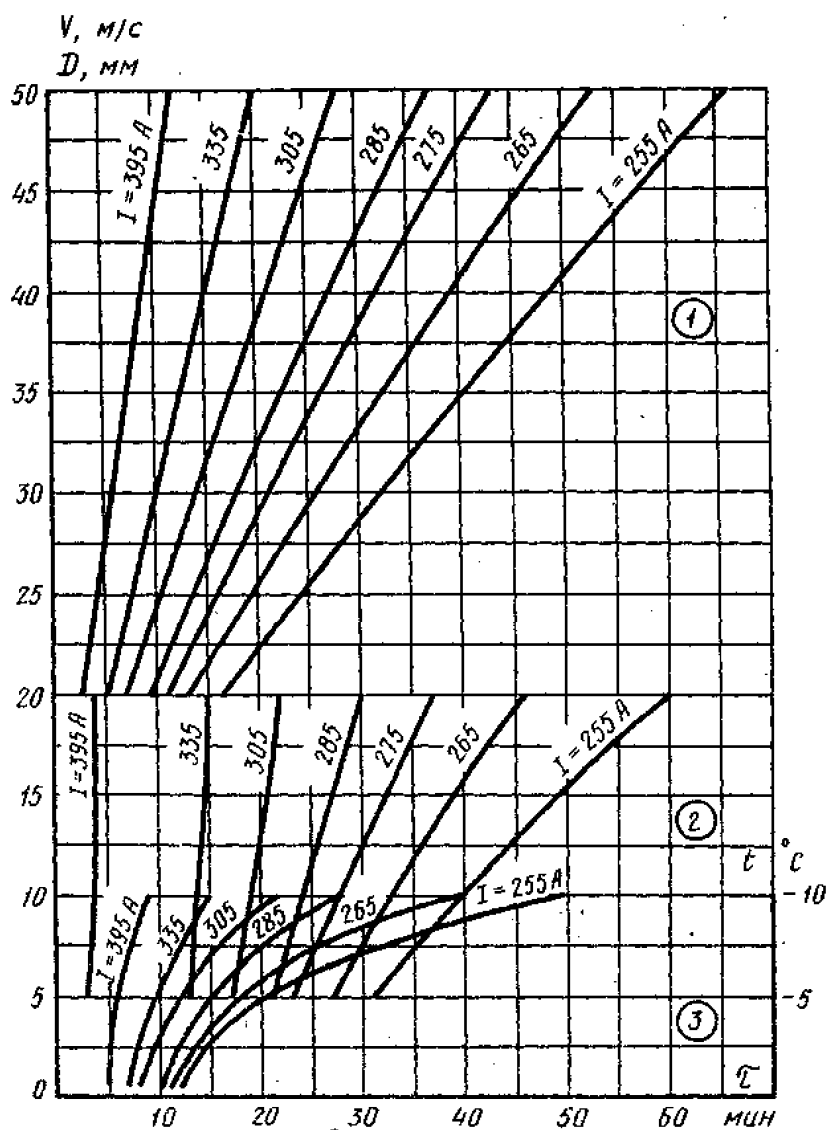


Рис. 20

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

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

Пробод А-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

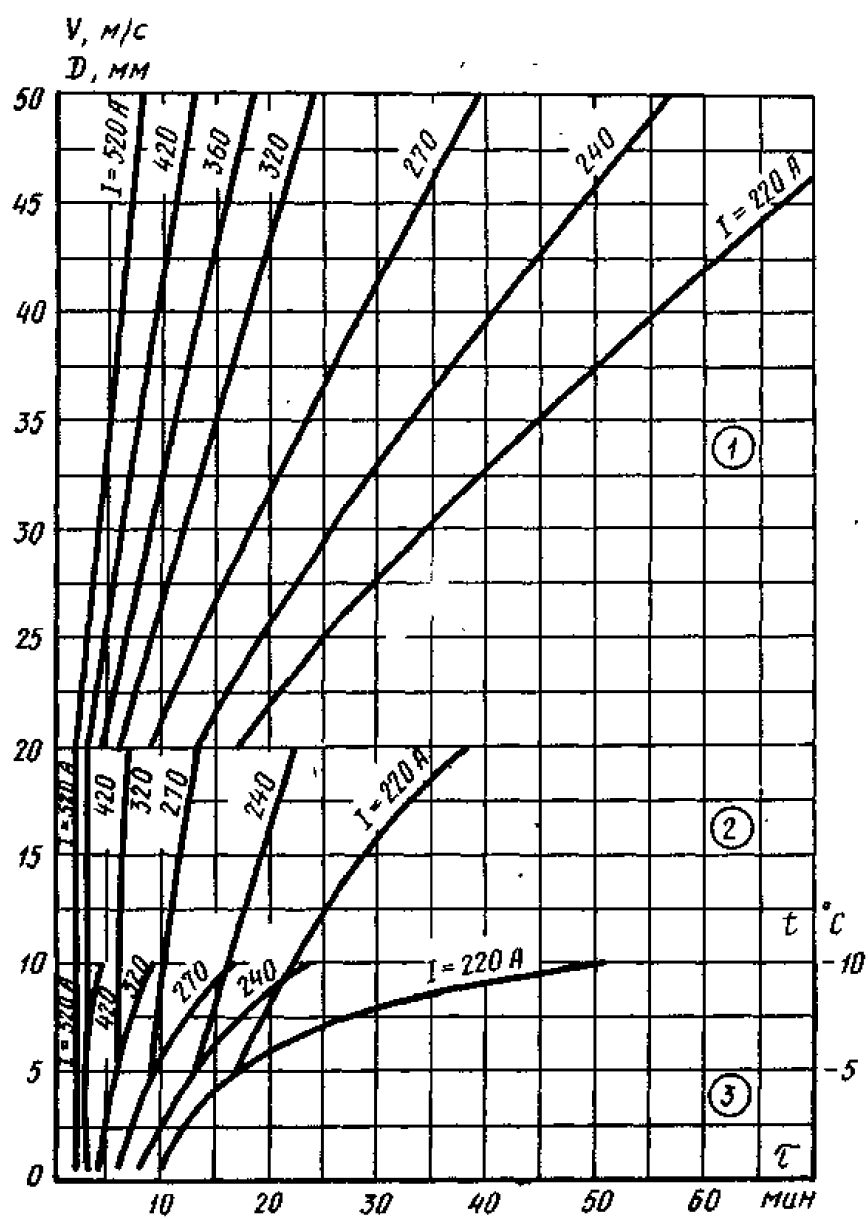


Рис. 21

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

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

Провод А-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

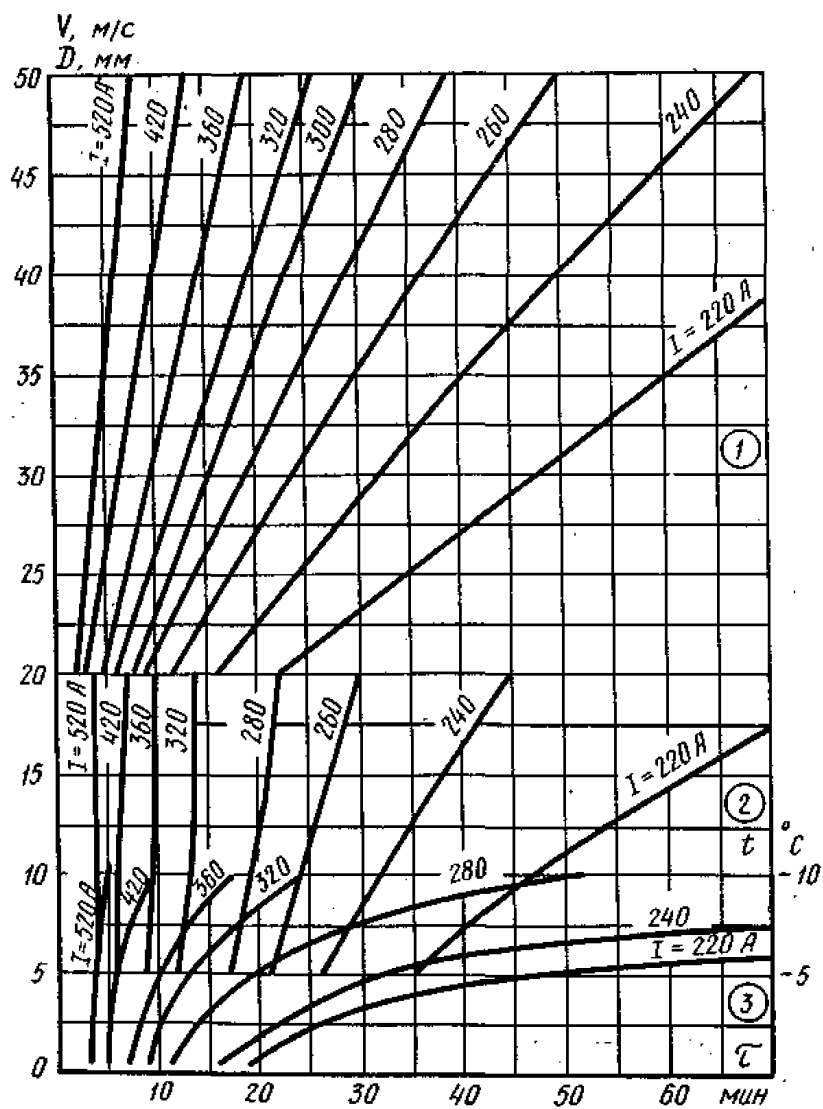


Рис. 22

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

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

Провод А -50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

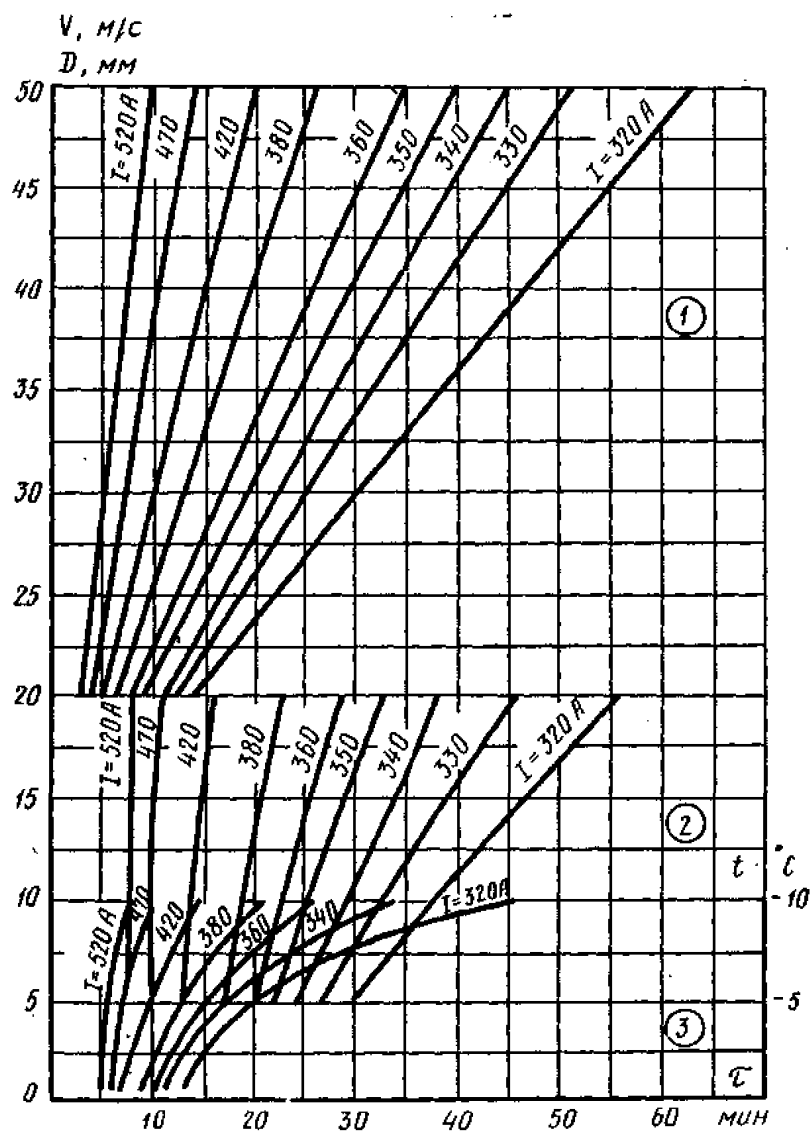


Рис. 23

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-16
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

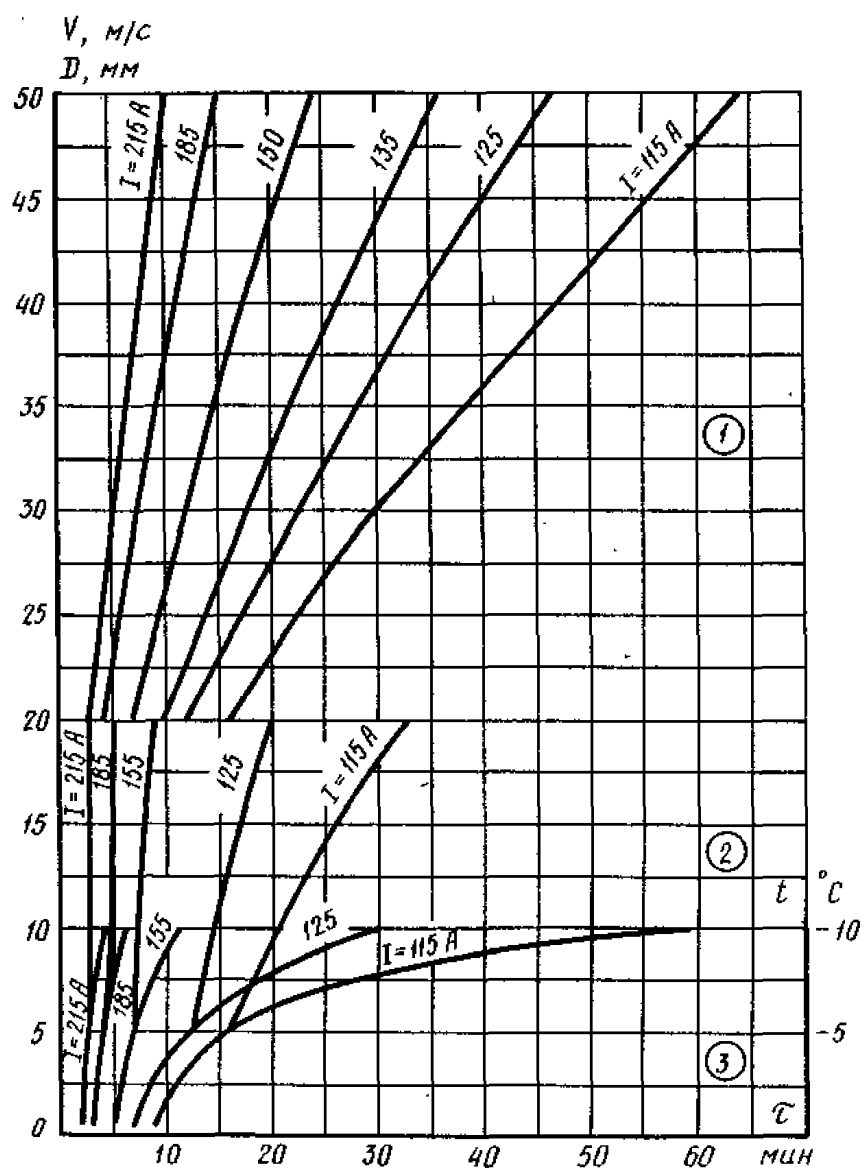


Рис.24

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

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

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

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

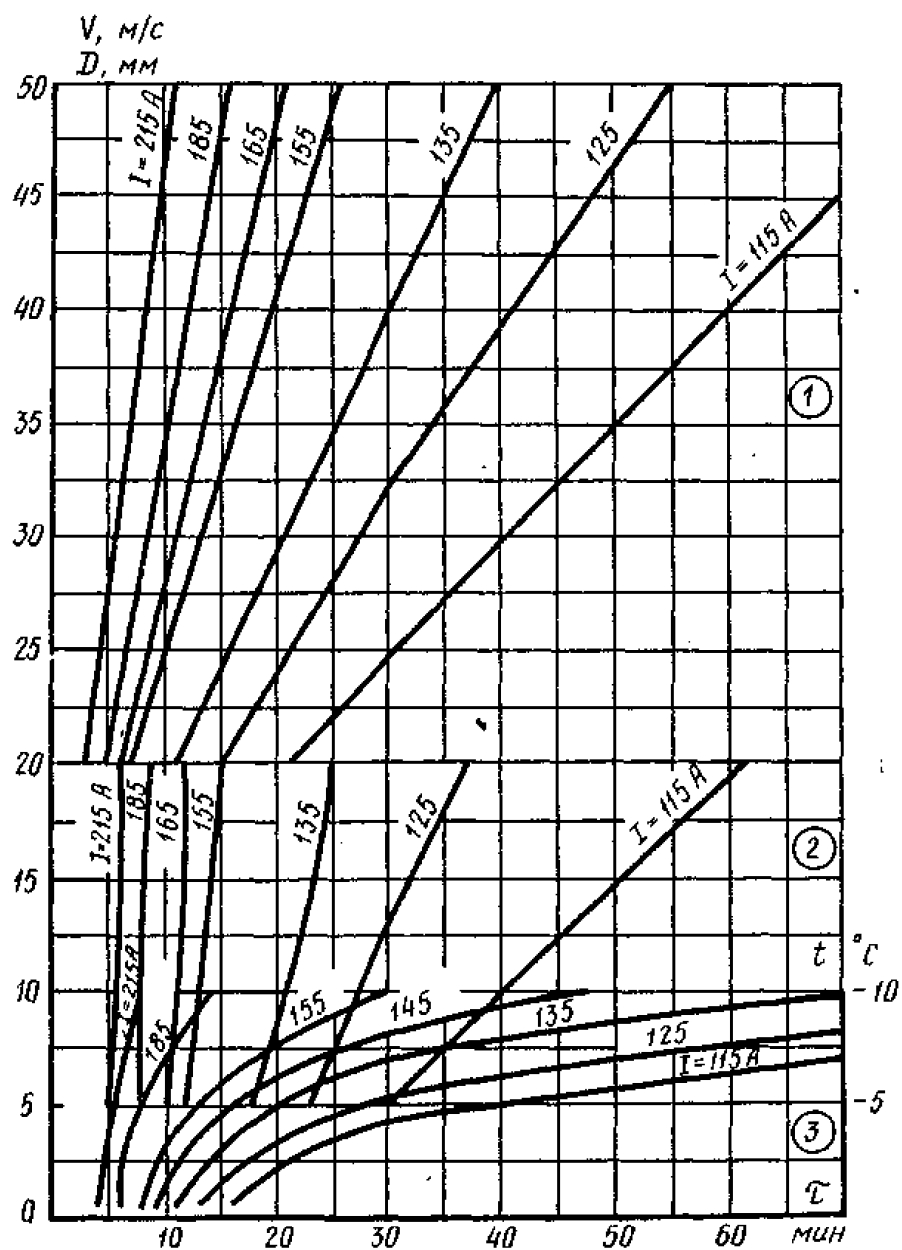


Рис. 25

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

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

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

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

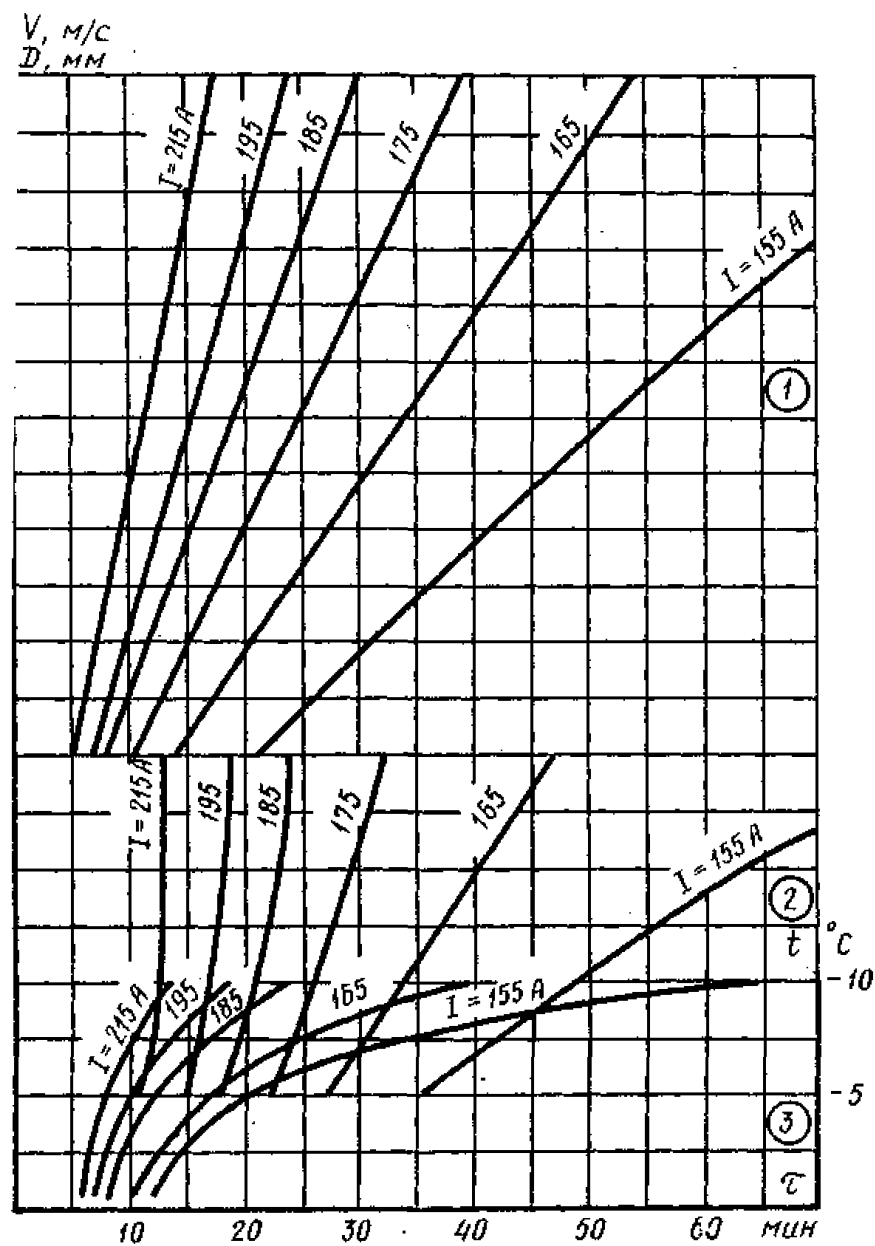


Рис. 26

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

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

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

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

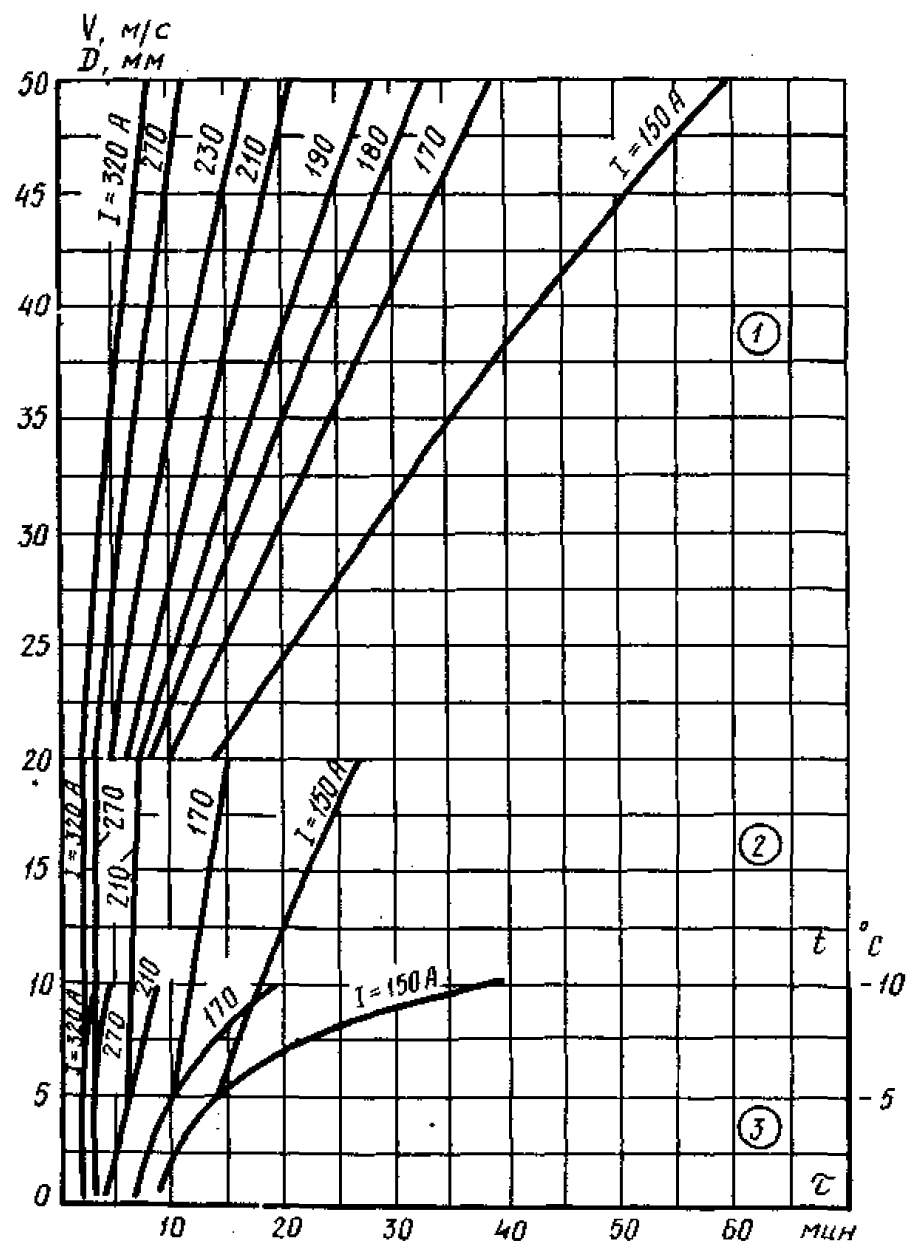


Рис. 27

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

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

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

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

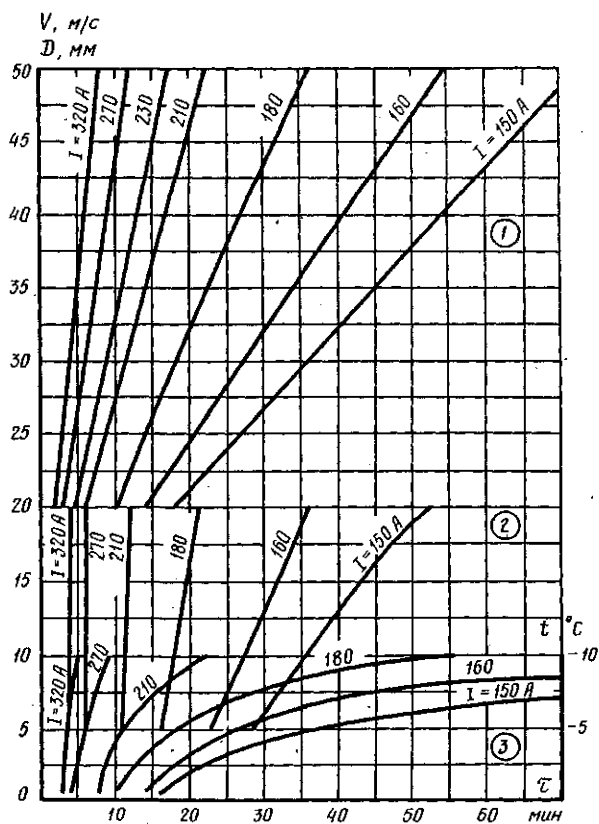


Рис. 28

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

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

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

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

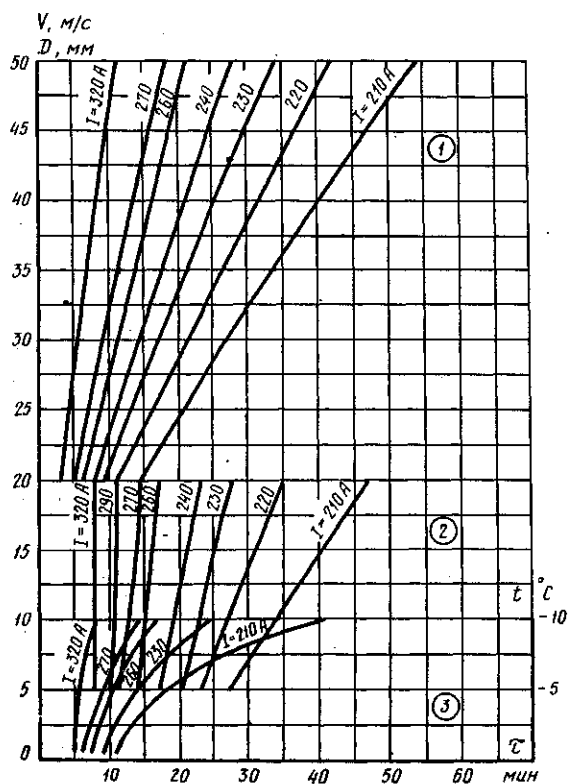


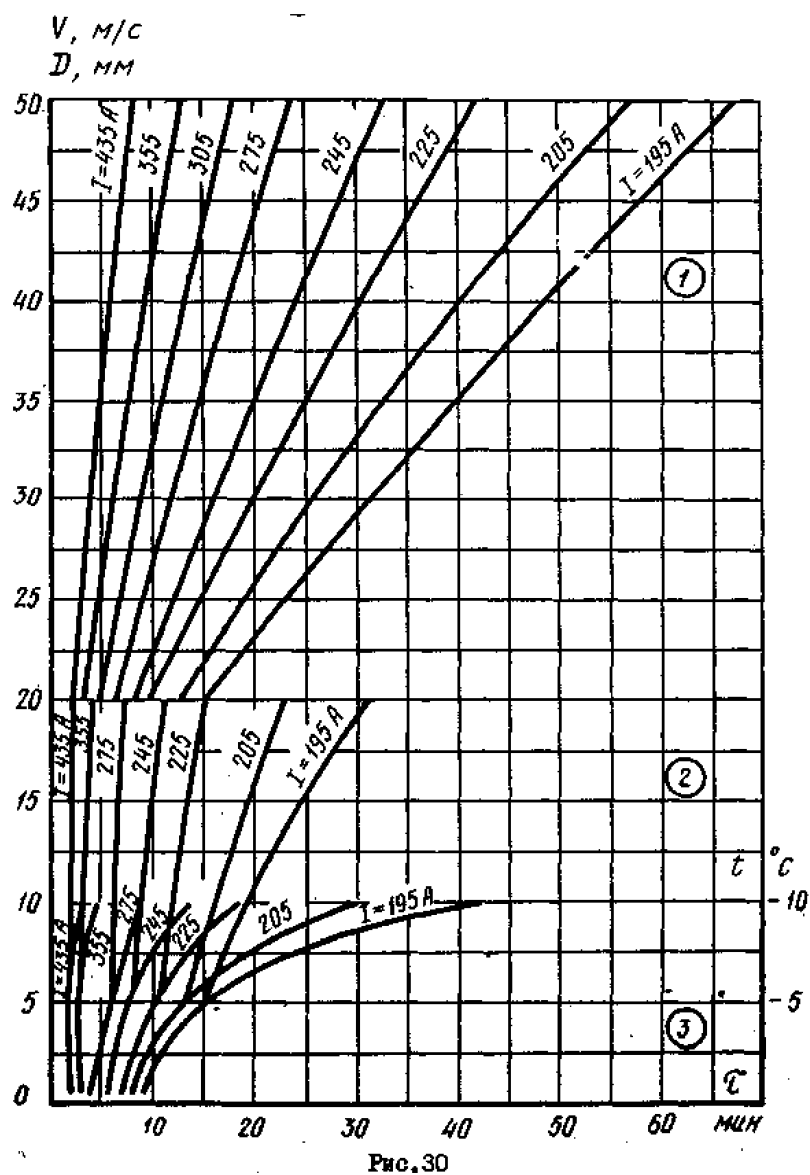
Рис. 29

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

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

Провод АС-35
 $\gamma=0,9 \text{ г/см}^2$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

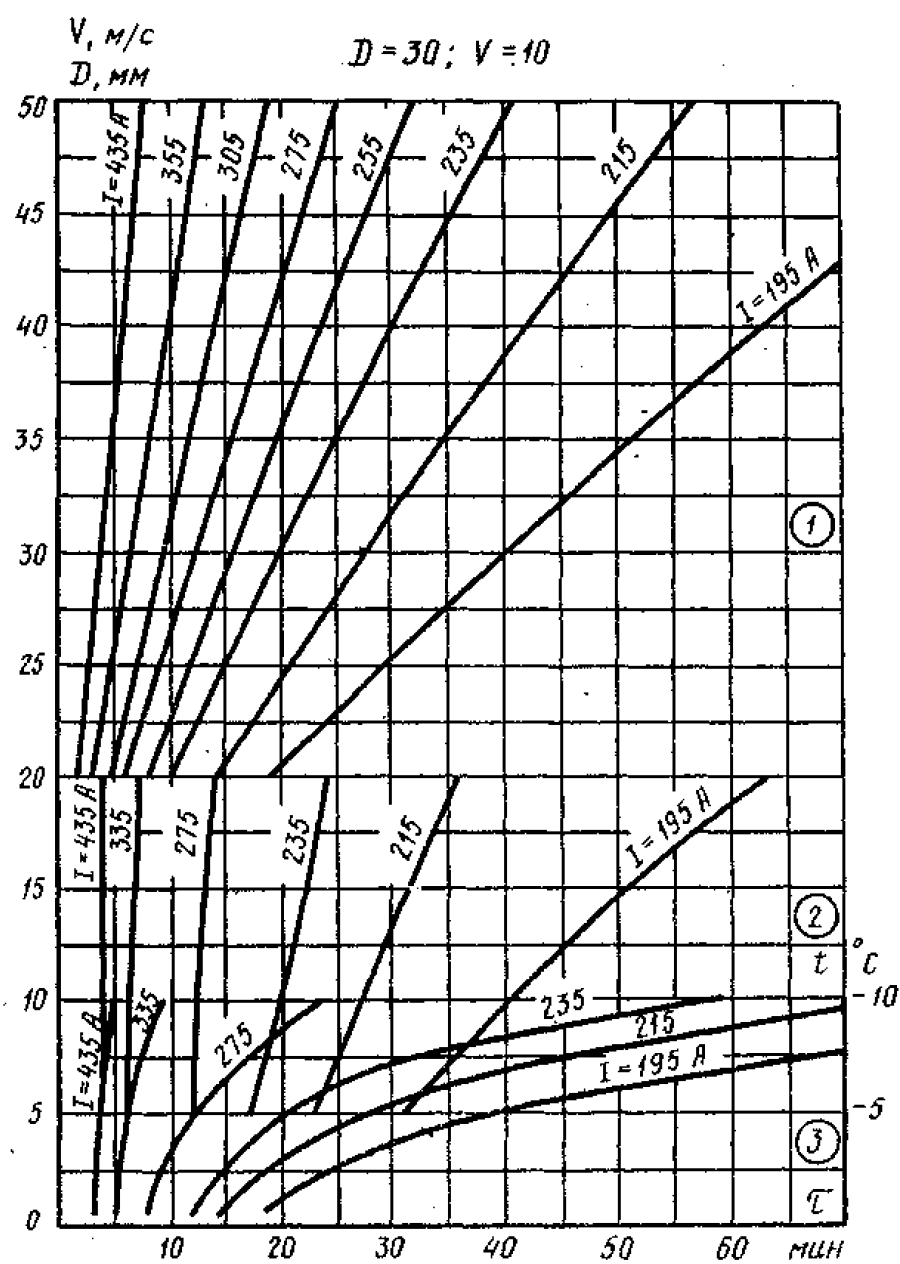


1) $D=20; 30; 40; 50$
 $V = 10; t = -5$

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

Провод АС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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



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

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

Провод АС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

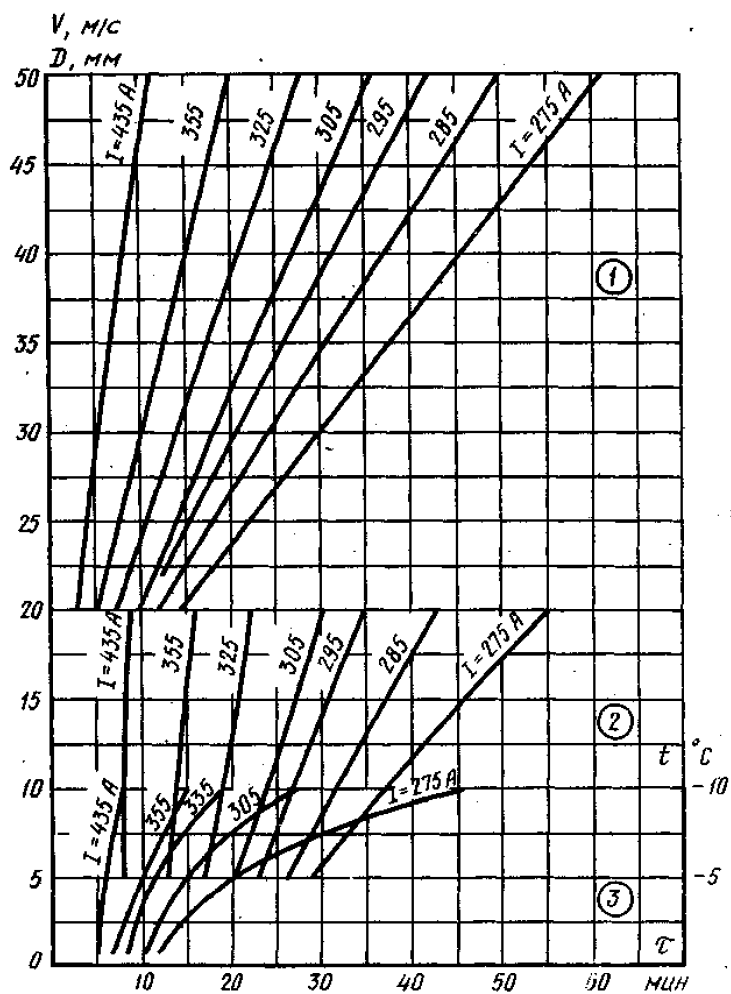


Рис. 32

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

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

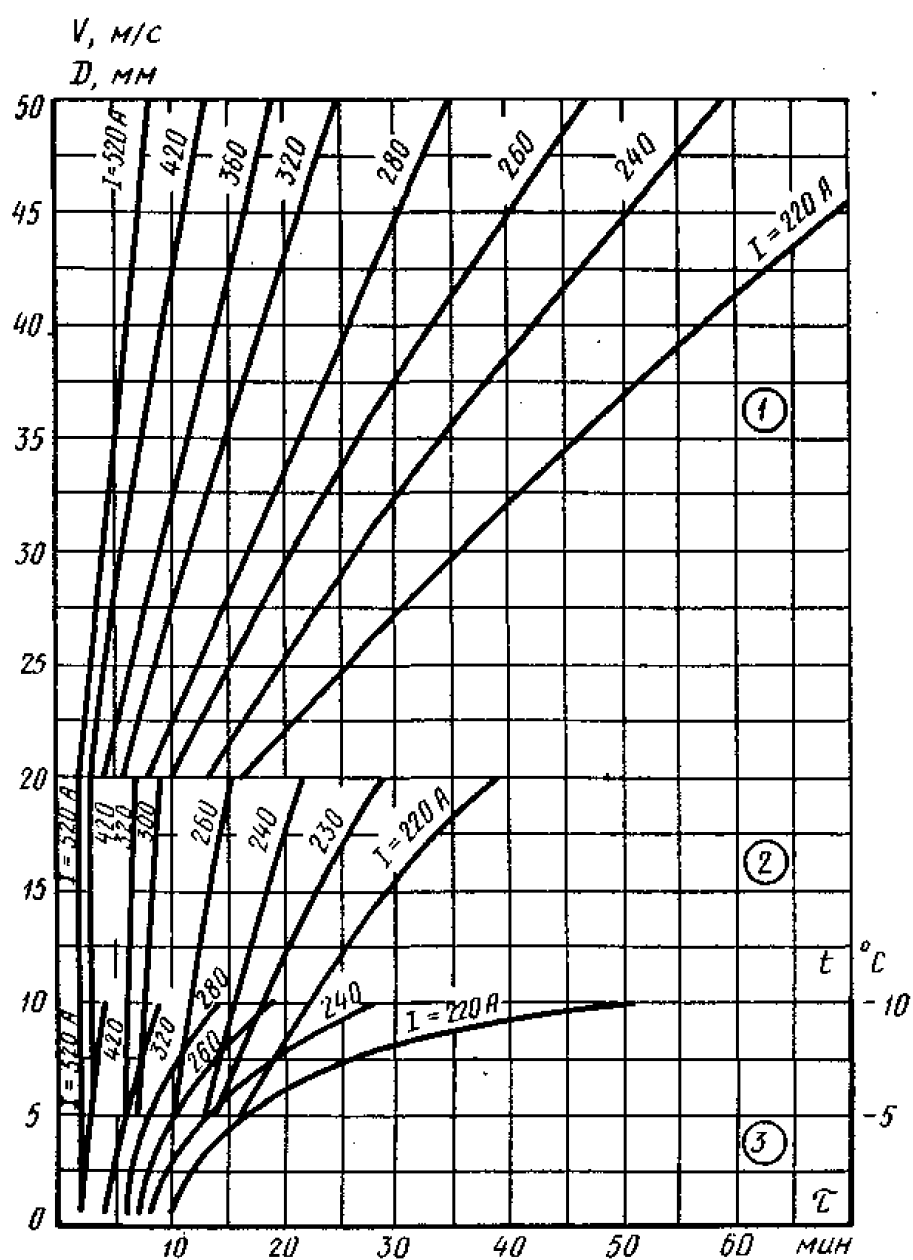


Рис. 33

2) $D = 20; 30; 40; 50$
 $V = 10; t = -5$

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

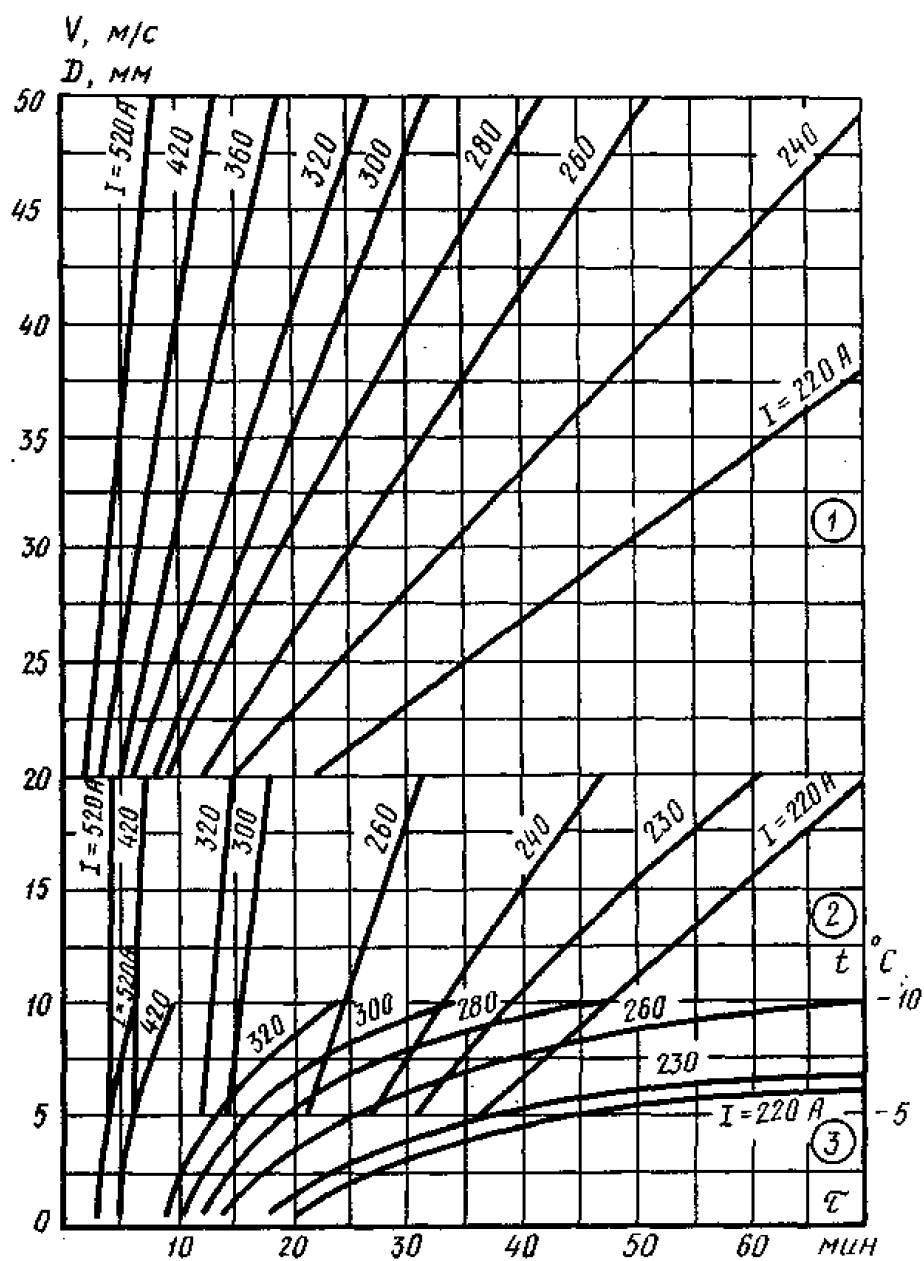


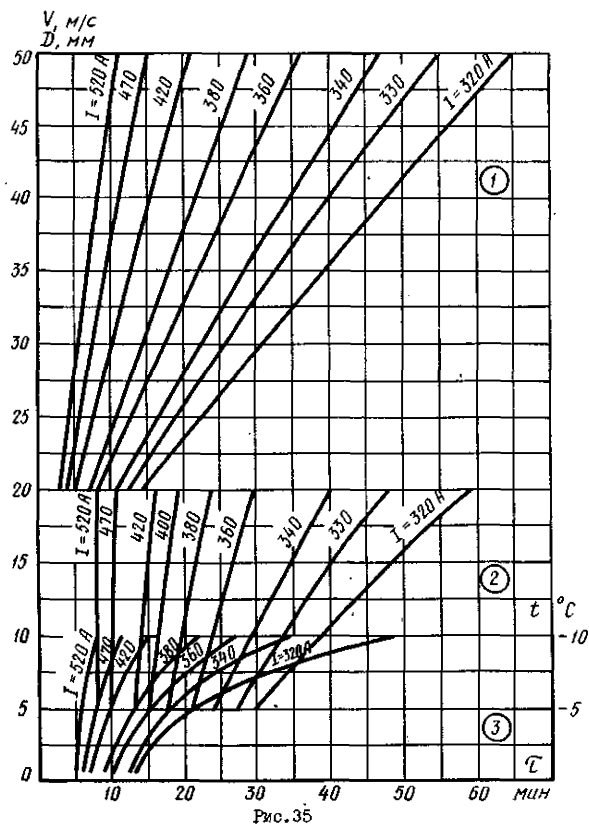
Рис. 34

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

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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



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

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

Провод ПС-25
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

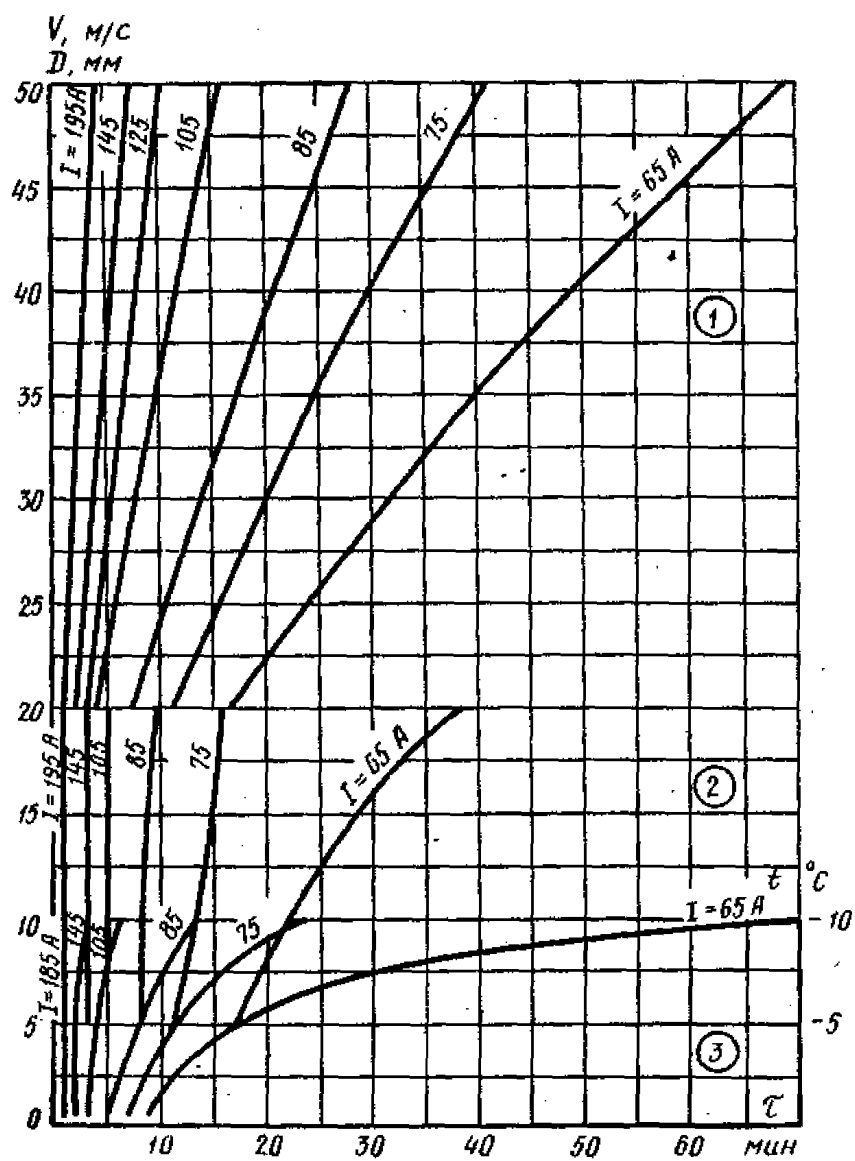


Рис. 36

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

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

Провод ПС-25
 $\gamma=0,9\text{г/см}^3$

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

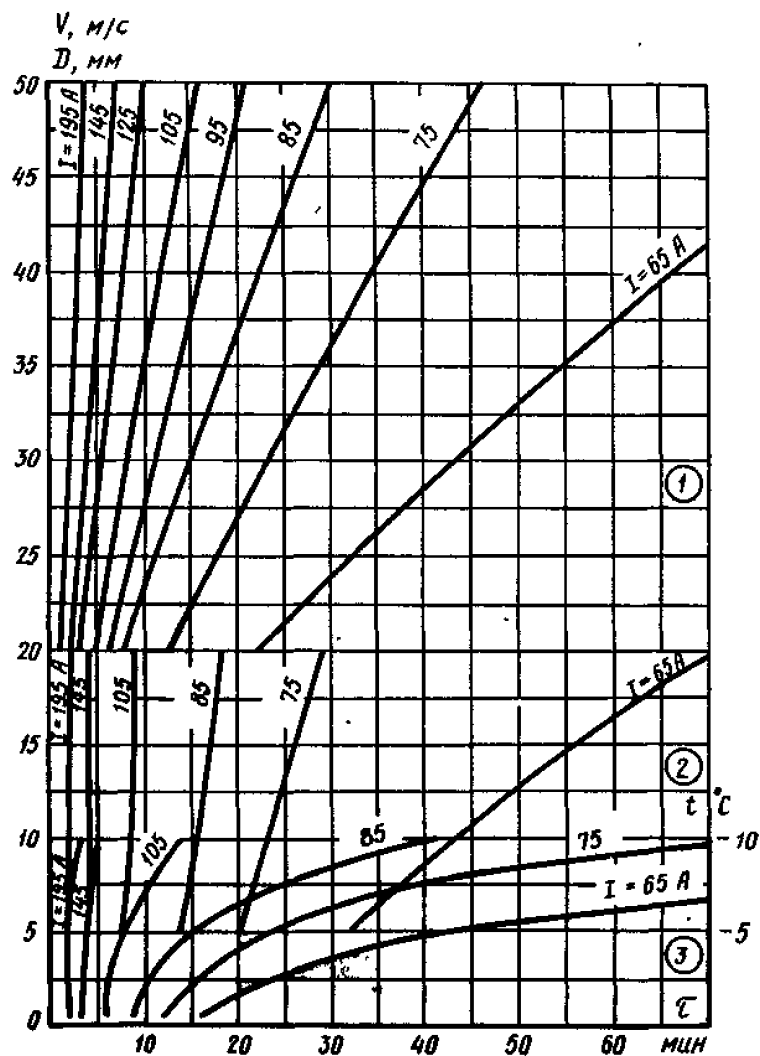


Рис. 37

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

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

Провод ПС-25
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

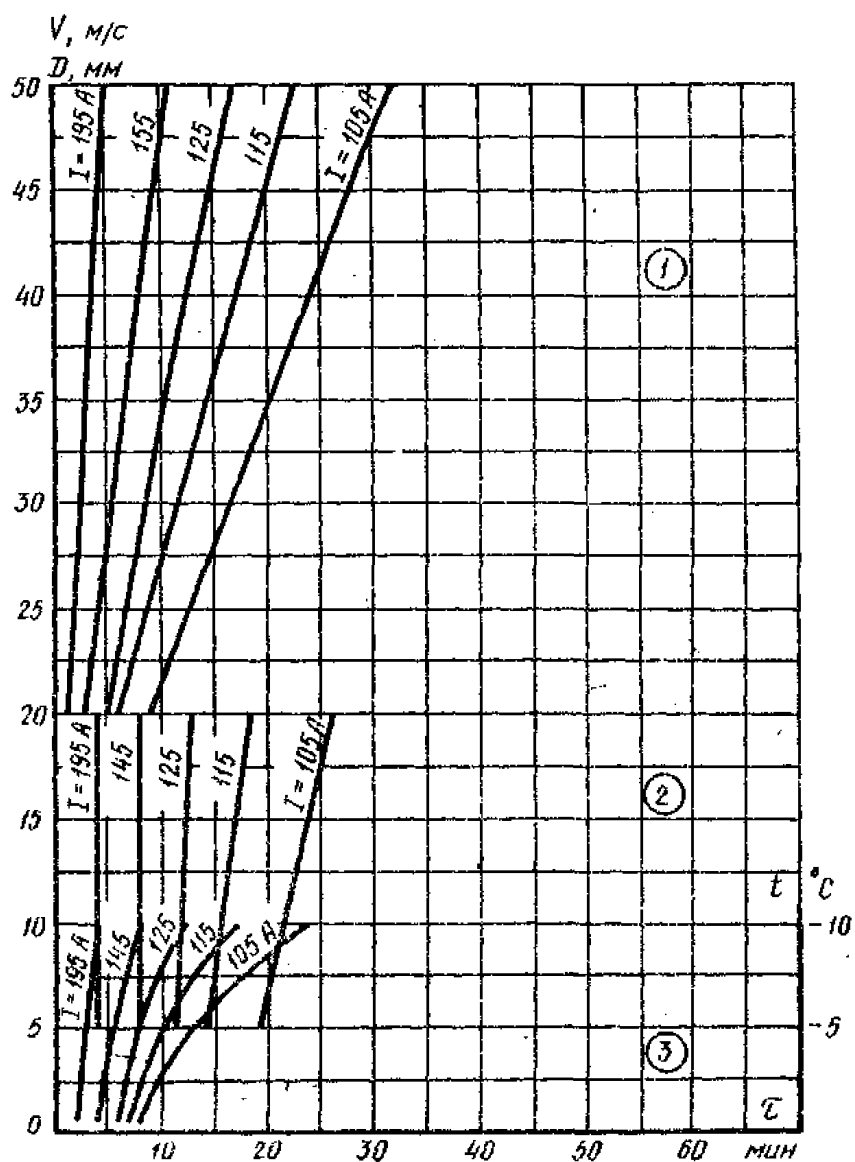


Рис. 38

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

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

Провод ПС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t = -1; -5; -10$
 $D = 20; V = 5$

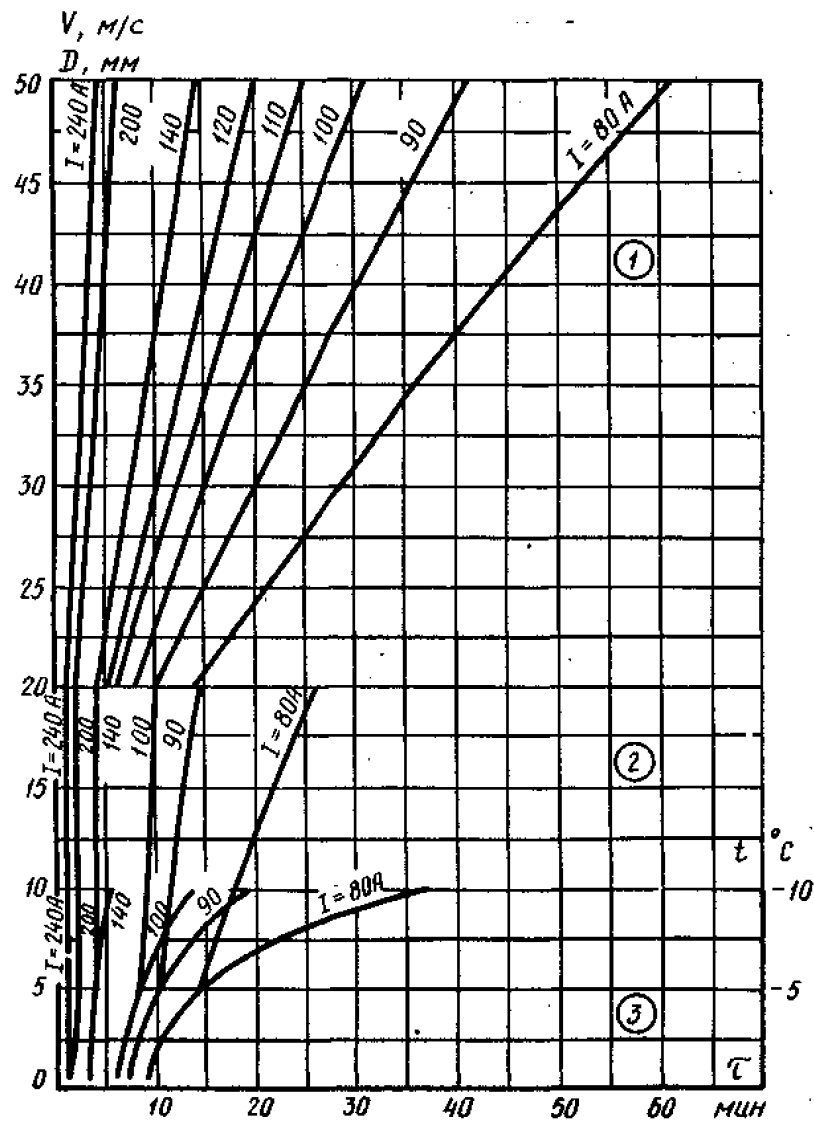


Рис. 39

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

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

Провод ПС-55
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

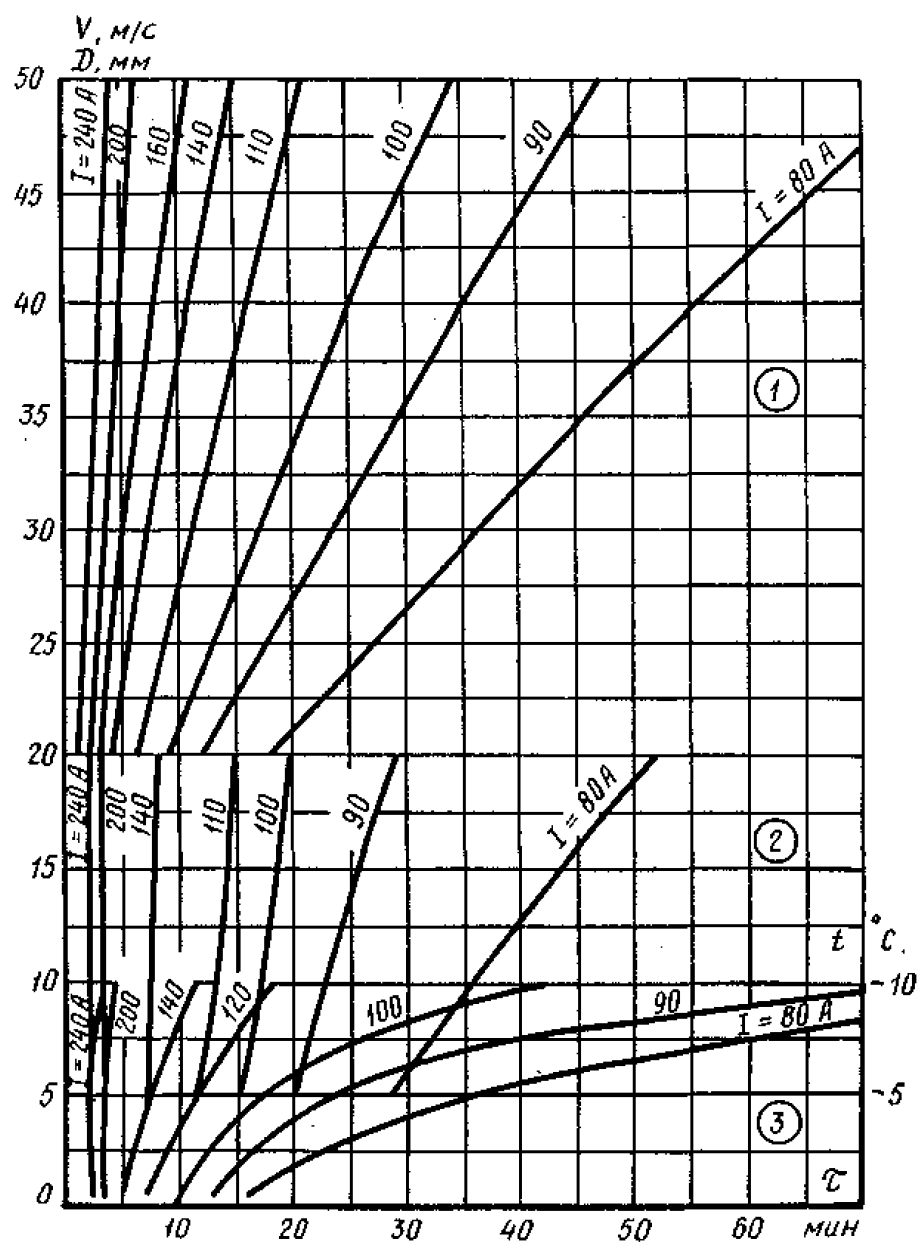


Рис. 40

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

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

Провод ПС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

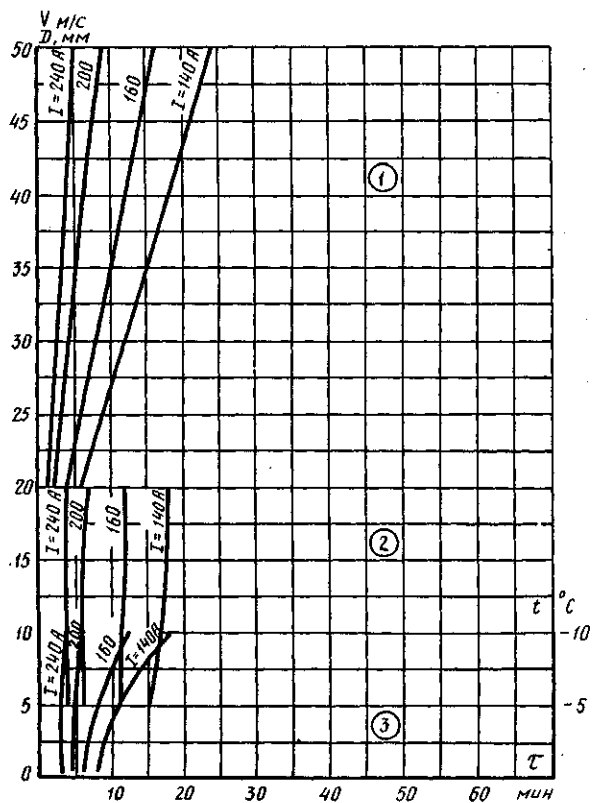


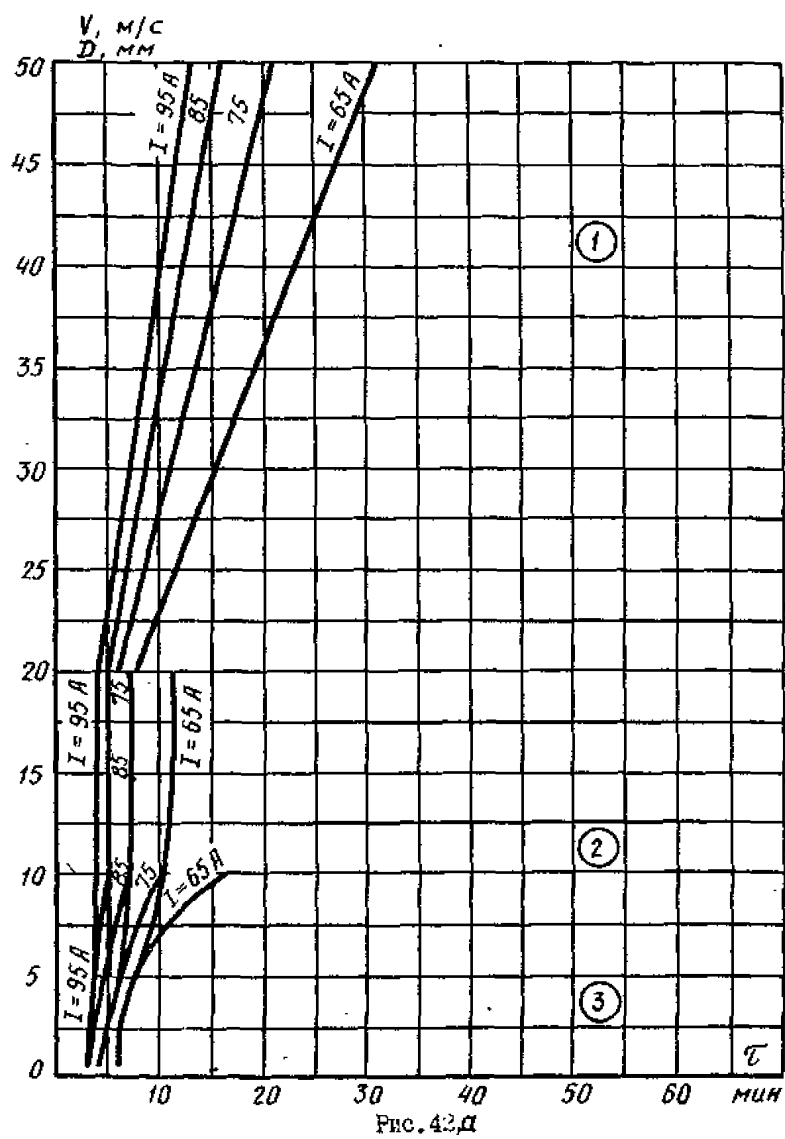
Рис. 41

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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) t = -1; -5; -10
D=20; V=5



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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma=0,9 \text{ г/см}^3$

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

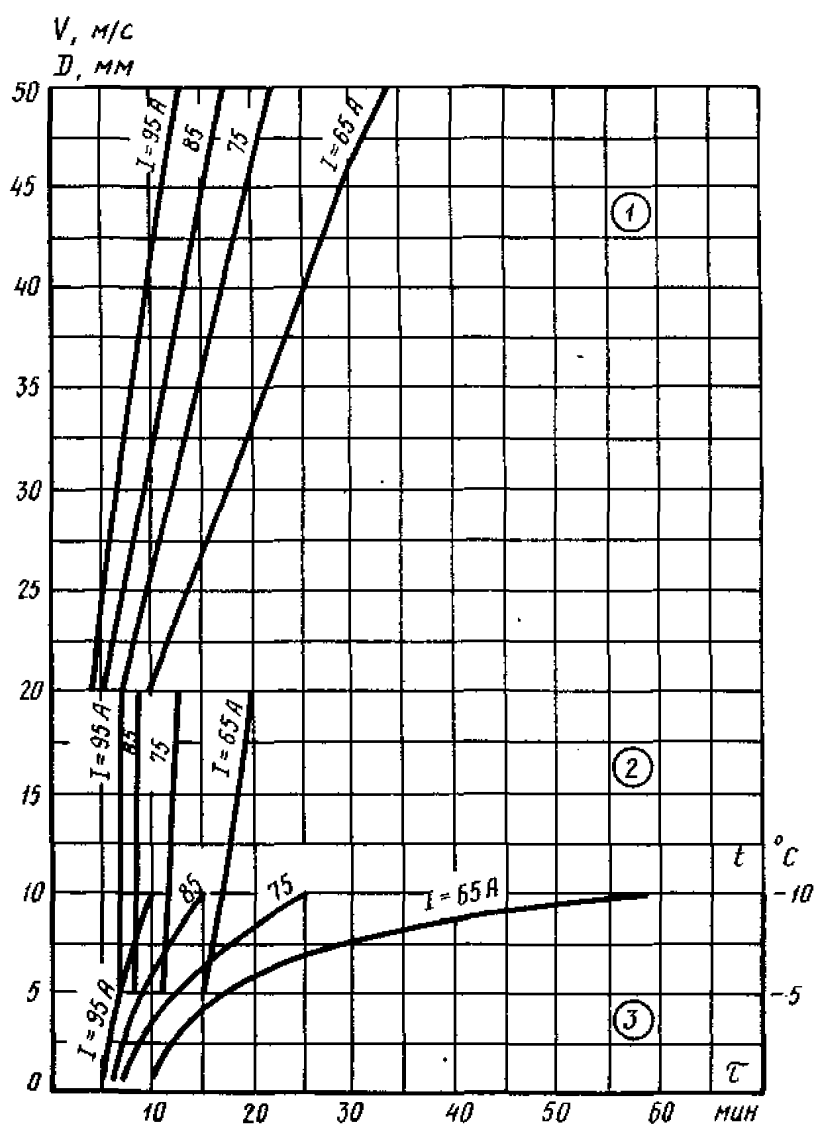


Рис. 42,б

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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

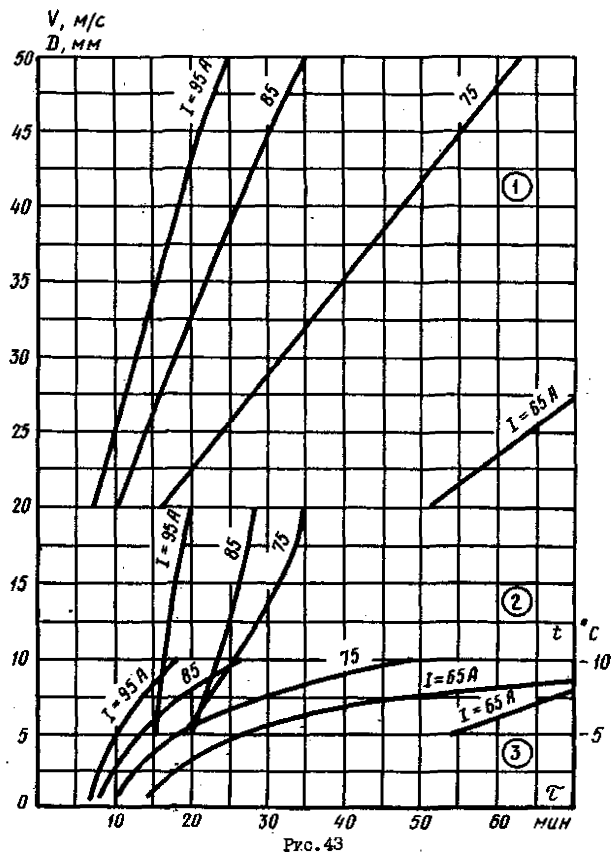


Рис. 43

Кривые, обозначенные на рисунках индексом 2, построены для постоянных D и t и изменяющейся U ,

Кривые, обозначенные на рисунках индексом 3, построены для постоянных V и U и изменяющейся t .

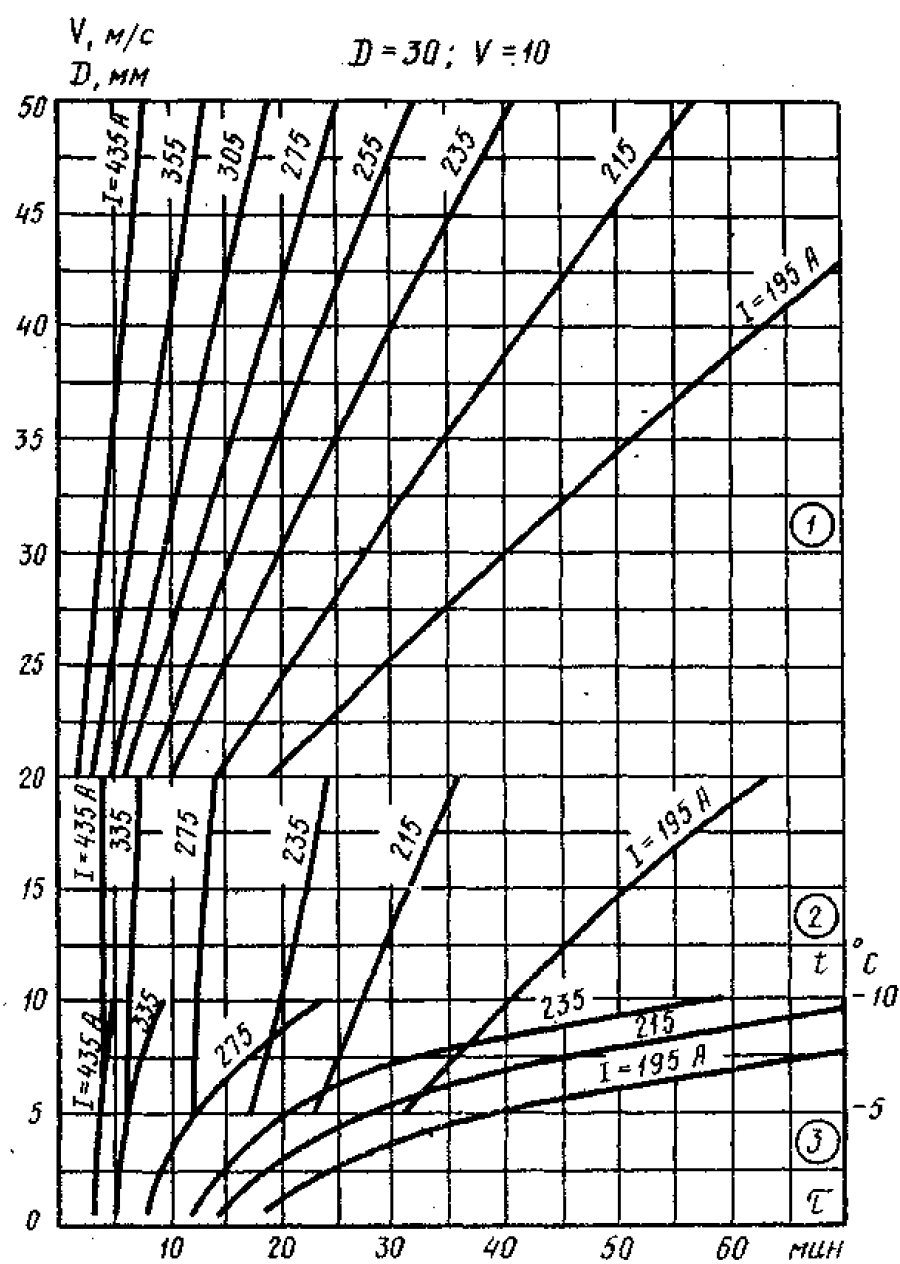
Единицы измерения: D - мм; t - °C; U - м/с, γ - г/см³.

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

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

Провод АС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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



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

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

Провод АС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

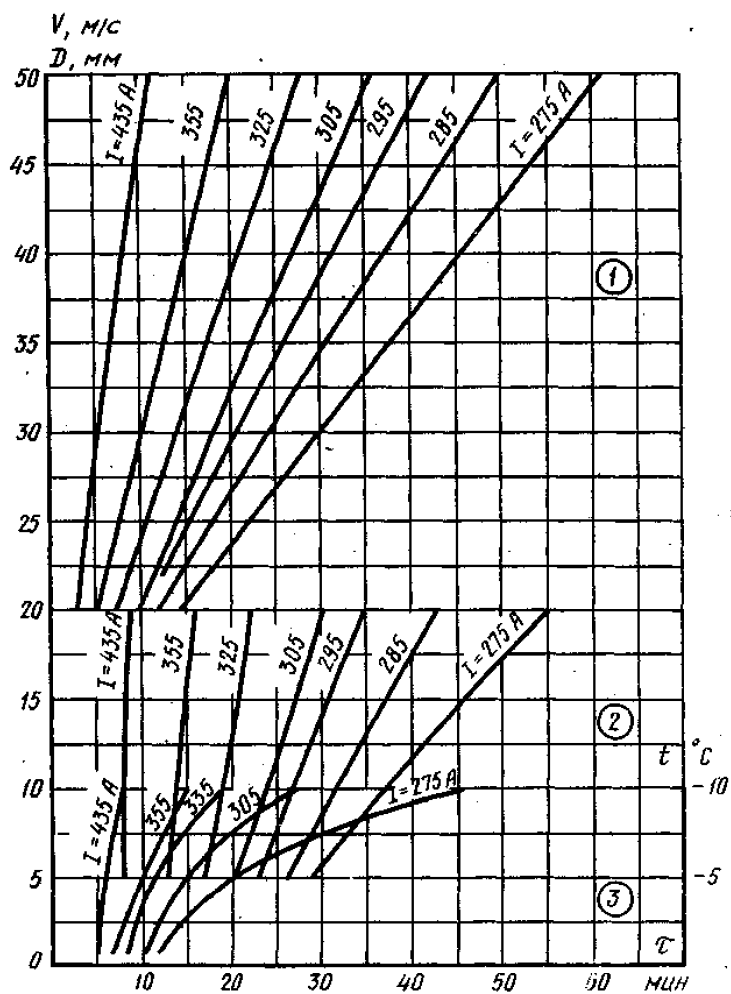


Рис. 32

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

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

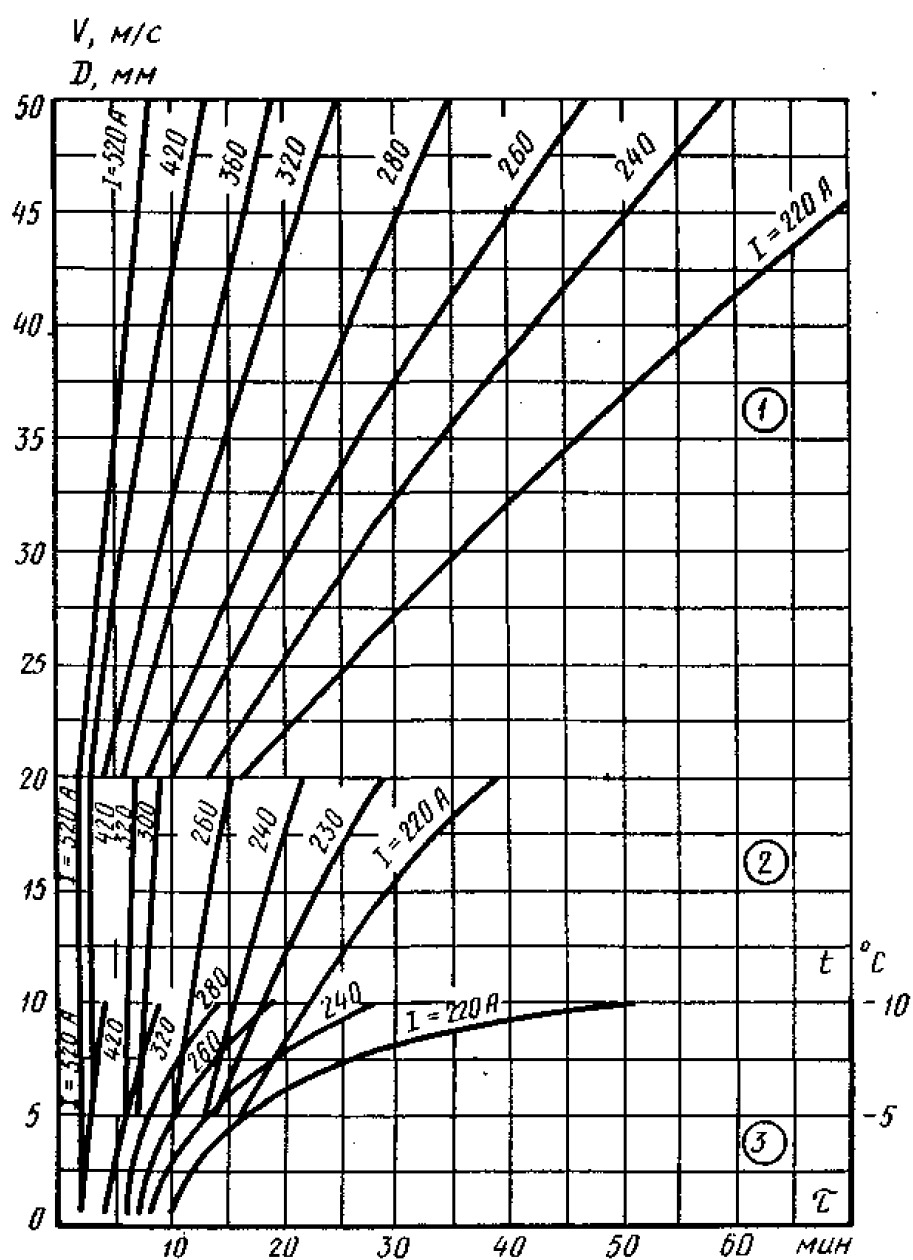


Рис. 33

2) $D = 20; 30; 40; 50$
 $V = 10; t = -5$

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

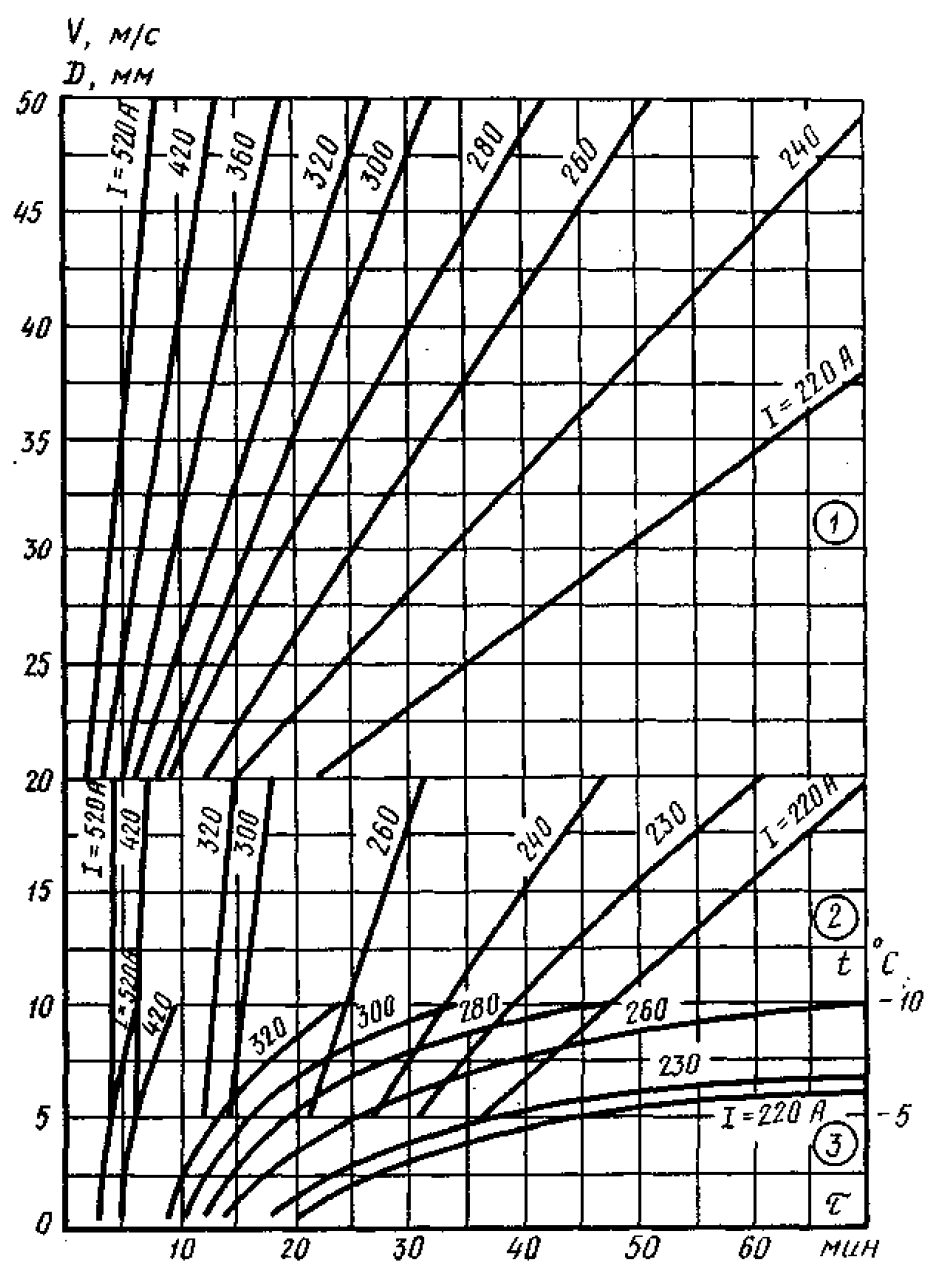


Рис. 34

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

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

Провод АС-50
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

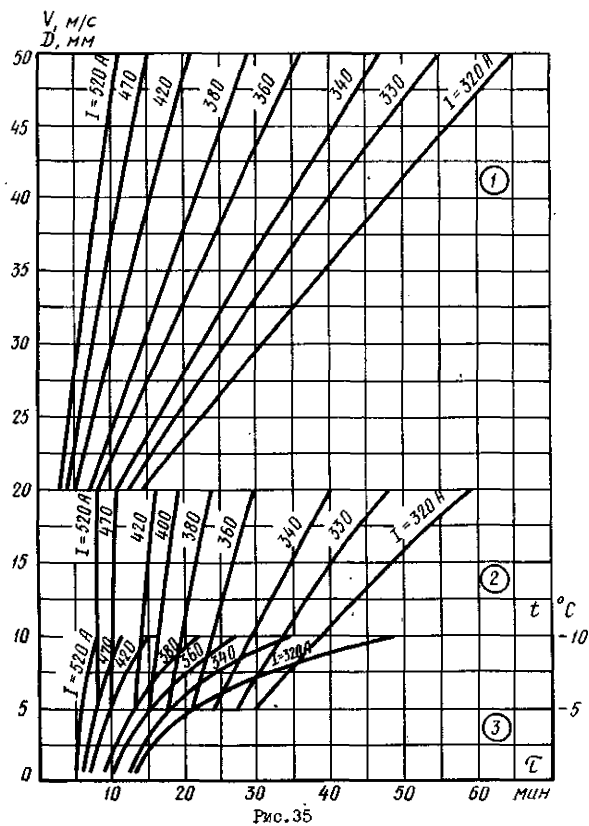


Рис. 35

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

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

Провод ПС-25
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t=-1; -5; -10$
 $D=20; V=5$

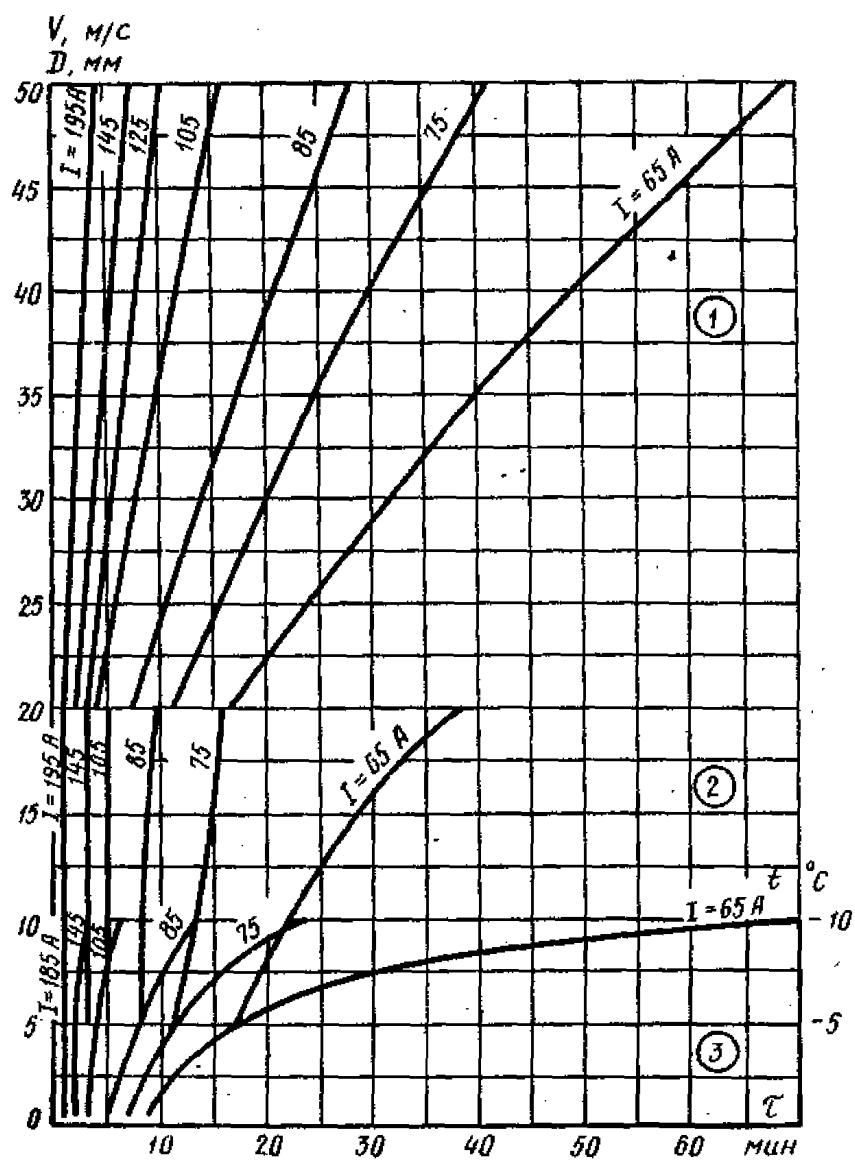


Рис. 36

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

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

Провод ПС-25
 $\gamma=0,9\text{г/см}^3$

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

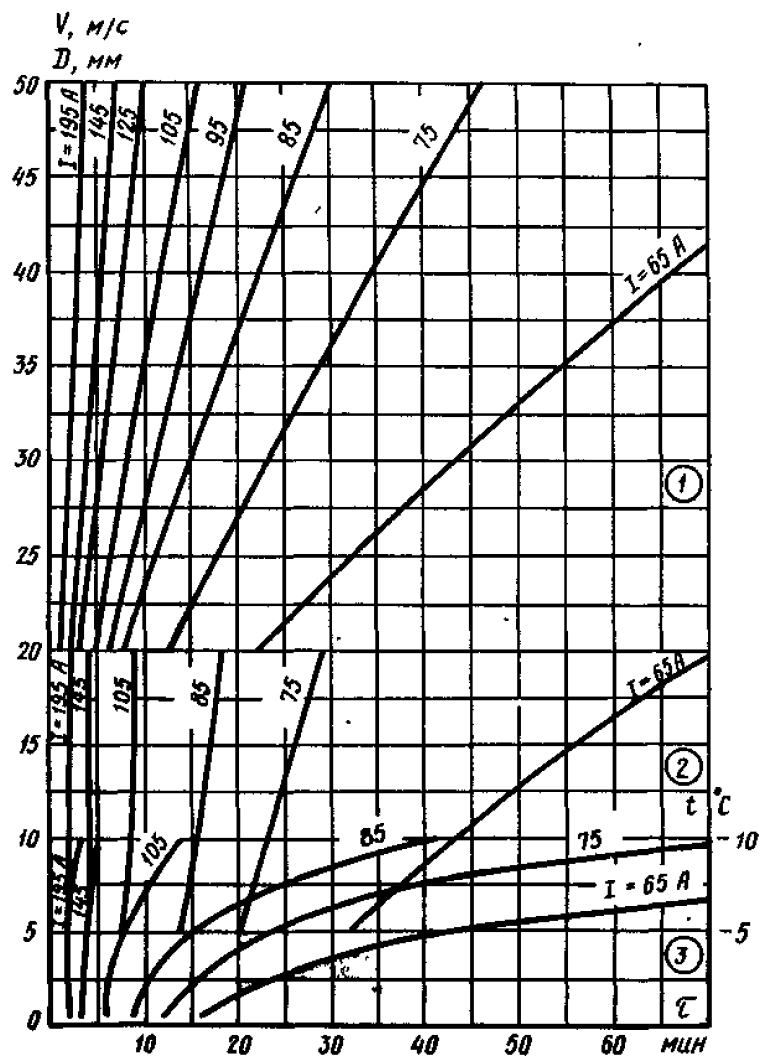


Рис. 37

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

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

Провод ПС-25
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

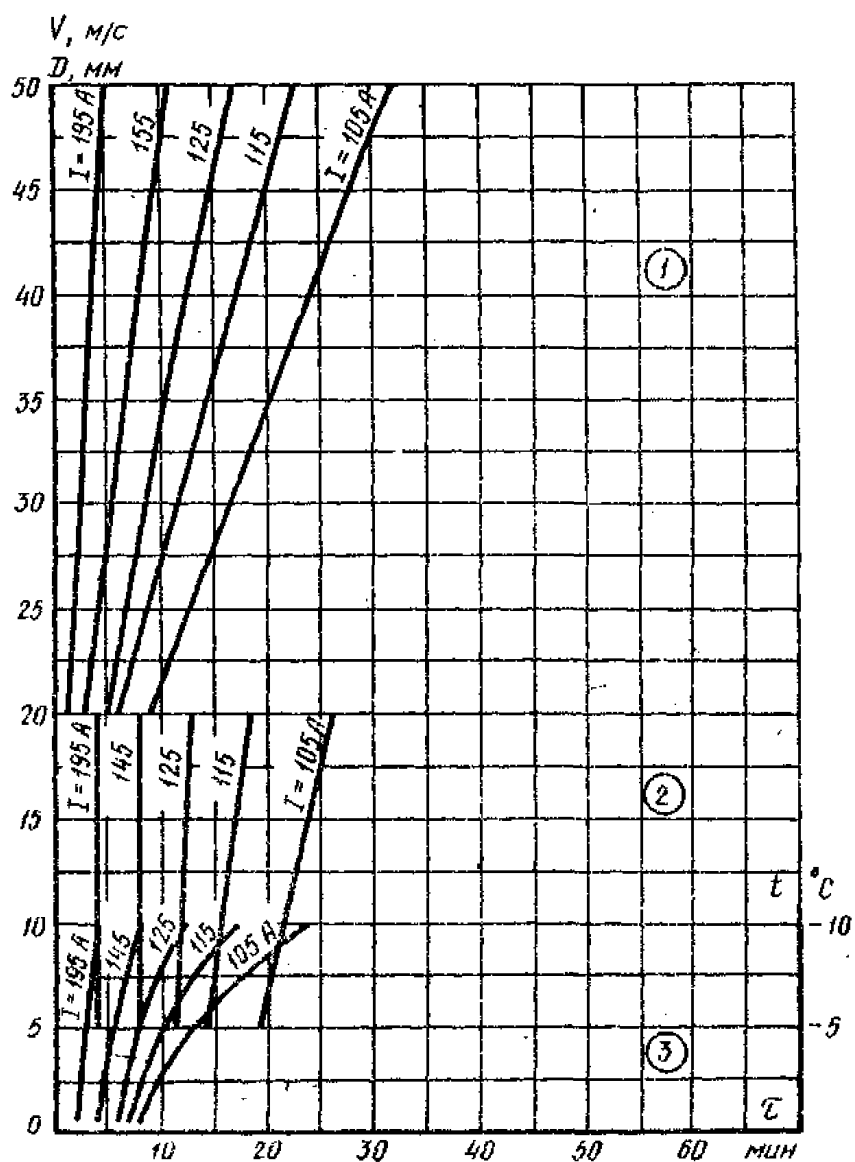


Рис. 38

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

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

Провод ПС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) $t = -1; -5; -10$
 $D = 20; V = 5$

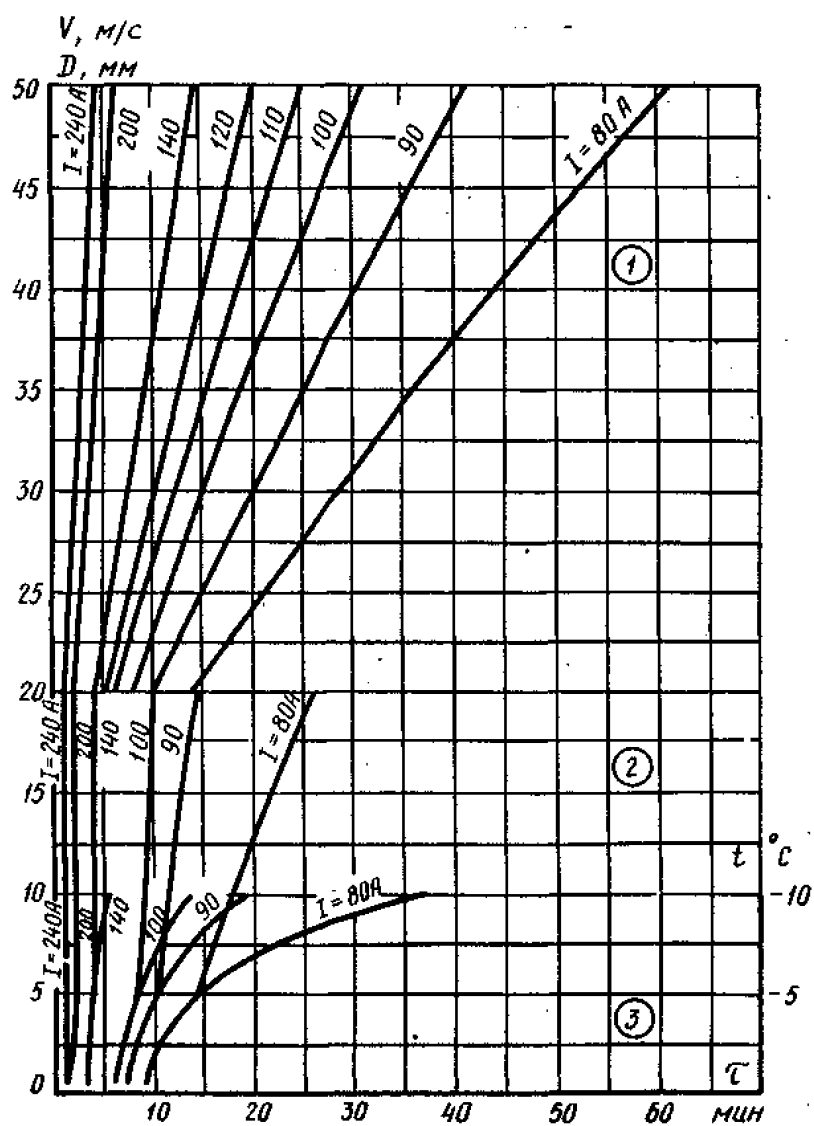


Рис. 39

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

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

Провод ПС-55
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

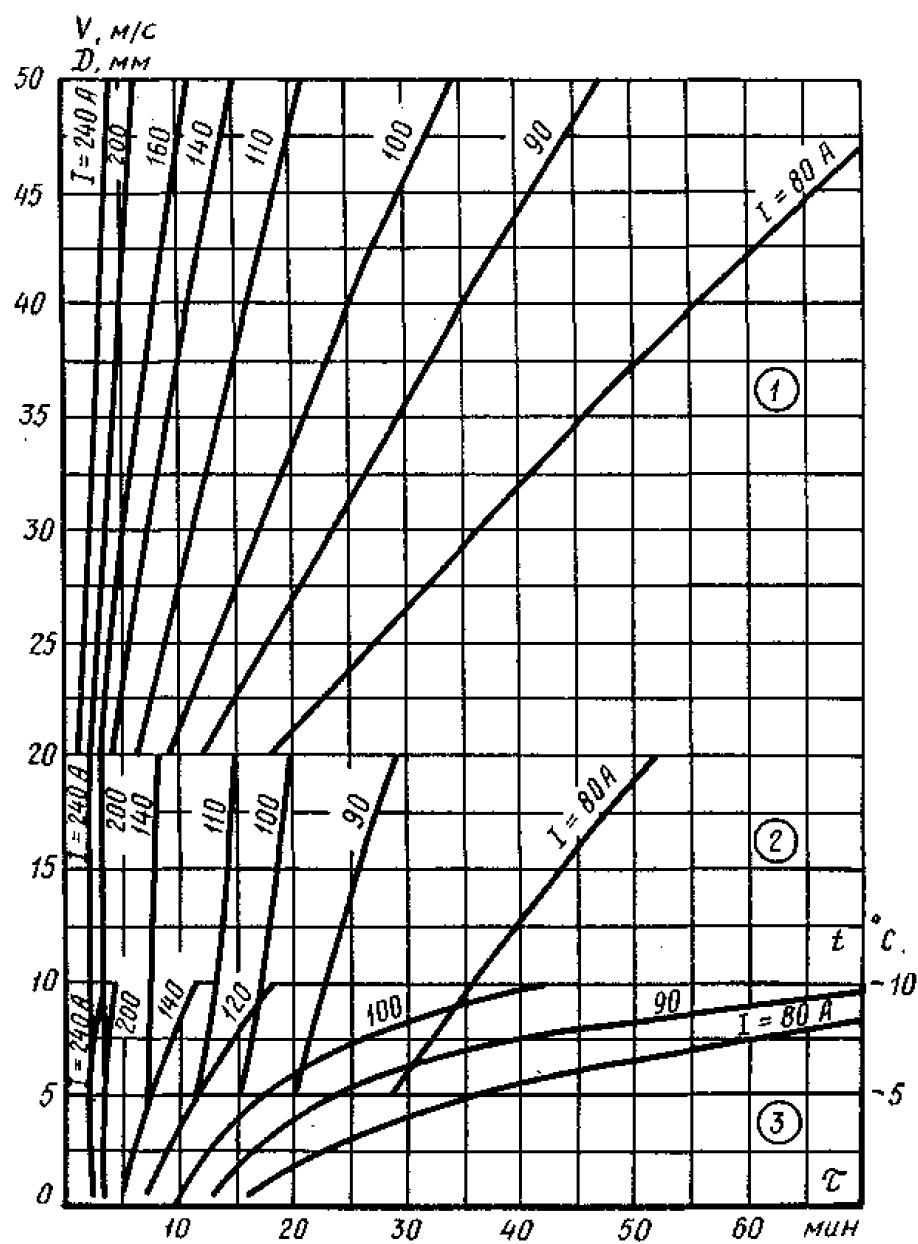


Рис. 40

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

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

Провод ПС-35
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

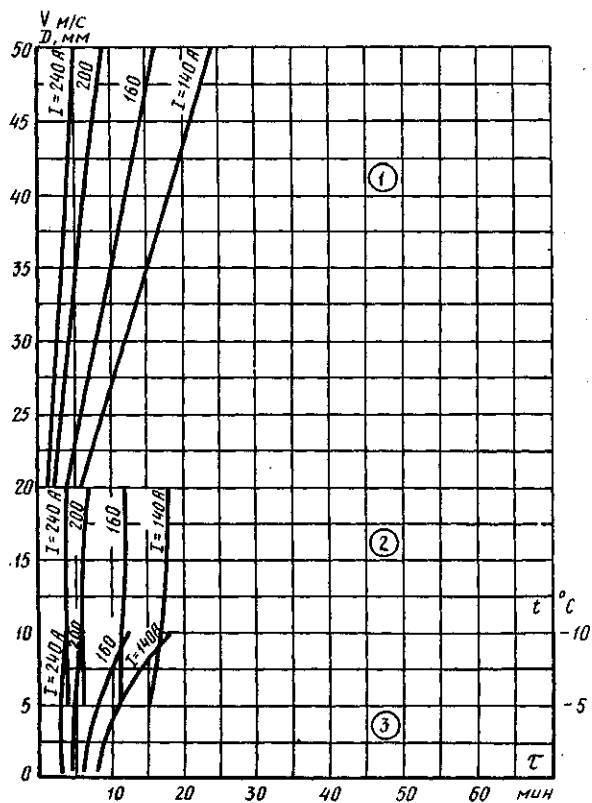


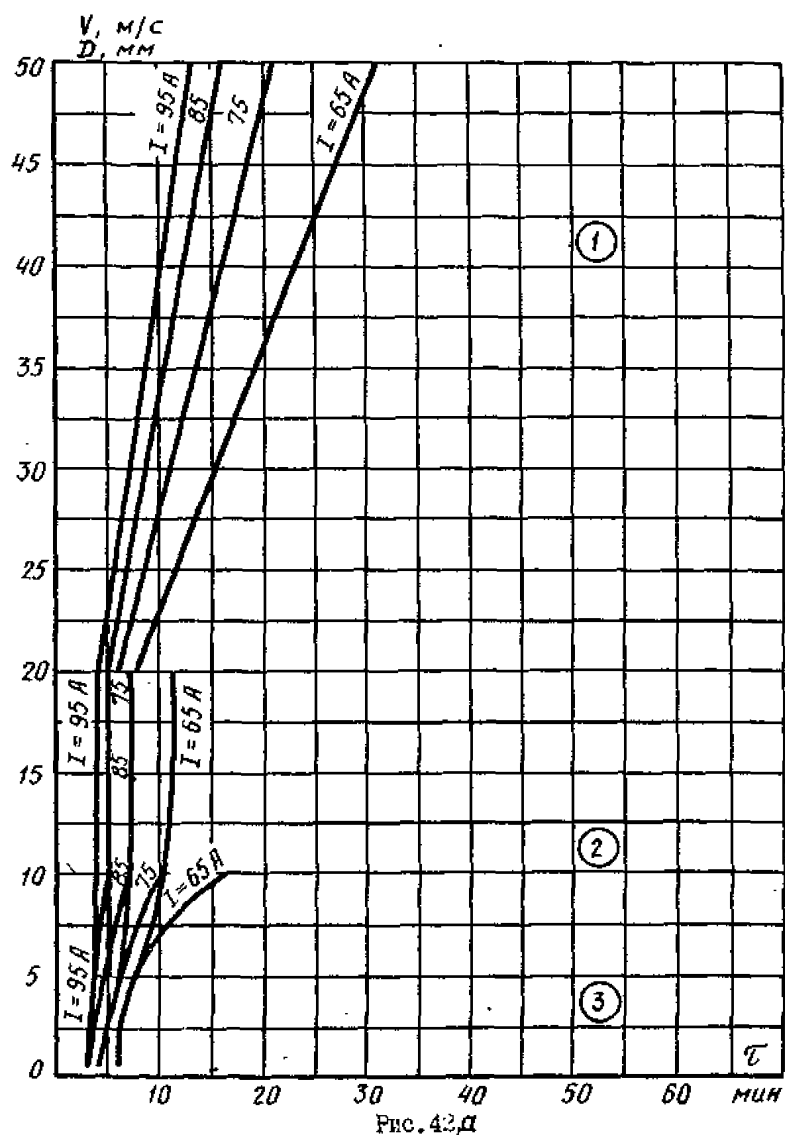
Рис. 41

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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

3) t = -1; -5; -10
D=20; V=5



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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma=0,9 \text{ г/см}^3$

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

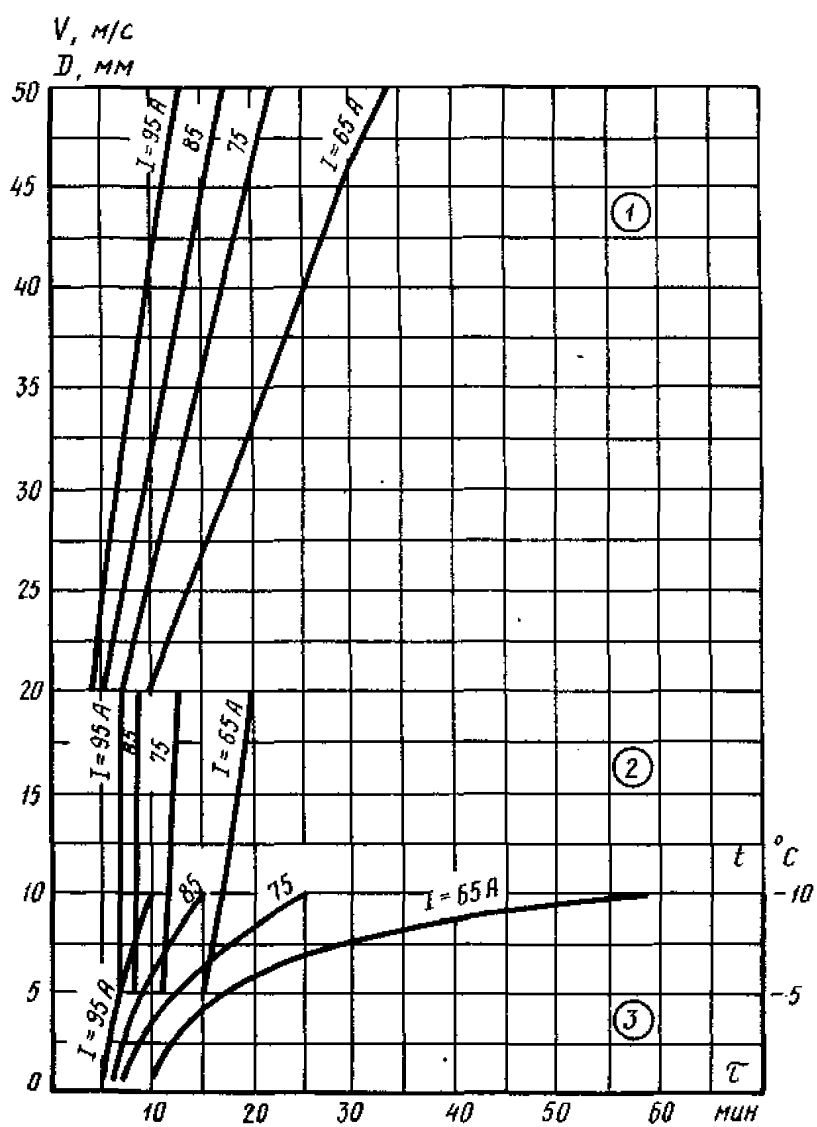


Рис. 42,б

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

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

Провод ПСО-5
 $\gamma = 0,9 \text{ г/см}^3$

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

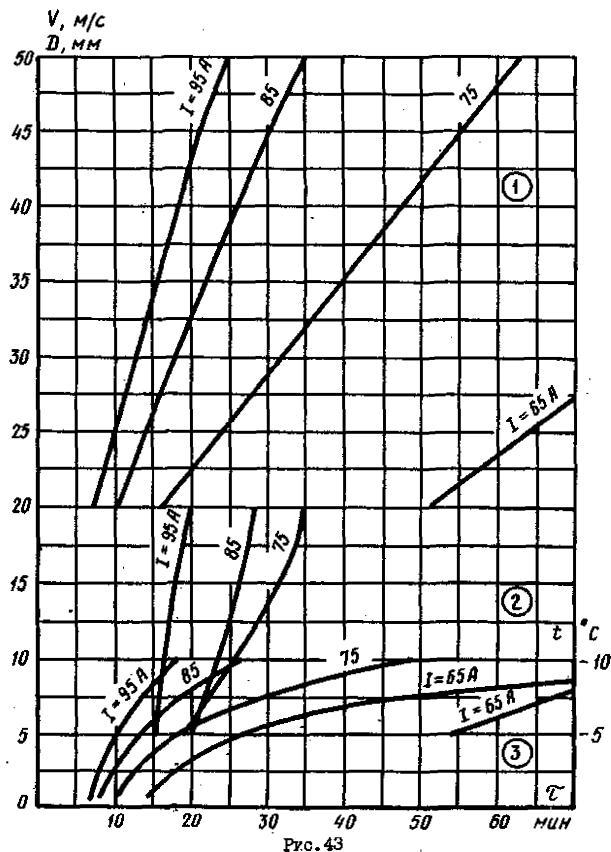


Рис. 43

Кривые, обозначенные на рисунках индексом 2, построены для постоянных D и t и изменяющейся U ,

Кривые, обозначенные на рисунках индексом 3, построены для постоянных V и U и изменяющейся t .

Единицы измерения: D - мм; t - °C; U - м/с, γ - г/см³.