

Министерство энергетики и электрификации СССР
Г Л А В Н И Й П Р О Е К Т
Ордена Октябрьской Революции
Всесоюзный Государственный проектно-исследовательский
и научно-исследовательский институт энергетических
систем и электрических сетей
" ЭНЕРГОСЕТЫПРОЕКТ "

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ГРОВОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Главный инженер института

 В. Рокотян

Начальник технического отдела

 А. Зеличенко

№ 5290тм-ТІ

стр. 64

Украинское отделение института
" Энергосетьпроект "
Киевский отдел комплексного проектирования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ГРЭСОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Главный инженер ОИП

Главный специалист



В. ЛЕЖНЕВ.

Ю. ШУР.

№ 5290ГМ-ГІ

Киев - 1976

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
1. Цели и задачи методических указаний и общие положения	4
2. Предварительная проверка термической устойчивости ГТ	5
3. Расчетный ток короткого замыкания и расчетные условия	7
4. Расчет токораспределения для стальных тросов	11
5. Проверка стальных тросов на термическую устойчивость	12
6. Расчет токораспределения для сталеалюминиевых тросов	14
7. Проверка сталеалюминиевых тросов на термическую устойчивость	16
8. Л и т е р а т у р а	17
9. Примеры расчета термической устойчивости	18

П р и л о ж е н и я :

1. Приложение 1. Температурные кривые стальных и алюминиевых проводников при коротких замыканиях	24
2. Приложение 2. Характеристики стальных канатов и сталеалюминиевых проводов, используемых в качестве грозозащитных тросов	26
3. Приложение 3. Допустимые по термической устойчивости значения токов короткого замыкания в зависимости от времени протекания	27
4. Приложение 4. Токораспределение в стальных грозозащитных тросах	28
5. Приложение 5. Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления	58
6. Приложение 6. Кривые изменения некоторых тригонометрических и гиперболических функций	63

І. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

І.І. За последние 10-15 лет увеличение мощности энергосистем и развитие электрических сетей привело к существенному возрастанию уровней токов короткого замыкания, и, особенно, токов однополюсных коротких замыканий в сетях 110 кВ и выше.

В связи с этим значительно возросла вероятность повреждения грозозащитных тросов /ГТ/ воздушных линий электропередачи /ВЛ/ термическим воздействием токов однополюсных к.з. при перекрытиях изоляции ВЛ.

І.2. Целью настоящей работы является обобщение и конкретизация существующих методов расчета распределения тока к.з. в тросах и проверки тросов на термическую устойчивость и приведение их в форму, удобной для практических расчетов.

І.3. Методические указания не содержат рекомендаций о способах обеспечения необходимой термической устойчивости тросов, если принятое в проекте или существующее на ВЛ фактическое сечение ГТ оказывается недостаточным. Такие способы должны выбирать, исходя из конкретных условий, и на основании технико-экономических и других соображений. При этом, в случае если при расчете потребуется значительное увеличение сечения ГТ / в т.ч. и замена стального ГТ проводящим/ на каком-либо участке ВЛ, необходимо оценить вероятность расчетного значения тока к.з. и длину такого участка по отношению ко всей длине ВЛ по [Л.9] .

І.3. На основании п.11-5-43 ПУЭ 1966 г., а также [Л.2,3,4] при разработке настоящих указаний приняты следующие исходные положения:

І.3.І. Проверка ГТ на термическую устойчивость производится для ВЛ в сети с большим током замыкания на землю, т.е. на напряжении 110 кВ и выше.

І.3.2. Проверка производится для случая к.з. на концевых опорах ВЛ [п.П-5-43 л.І], а также на смежных с ними опорах. Кроме того проверка должна быть произведена для случаев к.з. на опорах ВЛ смежных с опорами, на которых изменяется сечение ГТ /например переход от подхода с большим сечением ГТ к линии с меньшим сечением ГТ/, а также для случаев к.з. на опорах, на которых заканчивается заземленный подход ГТ и начинается участок с изолированным ГТ.

І.3.2. На участках ВЛ с изолированным в соответствии с п.П-5-78 ПУЭ 1966 г. креплением троса проверка на термическую устойчивость не производится.

І.3.4. Поскольку на участках ВЛ с заземленным ГТ сопротивление заземления опор и сопротивления ГТ не оказывают, как правило, заметного влияния на ток однополюсного к.з., распределение токов в ГТ рассчитывается по полученным независимо значениям тока к.з.

І.3.5. В случае проверки стальных ГТ учитываются только активные сопротивления элементов расчетной схемы и распределение только свободной составляющей (см.п.3.4) тока к.з.

І.3.6. В случае проверки сталеалюминиевых или алюминиевых ГТ учитываются полные /комплексные значения/ элементов расчетной схемы, а также распределение вынужденных и свободных составляющих тока к.з. /п.3.4./

І.3.7. Расчетным видом повреждения является однополюсное к.з. на опоре ВЛ. При перекрытии с провода на трос в пролете /например, при пляске или сбросе гололеда/ повреждения ГТ от прямого воздействия дуги не могут быть определены расчетом, а значения токов к.з. в ГТ, определяющие его термическую устойчивость, не будут существенно отличаться от расчетных при повреждении на опоре.

1.3.8. Предполагается, что сечение ГТ, значения сопротивлений опор и сопротивления контуров заземления подстанций и опор определены при разработке проекта ВЛ или известны, если проверяется сечение троса на существующей линии.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГТ

2.1. Термическая устойчивость ГТ определяется величиной и временем протекания тока к.з. В соответствии с п. I-4-6 и I-4-8 ПУЭ 1966 г. при проверке проводников на термическую устойчивость расчетный ток к.з. принимается для наиболее тяжелых условий, а расчетное время - как полное время отключения основной защиты / с учетом АПВ/.

2.2. Для предварительной проверки термической устойчивости ГТ определяются по данным "Схемы развития энергосистемы" максимальные токи однополюсного к.з. на шинах РУ тех объектов, к которым присоединяется проектируемая или проверяемая существующая линия с учетом перспективы развития сети. По данным проектов релейной защиты или предварительным соображениям определяется полное время отключения, наличие и кратность АПВ. При этом время отключения при наличии АПВ определяется, как сумма полных времен отключения в каждом цикле АПВ.

2.3. По полученным значениям тока к.з. $I_{\text{к}} = 3I_{\text{н}}$ / и времени отключения t / из таблиц приложения 3 проверяется сечение ГТ. Если сечение ГТ оказывается достаточным $I_{\text{к}}$ меньше допустимого при данном t / дальнейших расчетов проводить не требуется.

2.4. В противном случае $I_{\text{к}}$ больше допустимого / выполняется расчет распределения т.к.з. в ГТ, проверка сечения, и при недостаточной термической устойчивости ГТ по уточненным величинам к.з. проектные решения должны быть изменены и вновь подвергнуты проверке.

3. РАСЧЕТНЫЙ ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И РАСЧЕТНЫЕ УСЛОВИЯ

3.1. Как указано в 1.3.3. расчетный ток однополюсного к.з. для последующего определения токораспределения в ИТ и проверки их на термическую устойчивость определяется независимо от схемы заземления ИТ и опор и величин заземления. Таким образом, данные о величине т.к.з. могут быть получены из "Схемы развития", проектов релейной защиты и ПА и рассчитаны специально.

При этом, т.к. в некоторых случаях возникает необходимость проверять ИТ не только на концевых опорах, но и в конце подхода к РУ и на линии, а с удалением от шин РУ значения тока быстро уменьшаются /особенно при больших начальных значениях/, необходимо также знать величины токов к.з. с концов проверяемой линии и изменение их, при перемещении точки к.з. по линии в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1

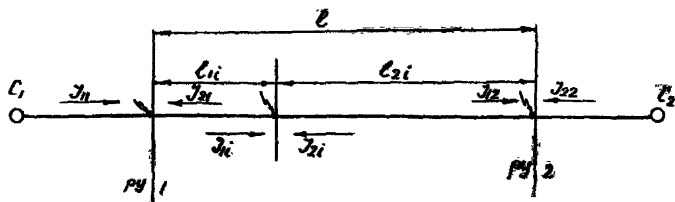


Рис. 1.

3.2. При отсутствии в имеющихся материалах данных об изменении т.к.з. при перемещении точки к.з. вдоль линии, такие значения могут быть вычислены на ЭВМ по типовой программе 5906тм [Л.8] или с достаточной для приближенных расчетов степенью точности получены из соотношений:

$$\bar{I}_{ii} = \frac{I_{ii} I_{i2}}{I_{ii} \frac{L_{ii}}{e} + I_{i2} \frac{L_{2i}}{e}} \text{ кА} / (3-1) \text{ , где } I_{ii} \text{ кА - ток}$$

однополюсного к.з. / $3\bar{I}_0$ /
 в точке i линии длиной e км,
 притекающий от системы 1, и
 удаленной на L_{ii} км от РУ1 и на
 L_{2i} км от РУ2.

$\bar{I}_{i1}, \bar{I}_{i2}$ - то же, при к.з. на шинах РУ1 и РУ2 - эти величины
 должны быть известны.

Аналогично вычисляется $\bar{I}_{2i} = \frac{\bar{I}_{22} \bar{I}_{21}}{\bar{I}_{22} \frac{L_{2i}}{e} + \bar{I}_{21} \frac{L_{1i}}{e}}$ /3-2/

и полный ток однополюсного к.з. в месте повреждения равен:

$$\bar{I}_{ki} = \bar{I}_{i1} + \bar{I}_{i2} \quad /3-3/.$$

3.3. В общем случае, ток однополюсного к.з. распределяется
 в системе трос-опора как показано на рис.2.

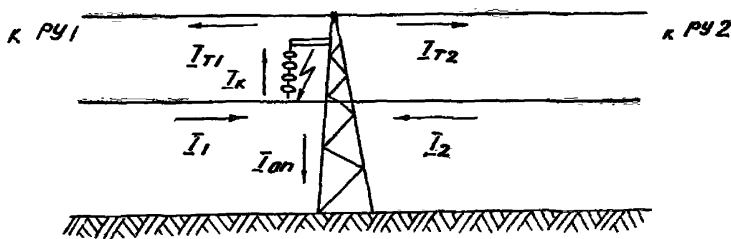


Рис.2.

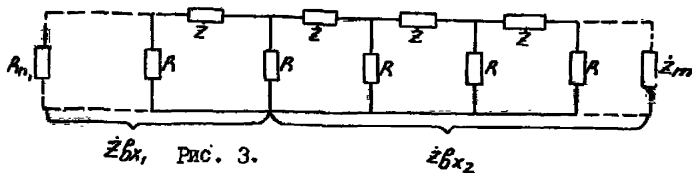
3.4. Ток в ГТ представляет собой результат наложения вынужденной составляющей, определяемой величиной индуктивной связи между ГТ и проводами ВЛ и током в гроздах, и свободной составляющей, определяемой только соотношением сопротивлений собственно тросов, заземления опор и контуров заземлений РУ. Вынужденная составляющая имеет существенное значение только в случае ГТ из сталеалюминиевых или других проводов с высокой проводимостью, а в случае ГТ из стальных канатов может не учитываться. Учет влияния вынужден -

ной составляющей рассмотрен в разделе 6.

3.5. Для упрощения расчетов токораспределения свободной составляющей принимается, что величины пролетов ВЛ и сопротивления заземления всех опор на участках с одним сечением ГТ имеют одно и то же среднее значение. При этом, каждая часть расчетной схемы /от опоры с к.з. в сторону РУ1 и РУ2 / представляет собой однородную цепь показанную на рис. 3, входное сопротивление которой по [Л.2]:

$$\dot{Z}_{bx} = \frac{\dot{Z}_m \dot{Z}_c + \dot{Z}_c^2 th m \dot{y}}{\dot{Z}_c + \dot{Z}_m th m \dot{y}} \quad / 3-4 / , \text{ где}$$

$$\dot{Z}_c = \sqrt{\dot{Z} R} \quad / 3-5 / , \quad \dot{y} = \sqrt{\frac{\dot{z}}{R}} \quad / 3-6 /$$



th - гиперболический тангенс/см. приложение 6/;

m - число пролетов однородного участка ВЛ /до портала РУ или до участка ВЛ с другими параметрами R и \dot{Z} ;

R - сопротивление заземления опоры, Ом;

\dot{Z} - сопротивление пролета ГТ, Ом;

\dot{Z}_m - сопротивление, на которое замкнута однородная линия /на - пример, сопротивление заземления РУ- R_n , или сопротивление \dot{Z}_c участка с другими значения \dot{Z} и R /.

При больших значениях m , когда $th m \dot{y} = 1,0$ $\dot{Z}_{bx} = \dot{Z}_c$, независимо от величины \dot{Z}_m . Значение m , при котором это условие выполняется, можно определить из

$$m = \frac{3R}{|\dot{Z}_c|} \quad / 3-7 /$$

3.6. Распределение свободного тока в ГТ от места повреждения

определяется по

$$\underline{I}_{T1} = \underline{I}_K \frac{\underline{Z}_D}{\underline{Z}_{Bk1}} \quad / 3-8 / \text{ и}$$

$$\underline{I}_{T2} = \underline{I}_K \frac{\underline{Z}_D}{\underline{Z}_{Bk2}} \quad / 3-9 / , \text{ где:}$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_D} = \frac{1}{\underline{Z}_{Bk1}} + \frac{1}{\underline{Z}_{Bk2}} + \frac{1}{R} \quad / 3-10 /$$

Эти точки и являются определяющими для проверки, т.к. в следующих пролетах они быстро затухают.

3.7. Значения \underline{Z} определяются по заданной длине пролета, сечению и материалу ГТ /см. разделы 4 и 6/, значения R определяются в соответствии с принятыми в проекте величинами сопротивления заземлений опор в зависимости от удельного сопротивления грунта и высоты опор /таблица П-5-14 ПУЭ 1966 г./. При этом следует учитывать, что для двухцепных одноствоечных опор ВЛ на подходах к РУ значения R должны быть также снижены примерно в 2 раза по сравнению с нормами ПУЭ 1966 г. /Л-7, таблица 2/. Сопротивление контура заземления РУ / R_n / принимается обычно равным 0,5 Ом или задается по фактическому значению.

3.8. В случае, если расчетный участок примыкает к участку ВЛ с изолированным ГТ или, если ГТ изолирован от контура заземления подстанции, соответствующие значения \underline{Z}_m принимаются равными ∞ и тогда:

$$\underline{Z}_{Bk} = \frac{\underline{Z}_c}{thm\gamma} \quad /3-11/ \text{ в ту сторону ВЛ,}$$

которая примыкает к участку с $\underline{Z}_m = \infty$

4. РАСЧЕТ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ ТРОСОВ

4.1. Как было указано в разделах 1 + 3 в случае подвески на ВЛ стальных ГТ при расчете токораспределения учитывается только

свободная составляющая тока к.з. Кроме того, в формулах 3-4+3-II полные сопротивления заменяются их активными составляющими, т.е.

$\dot{Z} = Z$, где Z - активное сопротивление пролета ГТ и соответственно

$$Z_c = \sqrt{zR} \quad /4-1/ \quad \text{и} \quad \gamma = \sqrt{\frac{z}{R}} \quad /4-2/.$$

4.2. Значения для различных сечений ГТ определяются по формуле:

$$Z = \rho_{cm} \frac{e'}{S} \quad \text{Ом}, \quad /4-3/$$

где $\rho_{cm} = 0,14 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ - удельное активное сопротивление стальных проводников;

e' - средняя длина одного пролета ГТ, м

S - сечение ГТ, мм².

Характеристики некоторых стальных канатов по ГОСТ 3063-66, используемых в качестве ГТ, приведены в приложении 2.

4.3. Расчет токораспределения в ГТ ВЛ с двумя тросами производится по тем же формулам, но принимается $Z = \frac{Z_0}{2}$ /4-4/ и

$$\dot{I}_T = \frac{Z_0}{2Z_{0K}} \quad /4-5/.$$

4.4. Для сокращения объема расчетов в приложении 4 приведены значения относительного распределения тока к.з. в ГТ для наиболее характерных ВЛ при различных расчетных условиях.

4.5. При значениях $\dot{I}_K \gg 10$ кА и $Z_0 \gg 3$ Ом следует учесть снижение т.к.з. из-за влияния активного сопротивления заземлений опор и тросов. Чаще всего это происходит, когда ГТ изолирован от подстанции или подход примыкает к линии с изолированным ГТ. Фактическое значение $\dot{I}_{Kф}$ определяется по кривым /приложение 5/ по расчетному значению \dot{I}_K и вычисленному Z_0 и используется в дальнейших расчетах. Кривые построены по соотношению:

$$\dot{I}_{Kф} = \frac{\dot{I}_K U_H}{\sqrt{3 \dot{I}_K^2 R^2 + U_H^2}} \quad /4-6/$$

где $\bar{I}_k = 3\bar{I}_0$ - расчетное значение тока к.з., кА

U_n - номинальное напряжение, кВ

R - активная составляющая Z_0 , Ом.

5. ПРОВЕРКА СТАЛЬНЫХ ТРОСОВ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

5.1. При протекании по ГТ тока к.з. происходит нагрев троса. Так как действие тока к.з. кратковременно /до I_0 /, принимается, что выделяемое тепло не рассеивается и полностью идет на нагрев.

5.2. В качестве расчетного тока принимается полный ток однополюсного к.з. в месте повреждения /установившееся значение/, протекающий в ГТ и определенный для проверяемого пролета по формулам 3-8, 3-9 или 4-5 /при двух тросах/.

5.3. Как указано в 2.1 и 2.2 продолжительность действия т.к.з. определяется как полное время отключения равное

$$t = t_{р.з.} + t_{в} \quad /5-1/$$

где $t_{р.з.}$ - собственное время действия релейной защиты и

$t_{в}$ - собственное время выключателя.

При установке на линии быстродействующих защит и Современных выключателей полное время отключения принимается равным $t = 0,15с$, а для токовых защит $t = 0,2 + 0,25с$.

5.4. При наличии АПВ и одностороннем питании ВЛ полное время действия тока к.з. определяется как сумма полных времен отключения в каждом цикле АПВ /в предположении, что в бестоковую паузу охлаждения троса не происходит./.

5.5. При двухстороннем питании и неодновременном отключении к.з. с разных сторон ВЛ расчетное время отключения полного тока к.з. определяется из

$$t = t_1 + \left(\frac{I_2}{I_k}\right)^2 (t_2 - t_1) \quad /5-2/$$

где t_1 - полное время отключения со стороны ближайшего конца линии;

t_2 - тоже, с удаленного конца, I_K - полный ток к.з.кА,
 I_2 - ток к.з. от удаленного конца ВЛ, кА.

5.6. Аналогично определяется расчетное время, если АПВ про-
 исходит вначале с одного конца линии:

$$t = t_1 + \sqrt{\frac{I_2}{I_K}}^2 t_2 \quad / 5-3/$$

где t_1 - расчетное время отключения полного тока к.з., опреде-
 ленное по /5-1/ или /5-2/; t_2 - время отключения после неуспеш-
 ного АПВ; I_K - полный ток к.з., I_2 - ток к.з. с того конца ли-
 нии, где происходит АПВ.

5.7. Допустимый для данного сечения ГТ при времени действия
 ток к.з. определяется из:

$$\bar{I}_{K доп.} = \frac{S \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\frac{t}{A_D - A_0}}} \text{ кА} \quad / 5-4 /$$

S - сечение ГТ, мм², A_0 - величина, являющаяся функцией темпе-
 ратуры ГТ до к.з., A_D - то же, после к.з. /Л.6/. Величины A_0 и
 A_D определяются по кривой для стали /приложение I/ для начальной
 температуры $D_0 = 25^\circ\text{C}$ и конечной допустимой для стальных проводников
 температуры $D_K = 400^\circ\text{C}$ [Л.1].

В приложении 3 приведены значения допустимых токов к.з. для
 различных сечений ГТ в зависимости от времени действия.

5.8. Полученное значение $\bar{I}_{K доп.}$ сравнивается с большим значе-
 нием расчетного тока к.з. в ГТ /п.5.2/. Если $I_r < \bar{I}_{K доп.}$, ГТ терми-
 чески устойчив к т.к.з. В противном случае, после изменения исход-
 ных условий, проверка должна быть повторена.

6. РАСЧЕТ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ ТРОСОВ

6.1. При расчете токораспределения для сталеалюминиевых тро-
 сов необходимо учитывать как индуктивные сопротивления ГТ, так и
 распределение вынужденного тока, вызываемого наличием взаиминдук-
 ции между проводами ВЛ и ГТ.

6.2. Значения токов к.з. в ГТ /рис.2/ определяются из [Л.3]:

$$\bar{I}_{T1} = (1-\dot{p}) \bar{I}_1 + \dot{p} \bar{I}_K \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{\delta K_1}} \quad /6-1/;$$

$$\bar{I}_{T2} = (1-\dot{p}) \bar{I}_2 + \dot{p} \bar{I}_K \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{\delta K_2}} \quad /6-2/, \text{ где}$$

$$\dot{p} = 1 - \frac{z_3 + j \chi_{HT}}{z_3 + z_T + j \chi_T} \quad /6-3/ - \text{ безразмерный коэффициент, определяющий влияние взаимной индукции между проводами ВЛ и ГТ.}$$

$z_3 = 0,05 \text{ Ом/км}$ - сопротивление растекания тока в земле для $f = 50 \text{ Гц}$;

z_T - активное сопротивление ГТ, Ом/км;

$$\chi_{HT} = 0,145 \lg \frac{\Delta_3}{a_{HT}} \quad - \text{ сопротивление взаимной индукции между проводами ВЛ и ГТ Ом/км;}$$

$$\Delta_3 = 935 \sqrt{\rho} \quad /6-4/, \text{ где}$$

/6-5/, глубина возврата тока, где ρ удельное сопротивление земли, Ом.м..

a_{HT} - эквивалентное расстояние между проводами и тросом, м; для трехпроводной линии;

$$a_{HT} = \sqrt[3]{a_{HT1} \cdot a_{HT2} \cdot a_{HT3}} \quad /6-6/;$$

где a_{HT1} , a_{HT2} , a_{HT3} - расстояние между каждым из проводов одной цепи ВЛ и ГТ, м.

$$\chi_T = 0,145 \left[\lg \frac{2\Delta_3}{d_T} + 0,016 \right] \quad /6-7/ \text{ индуктивное сопротивление ГТ, Ом/км;}$$

Δ_3 - по /6-5/; d_T - диаметр ГТ, м,

$\dot{z}_{\delta K_1}$, $\dot{z}_{\delta K_2}$ и \dot{z}_0 вычисляются по /3,6/ с учетом комплексного значения

$$\dot{z} = (z_3 + z_T + j \chi_T) \epsilon' \quad /6-8/, \text{ где}$$

z_3, z_T, χ_T - по /6-3; 6-7/, ϵ' - длина пролета, км.

6.3. Для двухцепной ВЛ значения "р" обычно одинаковы для ка-

каждой цепи, если же цепи несимметричны по отношению к ГТ, расчет выполняется для каждой цепи отдельно.

6.4. Для ВЛ с двумя ГТ в формулы / 6-4; 6-7/ вводится средний геометрический диаметр ГТ / Л.5/:

$$d_{\text{ср}} = \sqrt{2d_T \cdot a_{TT}} \quad , /6-9/; \text{ где } d_T - \text{ диаметр ГТ, м;}$$

a_{TT} - расстояние между ГТ, м.

Коэффициент "р" и сопротивление "Z" в этом случае равны:

$$\rho = 1 - \frac{z_3 + jX_{\text{ЛГТ}}}{z_3 + 0,5z_T + jX_T} \quad /6-10/.$$

$$Z = (z_3 + 0,5z_T + jX_T) e' \quad /6-11/, \text{ а}$$

$$\bar{I}_T = \frac{(1-\rho)\bar{I}_1 + \rho\bar{I}_K \frac{z_0}{z_{\text{ГТ}}}}{2} \quad /6-12/$$

$$\bar{I}_{T2} = \frac{(1-\rho)\bar{I}_2 + \rho\bar{I}_K \frac{z_0}{z_{\text{ГТ}}}}{2} \quad /6-13/.$$

6.5. В случаях, когда сталеалюминиевый ГТ используется для в.ч. каналов связи или защиты и заземлен только по концам участка через дроссели, расчет токораспределения производится по приведенным выше формулам, как для однопролетной ВЛ с длиной пролета e' равной длине участка. Если же такой ГТ заземлен и на каждой анкерной опоре, то за длину пролета e' принимается усредненная длина анкерного пролета, а за число пролетов m - количество анкерных пролетов, Сопротивлением дросселей в расчетах можно пренебрегать.

7. ПРОВЕРКА СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ ТРОСОВ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

7.1. Проверка производится аналогично проверке стальных ГТ, как изложено в разделе 5. Так как определяющим является нагрев алюминиевой части ГТ, проверяется только сечение алюминия. Формула /5-4/ при этом преобразуется в:

$$\bar{I}_{\text{к доп}} = \frac{S_{\text{Al}} (\rho_{\text{Al}} + c \rho_{\text{ст}}) \cdot 10^{-3}}{c \rho_{\text{ст}} \sqrt{\frac{z}{AD - A_0}}} \quad \text{кА} \quad /7-1/$$

где $\rho_{\text{Al}} = 0,0263 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}^2}$ - удельное сопротивление алюминия

$\rho_{\text{ст}} = 0,14 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}^2}$ - то же, стали;

$c = \frac{S_{\text{Al}}}{S_{\text{ст}}} / 7-2/$ - отношение сечений алюминия и стали в проводе.

Значения A_{p} и A_0 определяются по кривой для алюминия -/приложение 1/. При этом конечная температура $\gamma_{\text{к}} = 200^{\circ}\text{C}$ [Л.1].

Характеристики некоторых сталеалюминиевых проводов, используемых в качестве ГТ, приведены в приложении 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок, 1966 г.
2. Генев Л. и др. Определение сечений грозозащитных тросов линий электропередач с учетом их термической устойчивости. "Электричество", 1972 г., № 4 стр.17-20.
3. *Funk Geznat. „Bezeichnung der Nullströmverteilung bei Erdkurzschluss einer Freileitung“*
„Electrotechnz.“ 1971, A9, № 2, 74-80, 23,24 /перевод в Экспресс-информации "Электрические станции, сети и системы" № 18, 1971 г., стр. 17-34/.
4. Сиромыхов Б. О термической устойчивости грозозащитных тросов линии электропередачи при однофазных коротких замыканиях. "Электрические станции" № 6, 1975 г., стр.56-59.
5. С.А.Ульянов. Электромагнитные переходные процессы. М.1970 г.
6. Электрическая часть станций и подстанций, под ред.А.А. Глазунова, М.Л.1951 г.
7. Руководящие указания по защите подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии и грозовых волн, набегающих с линий электропередачи. М-1973 г.
8. Программа расчета и построения графика распределения утроенного тока нулевой последовательности при однофазном к.з. по длине линии электропередачи. Инв.№ 5906 тм. Горьковское отд. ЭСП,1971 г.
9. Вероятности коротких замыканий с токами расчетных значений. Инв.№ 7489 тм-т3. ЭСП, 1975 г.

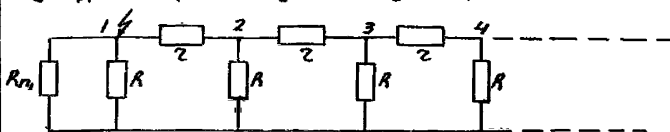
**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
ТРОСОВАЩИХ ТРОСОВ**

1.1. Исходные данные: ВЛ 110 кВ п/ст - I - п/ст - 2 одноцепная, 50 км, средняя длина пролета на подходе к п/ст I - 200 м, трос ТК-70, токи однополюсного к.з. по данным проекта релейной защиты в начале линий $\underline{I}_K = 30$ кА, $\underline{I}_1 = 25$ кА, $\underline{I}_2 = 5$ кА, длина подхода 2000 м, т.к.з. в конце подхода $\underline{I}_K = 22$ кА, $\underline{I}_1 = 16$ кА, $\underline{I}_2 = 6$ кА, сопротивление заземления опор $R = 10$ Ом, сопротивление заземления контура п/ст I - 0,5 Ом, полное время отключения $t = 0,15$ с, однократное АПВ, первое включение со стороны п/ст - 2.

1.2. Предварительная проверка /в соответствии с разделом 2/: полное время отключения с учетом АПВ - $t = 2 \times 0,15 = 0,3$ с

по приложению 3 для троса ТК-70 и $t = 0,3$ с $\underline{I}_K \text{ доп.} = 9,7$ кА меньше $\underline{I}_K = 30$ кА, трос термически неустойчив, требуется выполнить расчет.

1.3. Расчет токораспределения / в соответствии с разделами 3 и 4/. Для концевой опоры со стороны п/ст I схема замещения:



$$\text{по / 4-3/ } z = 0,14 \frac{200}{72,6} = 0,39 \text{ Ом; по /4-I/}$$

$$Z_c = \sqrt{10 \cdot 0,39} = 1,97 \text{ Ом.}$$

$$\text{по /4-2/ } \gamma = \sqrt{\frac{0,39}{10}} = 0,197 ;$$

$R_n = 0,5$ Ом / сопротивлением троса в пролете между первой опорой и подстанцией пренебрегаем, т.к. пролет порядка 30-50 м и в пролете 2 троса до портала/.

$Z_{\beta_{k2}} = Z_c = 1,97 \text{ Ом}$ / т.к. далее линия однородная и число пролетов по /3-2/ более

$$m = \frac{30}{1,97} = 15 \quad /3-II/$$

$$\frac{I}{Z_0} = \frac{I}{0,5} + \frac{I}{10} + \frac{I}{1,97} = 2,607; \quad Z_0 = 0,392 \text{ Ом}$$

по /3-9/ и /3-10/

$$I_{T1} = 30 \frac{0,392}{0,5} = 23,5 \text{ кА} - \text{ток в IT в сторону ц/ст I}$$

$$I_{T2} = 30 \frac{0,392}{1,97} = 6,0 \text{ кА} - \text{ток в IT в сторону ц/ст 2/}$$

/ или по приложению 5 для ТК-70, $\ell' = 200 \text{ м}$, $R = 10 \text{ Ом}$, относительное токораспределение $I'_{T1} = 0,78$, $I'_{T2} = 0,20$ и соответственно

$$I_{T1} = 30 \cdot 0,78 = 23,4 \text{ кА}, \quad I_{T2} = 30 \cdot 0,2 = 6,0 \text{ кА/}$$

І.4. С учетом АПВ со стороны ц/ст - 2 по /5-3/

$$\ell = 0,15 + \left(\frac{5}{30}\right)^2, \quad 0,15 = 0,154 \text{ с}$$

І.5. Т.к. в сторону портала ц/ст-I от первой опоры два троса, ток в каждом $I_{T1} = \frac{23,5}{2} = 11,75 \text{ кА}$

І.6. Допустимый ток при $\ell = 0,154$ по /5-4/

$$I_{\text{крит}} = \frac{72,6 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\frac{0,154}{0,5 \cdot 10^4 - 0,07 \cdot 10^4}}} = 12,0 \text{ кА } 13,46 \text{ кА}$$

где $A_{\text{д}} = 0,5 \cdot 10^4$ - для 400°C

и $A_0 = 0,07 \cdot 10^4$ - для 25°C по приложению І.

$I_{\text{крит}} > I_{T1}$, т.е. трос в сторону ц/ст І

термически устойчив.

Ток $I_{T2} = 6 \text{ кА} < I_{\text{крит}} = 12 \text{ кА}$, трос в сторону ц/ст 2 также устойчив.

І.7. При к.з. на опоре № 2 по /3-6/

$$Z_{\text{кз}} = \frac{Z_c Z_m + Z_c^2 \text{ th } m \ell}{Z_c + Z_m \text{ th } m \ell} = \frac{1,97 \cdot 0,5 + 3,9^2 \text{ th } 1,97 \cdot 0,845}{1,97 + 0,5 \cdot \text{th } 1,97} \text{ Ом}$$

0,055330418

где $Z_c = \sqrt{Rz} = 1,97 \text{ Ом}$ $Z_m = R_{m1} = 0,5 \text{ Ом}$

$m = 1$ /один пролет от опоры 2 до опоры 1/

$\beta = 0,197$ $\text{th} \beta = 0,19$ / по приложению 6/

$Z_{св.з.} = Z_c = 1,97 \text{ Ом}$ /см. выше п. 3. β /.

$$\frac{1}{Z_0} = \frac{1}{0,845} + \frac{1}{10} + \frac{1}{1,97} = 1,786; \quad Z_0 = 0,56 \text{ Ом}$$

$$\bar{I}_{T1} = 30 \frac{0,56}{0,845} = 19,8 \text{ кА}; \quad \bar{I}_{T2} = 30 \frac{0,56}{1,97} = 8,4 \text{ кА}$$

/или по приложению 5 $\bar{I}'_{T1} = 0,66$ и $\bar{I}'_{T2} = 0,28$ и $\bar{I}_{T1} = 30 \cdot 0,66 = 19,8 \text{ кА}$; $\bar{I}_{T2} = 30 \cdot 0,28 = 8,4 \text{ кА}$ /т.к. $\bar{I}_{T1} > \bar{I}_{к.добр.} = 12,0 \text{ кА}$,

ГТ ТК-70 в пролете 1-2 термически неустойчив.

2.1. Те же исходные данные, но на подходе длиной 2000 м в качестве ГТ подвешен провод АС-95/16, на остальной линии - ТК-70.

$\rho = 100 \text{ Ом.м}$ - удельное сопротивление грунта.

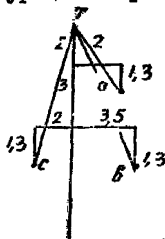
2.2. Предварительная проверка /см. пример 1/

$\beta = 0,3$, для этого времени и провода АС-96/16 $\bar{I}_{к.добр.} = 20,1 \text{ кА}$ / по приложению 3/, ГТ термически неустойчив, проводится расчет.

2.3. Рассчитываются параметры ГТ на подходе. По приложению 2 определяем $Z_T = 0,299 \text{ Ом/км}$, $d_T = 0,0135 \text{ м}$, по /6-5/

$$A_3 = 93,5 \sqrt{100} = 935.$$

Конфигурация опоры и расстояния:



$$\sigma_{\text{пот}} = 3,85 \text{ м}$$

$$\sigma_{\text{обТ}} = 7,22 \text{ м}$$

$$\sigma_{\text{мст}} = 6,6 \text{ м}$$

$$\sigma_{\text{пт}} = \sqrt[3]{3,85 \cdot 7,22 \cdot 6,6} = 5,68 \text{ м}$$

по /6-7/

$$x_T = 0,145 \left[\lg \frac{2 \cdot 935}{0,0135} + 0,016 \right] = 0,769 \text{ Ом/км}$$

по /6-5/ $x_{\text{пт}} = 0,145 \lg \frac{935}{5,68} = 0,32 \text{ Ом/км}$

$$\text{по } /6-8/ \quad \dot{z} = /0,05 + 0,299 + j 0,759 / 0,2 = 0,167 e^{j 65^{\circ} 20'}$$

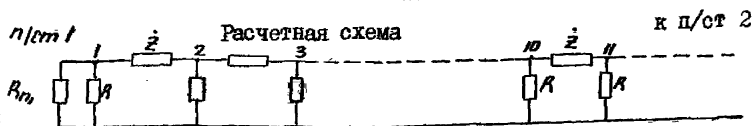
$$\text{по } /6-3/ \quad \dot{p} = I - \frac{0,05 + j0,32}{0,05 + 0,299 + j 0,759} = I - 0,396 e^{j 15^{\circ} 45'}$$

$$= 0,636 e^{-j 9^{\circ} 30'}$$

$$\text{по } /3-7/ \quad \dot{z}_c = \sqrt{\dot{z} R} = \sqrt{0,167 e^{j 65^{\circ} 20'} \cdot 10} = 1,275 e^{j 32^{\circ} 40'}$$

$$\text{по } /3-8/ \quad \dot{y} = \sqrt{\frac{\dot{z}}{R}} = 0,127 e^{j 32^{\circ} 40'}$$

$$\text{число пролетов на подходе } m = \frac{2000}{200} = 10$$



При к.з. на опоре № 2

$$\text{по } /3-6/ \quad \dot{z}_{k2} = \frac{\dot{z}_c \dot{z}_{m1} + \dot{z}_c^2 \operatorname{th} m_1 \dot{y}}{\dot{z}_c + \dot{z}_{m1} \operatorname{th} m_1 \dot{y}}$$

где $m_1 = 1$ и

$$\dot{z}_{m1} = R_{m1} = 0,5 \text{ Ом}$$

и

$$\dot{z}_{k2} = \frac{\dot{z}_c \dot{z}_{m2} + \dot{z}_c^2 \operatorname{th} m_2 \dot{y}}{\dot{z}_c + \dot{z}_{m2} \operatorname{th} m_2 \dot{y}}, \text{ где}$$

$$m_2 = 9, \quad \dot{z}_{m2} = 1,97 \text{ Ом / см. пример I,}$$

$\dot{z}_{m2} = \dot{z}_c$ длиной однородной линии с тросом ТК-70/.

$$\text{Вычисление необходимо, т.к. } m = \frac{3R}{|Z_c|} = \frac{3 \cdot 10}{1,275} \approx 25 > 10$$

$$\dot{z}_{k2} = \frac{1,275 e^{j 32^{\circ} 40'} \cdot 0,5 + 1,63 e^{j 65^{\circ} 20'} \operatorname{th} 0,127 e^{j 32^{\circ} 40'}}{1,275 e^{j 32^{\circ} 40'} + 0,5 \operatorname{th} 1 \cdot 0,127 e^{j 32^{\circ} 40'}} \quad 32^{\circ} 40' / \text{прил. 6/}$$

$$= \frac{0,84 e^{j 55^{\circ} 40'}}{1,39 e^{j 44^{\circ} 40'}} = 0,602 e^{j 11^{\circ}}$$

$$\dot{z}_{k2} = \frac{1,275 e^{j 32^{\circ} 40'} \cdot 1,97 + 1,63 e^{j 65^{\circ} 20'} \operatorname{th} 9 \cdot 0,127 e^{j 32^{\circ} 40'}}{1,275 e^{j 32^{\circ} 40'} + 1,97 \cdot \operatorname{th} 9 \cdot 0,127 e^{j 32^{\circ} 40'}} =$$

$$= \frac{3,38 e^{j 53^{\circ} 20'}}{2,93 e^{j 23^{\circ} 50'}} = 1,152 e^{j 29^{\circ} 30'}$$

$$\text{по /3-II/ } \frac{I}{Z_0} = \frac{I}{0,602 e^{j 110^\circ}} + \frac{I}{1,152 e^{j 29^\circ 30'}} + \frac{I}{10} = 2,66 e^{j 16^\circ 15'}$$

$$\dot{Z}_0 = 0,376 e^{j 16^\circ 15'}$$

по /6-I/ и /6-2/

$$\begin{aligned} \underline{I}_{T1} &= (1 - 0,636 e^{j 9^\circ 30'}) \cdot 25 + 0,636 e^{j 9^\circ 30'} \cdot \frac{0,376 e^{j 16^\circ 15'}}{0,602 e^{j 110^\circ}} \cdot 30 = \\ &= 21,15 e^{j 1^\circ 35'} \end{aligned}$$

Полное время отключения с учетом АПЭ $t = 0,154$ /см. пример I/.

Для этого времени:

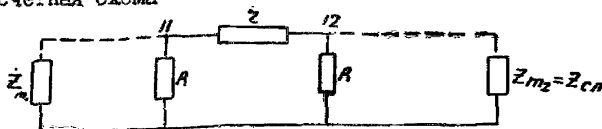
$$\underline{I}_{кз.от.} = \frac{95,4 / 0,0263 + \frac{95}{16} \cdot 0,14 \cdot 10^{-3}}{16} = 26,5 \text{ кА}$$

$$\frac{95,4}{16} \cdot 0,14 \sqrt{\frac{0,154}{1,31 - 0,2 / 10^4}}$$

$\underline{I}_{T1} = 21,15$ кА, следовательно трос АС-95/16 термически устойчив.

2.4. Проверка ИТ ТК-70 за подходом

Расчетная схема



Большим будет ток \underline{I}_{T1} в сторону ц/ст I при к.з. на опоре № 12

- /второй опоре от конца подхода в сторону линии /

$$\dot{Z}_{Bn} = \frac{Z_{cn} Z_m + Z_{cn}^2 \text{th } m \gamma_n}{Z_{cn} + Z_m \text{th } m \gamma_n}$$

где $m = 1$

$$Z_{cn} = 1,97 \text{ Ом}$$

$$\gamma_n = 0,197 \text{ /см. пр. I/}$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_{m2} &= \frac{1,275 e^{j 32^\circ 40'} \cdot 0,5 + 1,63 e^{j 65^\circ 20'} \text{th } 10 \cdot 0,127 e^{j 32^\circ 40'}}{1,275 e^{j 32^\circ 40'} + 0,5 \text{th } 10 \cdot 0,127 e^{j 32^\circ 40'}} \\ &= \frac{2,01 e^{j 67^\circ 40'}}{1,73 e^{j 27^\circ 50'}} = 1,17 e^{j 39^\circ 50'} \end{aligned}$$

$$\dot{z}_{Bx_2} = \frac{1,97 \cdot 1,17 e^{i 39^\circ 50'} + 3,9 \text{ th } 1 \cdot 0,197}{1,97 + 1,17 e^{i 39^\circ 50'} + \text{th } 1 \cdot 0,197} = \frac{2,94 e^{i 30^\circ 10'}}{2,148 e^{i 3^\circ 55'}} =$$

$$= 1,37 \cdot e^{i 26^\circ 15'}$$

$$\dot{z}_{Bx_2} = z_{cn} = 1,97$$

$$\frac{1}{\dot{z}_0} = \frac{1}{1,37 e^{i 26^\circ 15'}} + \frac{1}{1,97} + \frac{1}{10} = 1,30 e^{i 14^\circ 20'}$$

$$\dot{z}_0 = 0,77 e^{i 14^\circ 20'}$$

$$\dot{I}_{T1} = 2I \frac{0,77}{1,37} = 11,8 \text{ кА, где } 2I \text{ кА - ток в точке к.з.}$$

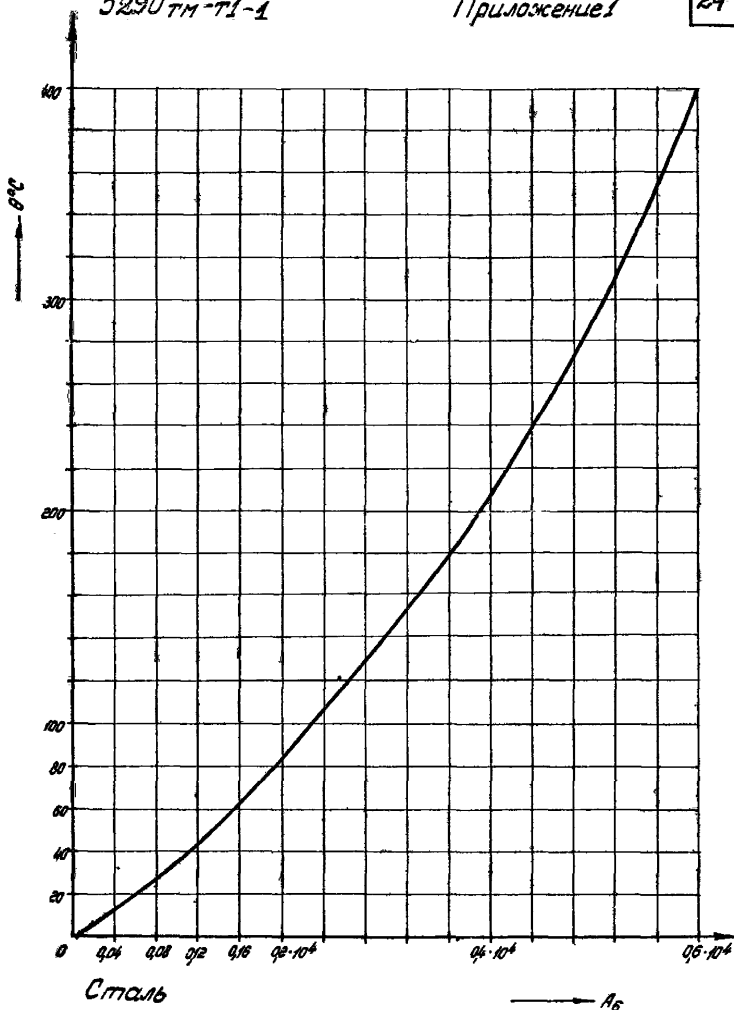
на удалении 2000 м от п/ст I.

Расчетное время с учетом АПВ в этой точке составляет

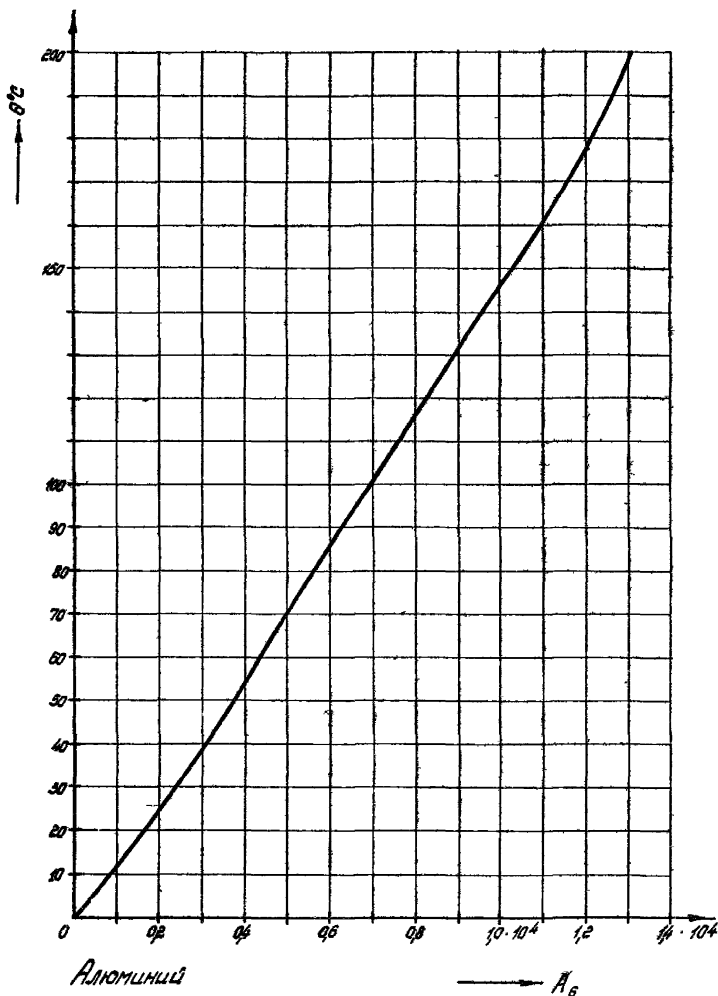
$$z = 0,15 + \left(\frac{6}{2I} \right)^2 \quad 0,15 = 0,162 \text{ с}$$

Для этого времени $I_{к доп} = 11,9 \text{ кА} > \dot{I}_{T1} = 11,8 \text{ кА}$

Таким образом, трос ТК-70 на линии термически устойчив.



Методические указания по расчету термической устойчивости грозазащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Температурные кривые стальных и алюминиевых проводников при коротком замыкании.



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Температурные кривые стальных и алюминиевых проводников при коротком замыкании

1. Стальные канаты по ГОСТ 3063-66

Марка троса	Сечение мм ²	Диаметр м	Сопротивление растяжению троса при 20°С Ом/км
ТК-50	48,64	0,0091	2,86
ТК-70	72,53	0,011	1,92

У 2 - МЗ-В-070 - Н-Р 2,33
 14,0 - МЗ-В-070 - Н-Р 1,64

2. Сталеалюминиевые провода по ГОСТ 839-74

Марка провода	Сечение мм ²		Диаметр провода м	Сопротивление растяжению троса при 20°С Ом/км	Отношение сечений алюминий/сталь
	алюминий	сталь			
АС-95/16	95,4	15,9	0,0135	0,299	6,0
АС-120/19	118	18,8	0,0152	0,245	6,28
АС-150/24	148	18,8	0,0168	0,195	7,88

Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Характеристики стальных канатов и сталеалюминиевых проводов, используемых в качестве грозозащитных тросов.

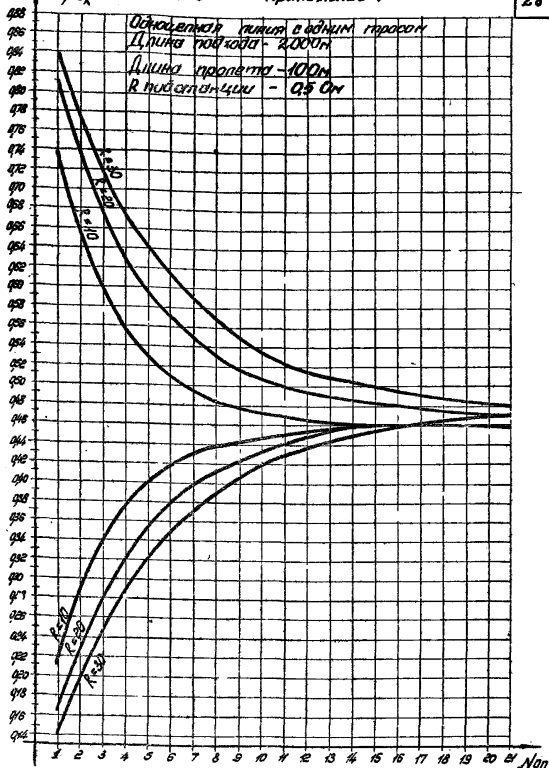
$$t_{\Sigma} = t_{p1} + t_{p2} + t_{\Sigma \text{ мин}}$$
1. Для стальных канатов $I_{\text{доп}}/кА$

время марка (с)	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
ТК-50	11,2	9,2	7,9	6,5	5,0	4,2	3,7	3,6
ТК-70	16,8	13,7	11,8	9,7	7,5	6,3	5,6	5,3

$$ТК-70 \quad \text{⑩, 24 сек}$$
2. Для сталеалюминиевых проводов $I_{\text{доп}} кА$, с учетом распределения тока между стальной и алюминиевой частями.

время марка (с)	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0
АС-95/16	32,8	26,8	23,1	18,9	14,6	12,4	10,9	10,3
АС-120/19	40,4	33,0	29,5	23,3	18,0	15,3	13,5	12,8
АС-150/24	50,9	41,5	36,0	29,4	22,8	19,3	17,0	16,1

Методические указания по расчету термической устойчивости разрядозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Допустимые по термической устойчивости значения токов короткого замыкания в зависимости от времени протекания.



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

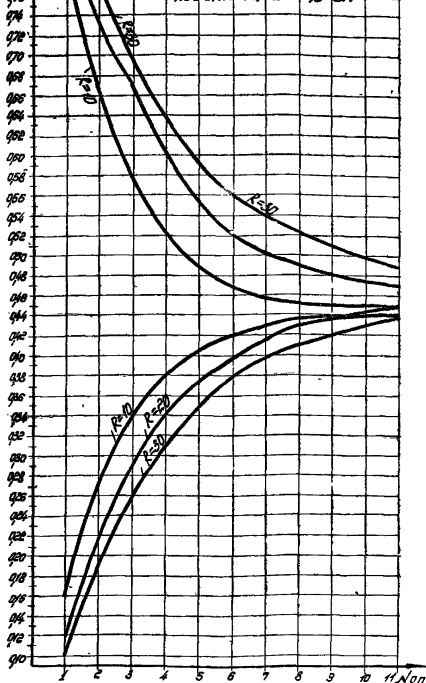
$\frac{I_1}{I_2}$

5290тп-11-6

Приложение 4

29

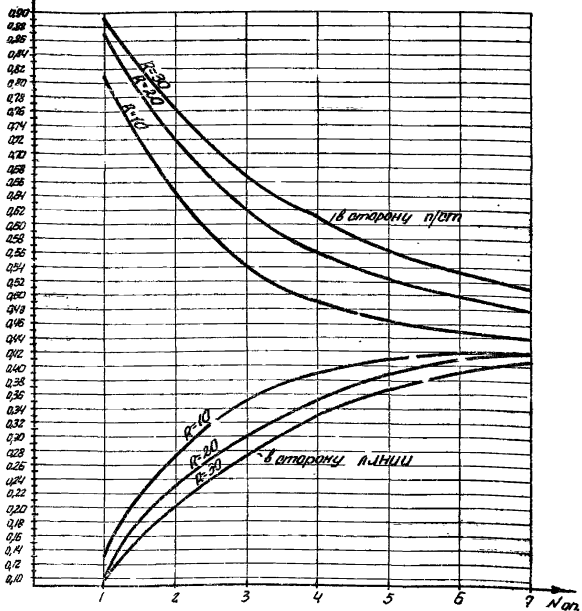
Одноцепная линия в одном тросом
Длина подвеса - 200м
Длина пролёта - 200м
И подвесницы - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости
грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токараспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50, ТК-70

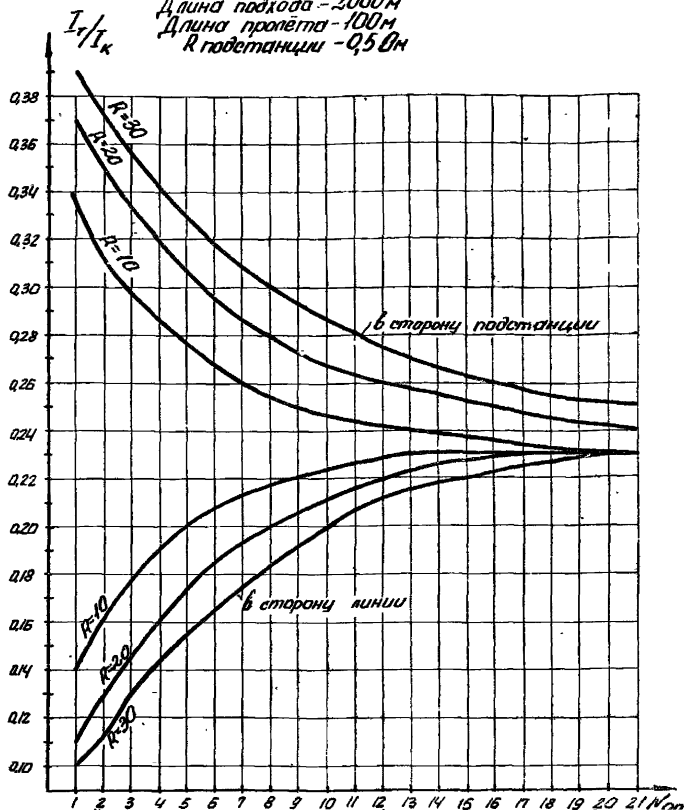
Одноцепная линия с одним тросом
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролета - 300 м

 I_T/I_K
 R подстанции - 0,5 Ом


Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов линий электропередачи

Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК50 и ТК70

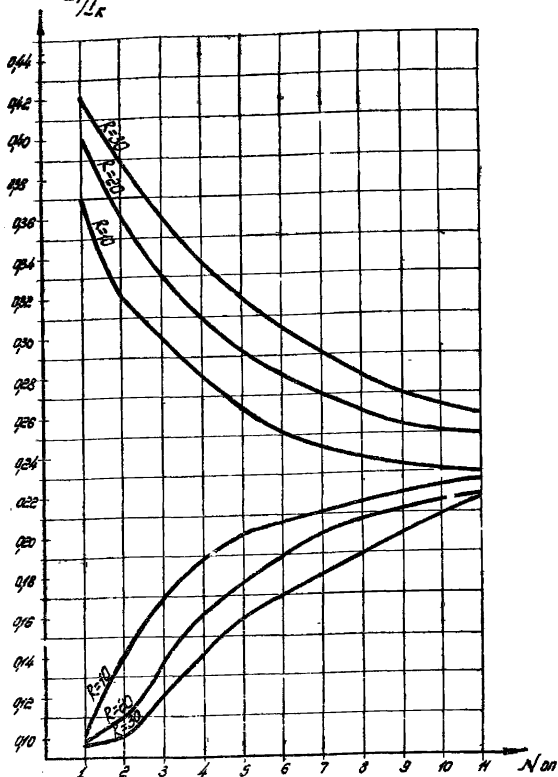
Одноцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 100 м
 R подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токарное распределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50, ТК-70

Обноцелна-я линия с двумя тросами.
 Длина подхода - 2000 м.
 Длина пролета - 200 м
 R п/ст - 0,50 м
 $I_{\Sigma} / I_{\text{кр}}$



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозащитных тросов воздушных линий электропередачи

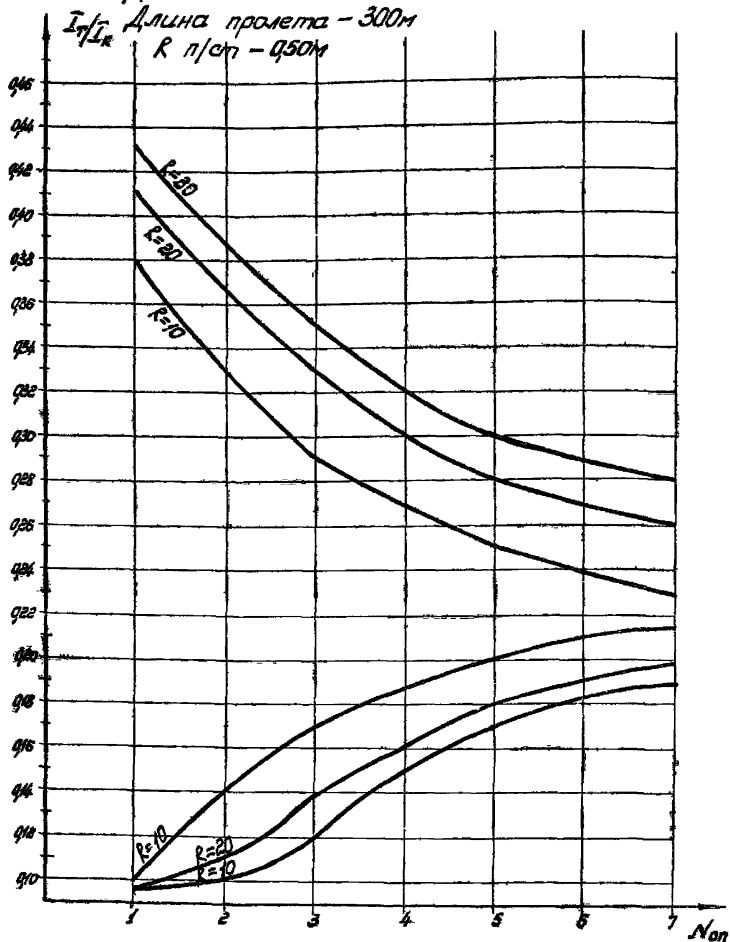
Токараспределение вставных тросах ТК-50 и ТК-70

Одноцветная линия с двумя тросами

Длина подхода - 2000м.

Длина пролета - 300м

R п/см - 0,50м



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

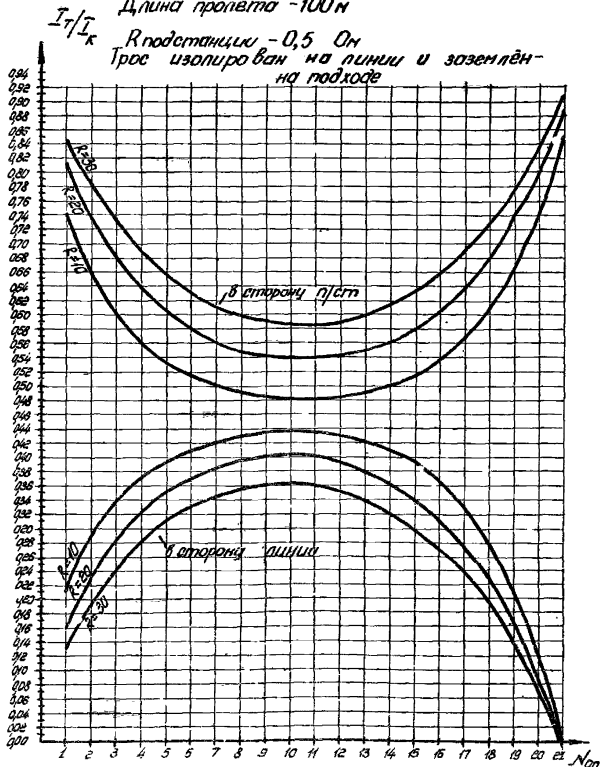
Одноцепная линия в одном тросе

Длина подхода - 2000 м

Длина пролёта - 100 м

$R_{\text{подстанции}} = 0,5 \text{ Ом}$

Трос изолирован на линии и заземлён на подходе

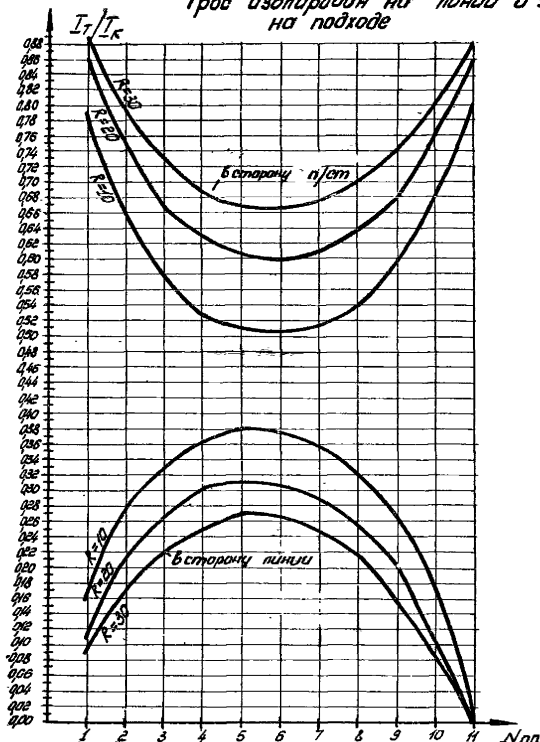


Методические указания по расчёту термической устойчивости
эрозийнозащитных тросов воздушных линий электропередачи

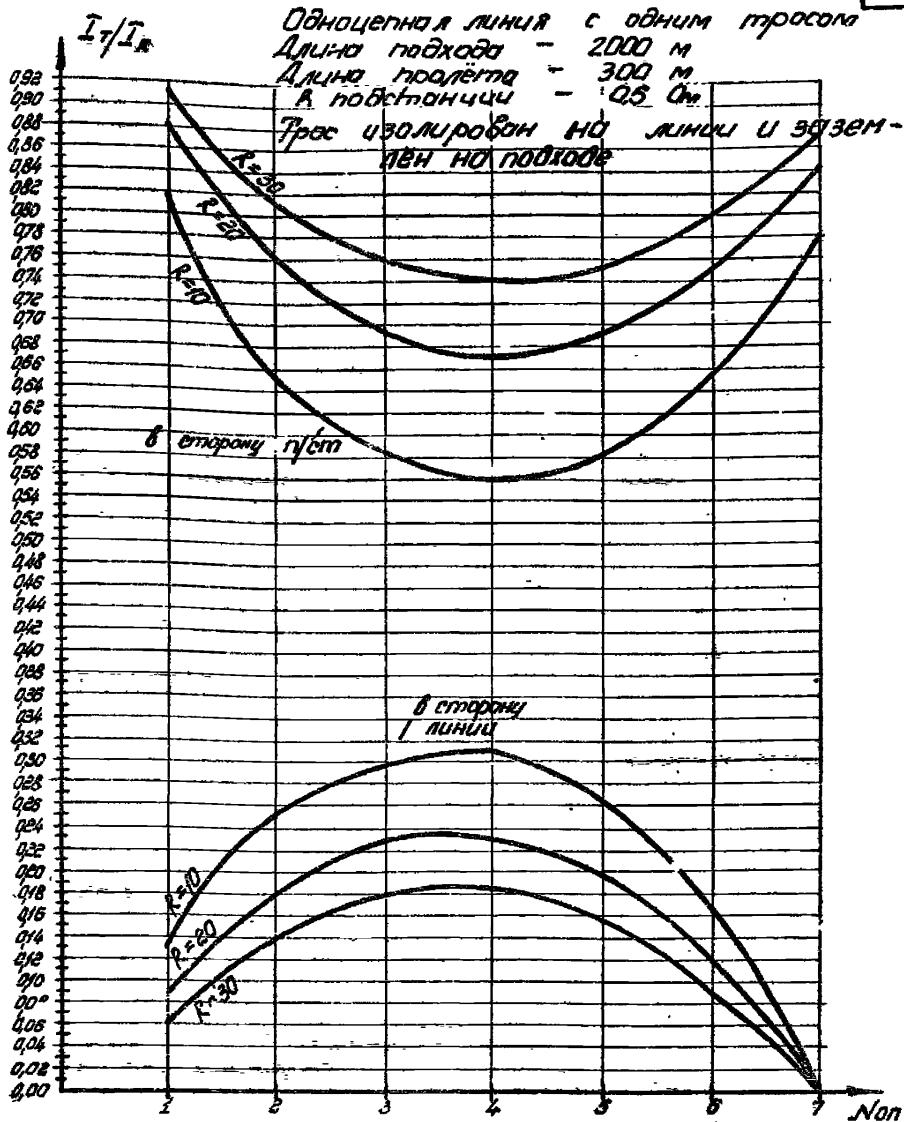
Температурное распределение в стальных эрозийнозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

Одноцепная линия с одним тросом
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 200 м
 R подстанции - 0,5 Ом

Трос изолирован на линии и заземлён
 на подходе

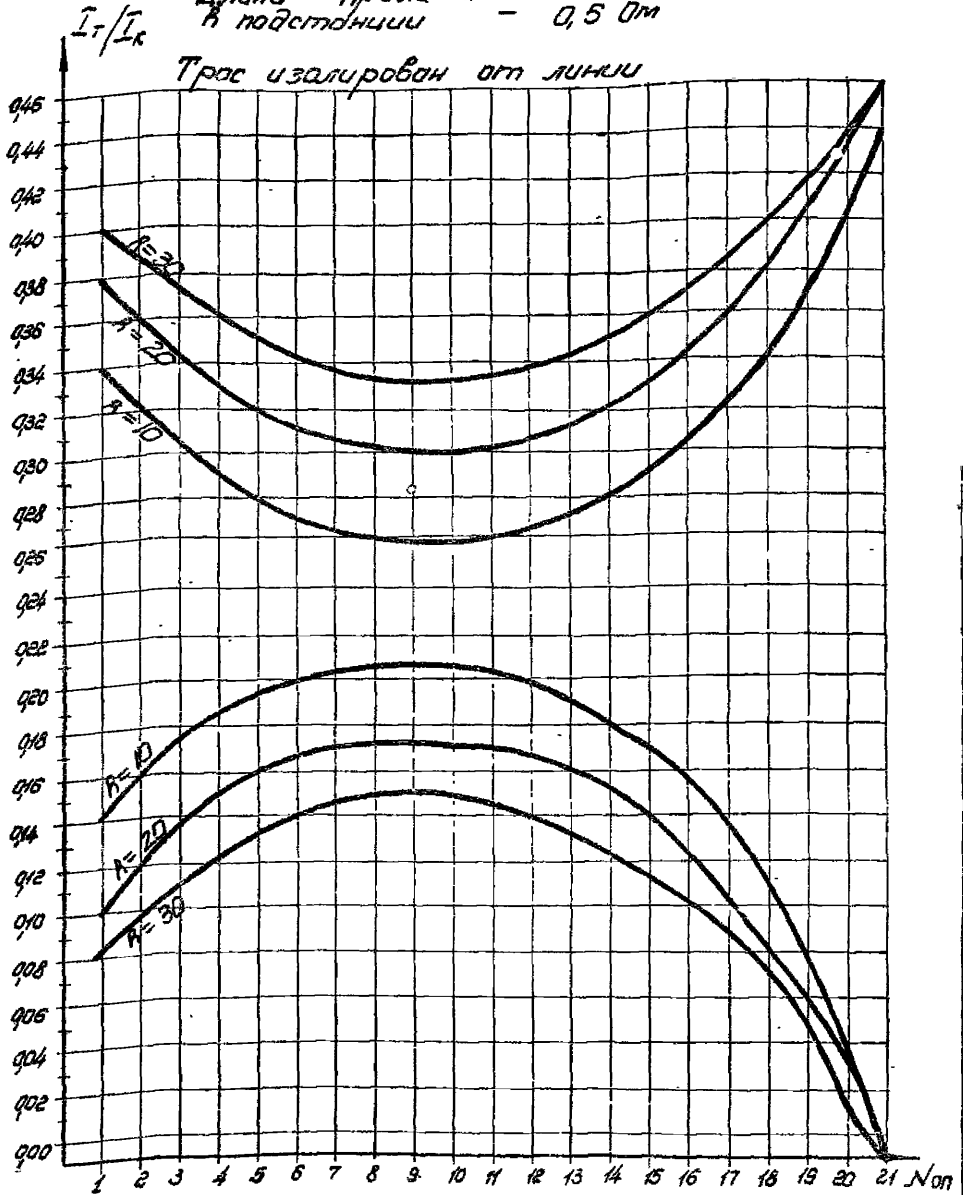


Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токораспределение в стальных грозозащитных тросах
 ТК-50 и ТК-70



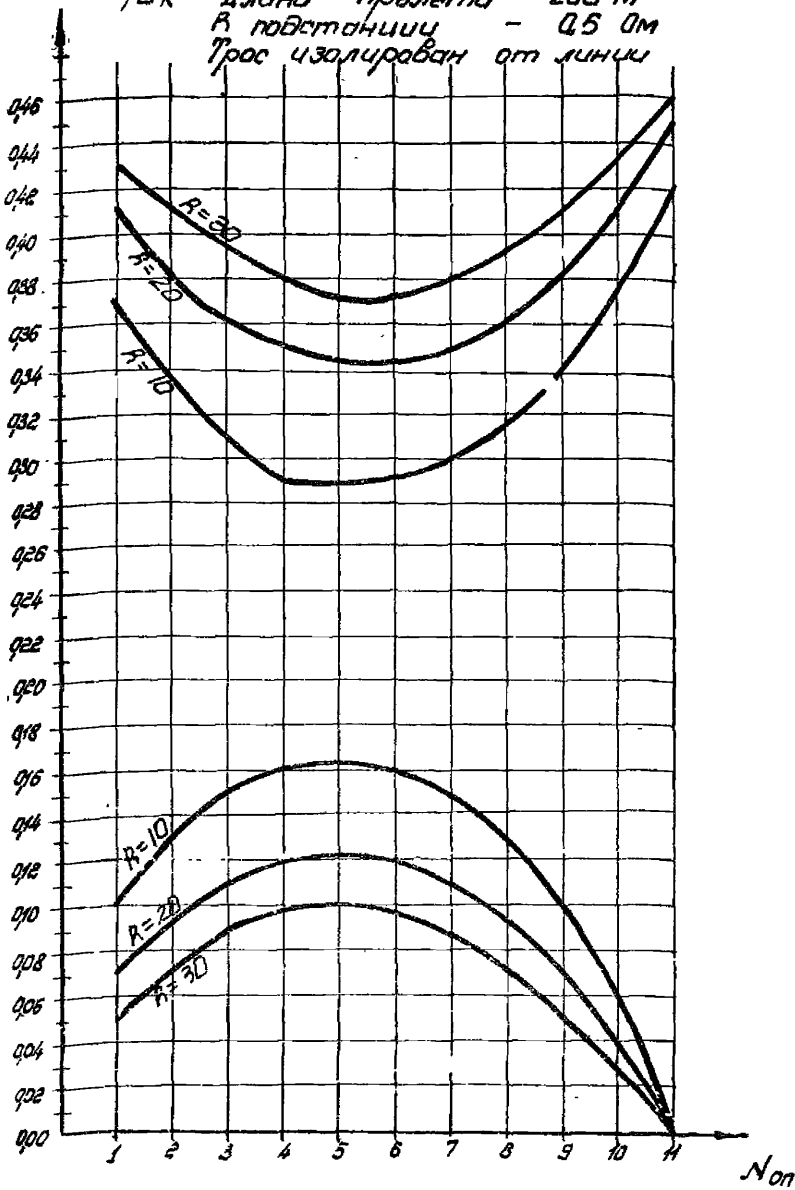
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токораспределение в стальных грозозащитных тросах
 ТК-50 и ТК-70.

Одноцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 100 м
 В подстанции - 0,5 Ом



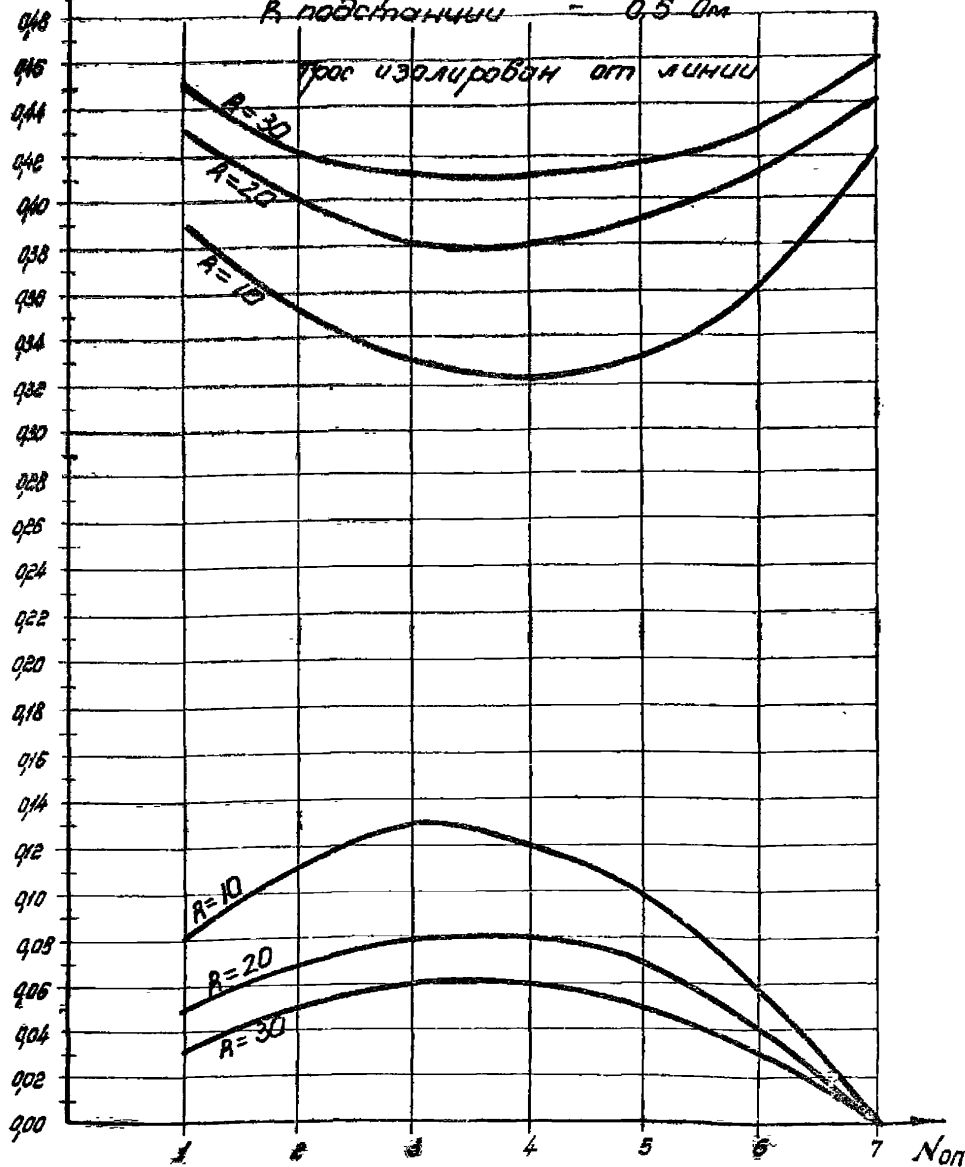
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Распределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

$\frac{I_T}{I_K}$ Одноцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 200 м
 В поворотах - 0,5 Ом
 Трос изолирован от линии



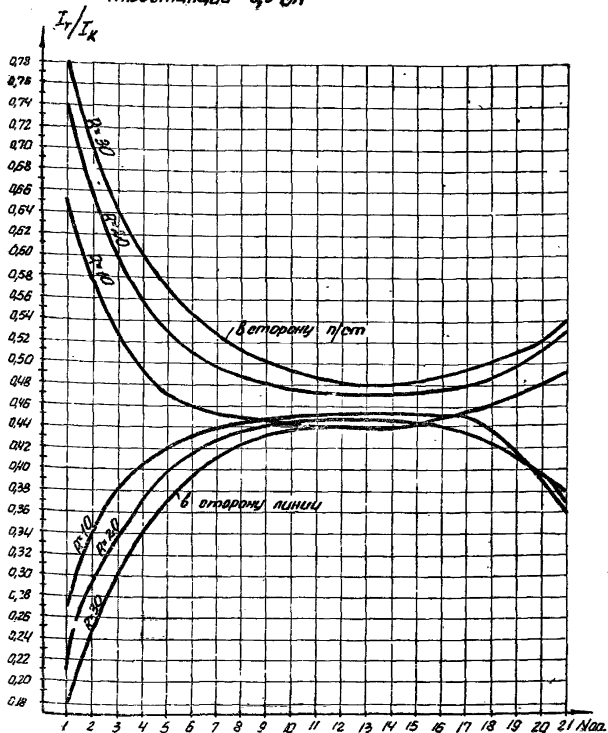
Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токараспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

I_T / I_R Одноцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода - 200 м
 Длина пролёта - 300 м
 R в подстанции - 0,5 Ом



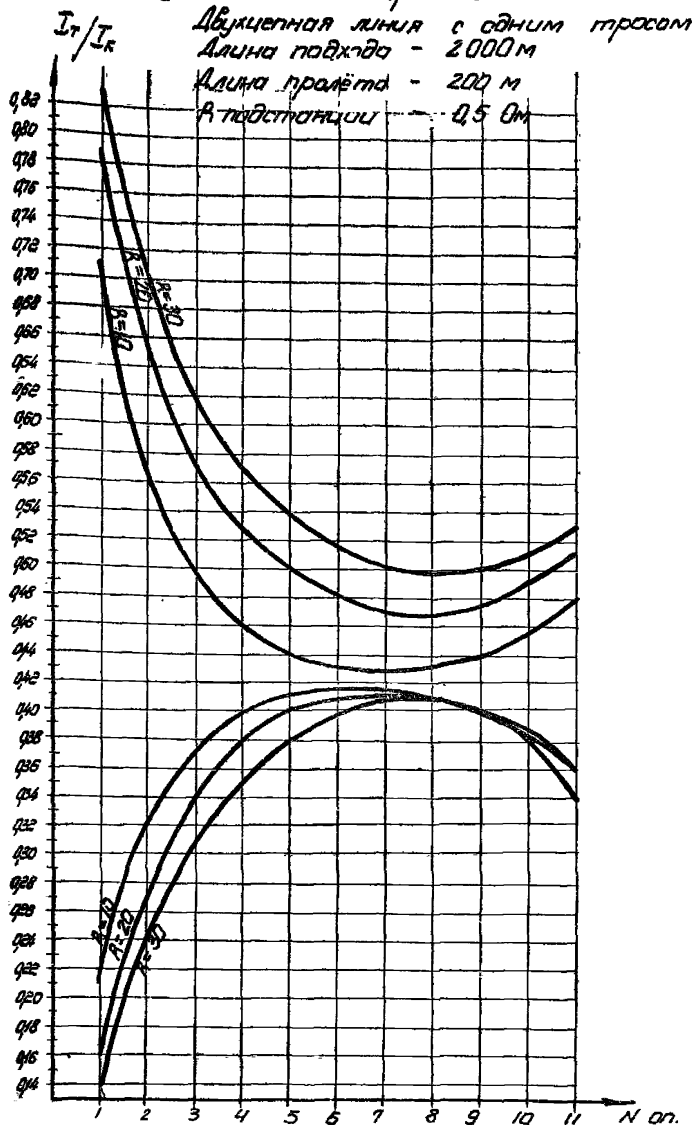
Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Распределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

Двухцепная линия с одним тросом
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 100 м
 R подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

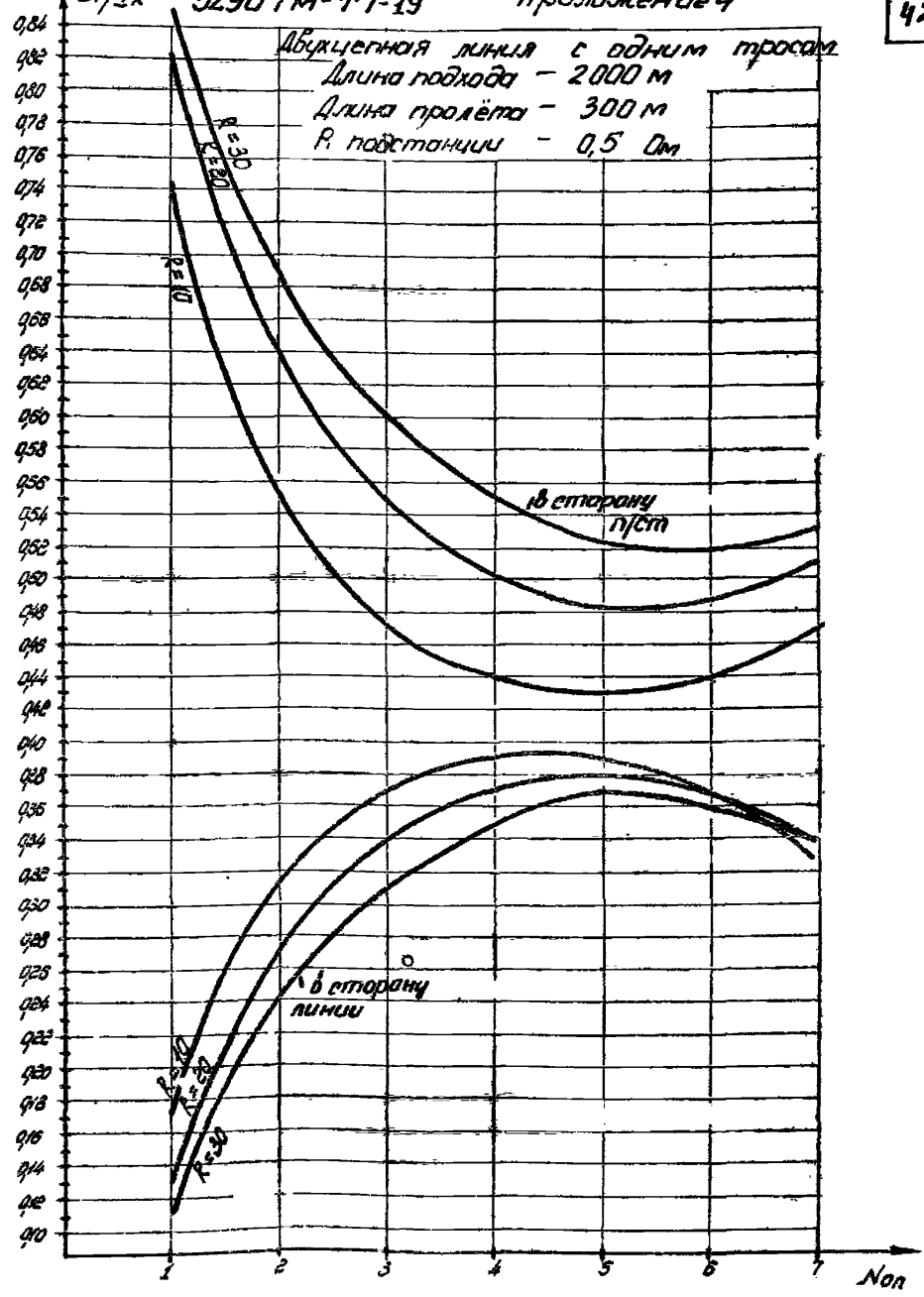


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Покрасраспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

ЛТ/Лк 5290 ТМ-Т 1-19 Приложение 4

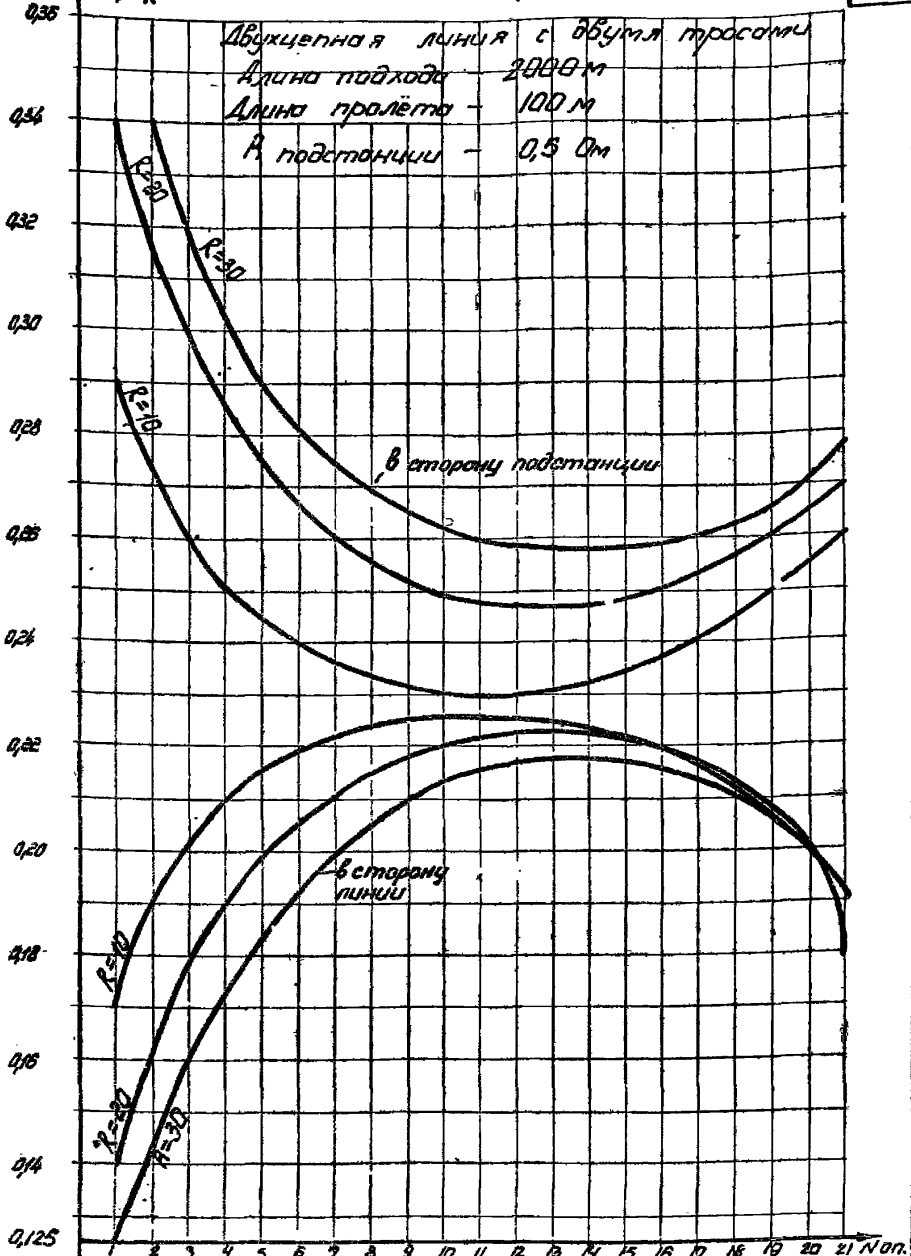
Двухцепная линия с одним тросом
Длина подвеса - 2000 м
Длина пролёта - 300 м
R. подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости
изоляционных тросов в воздушных линиях электропередачи
Тока распределение в стальных изоляционных тросах
ТК-50 и ТК-70.

I/I_k - 5290 тм - 71-20

Приложение 4



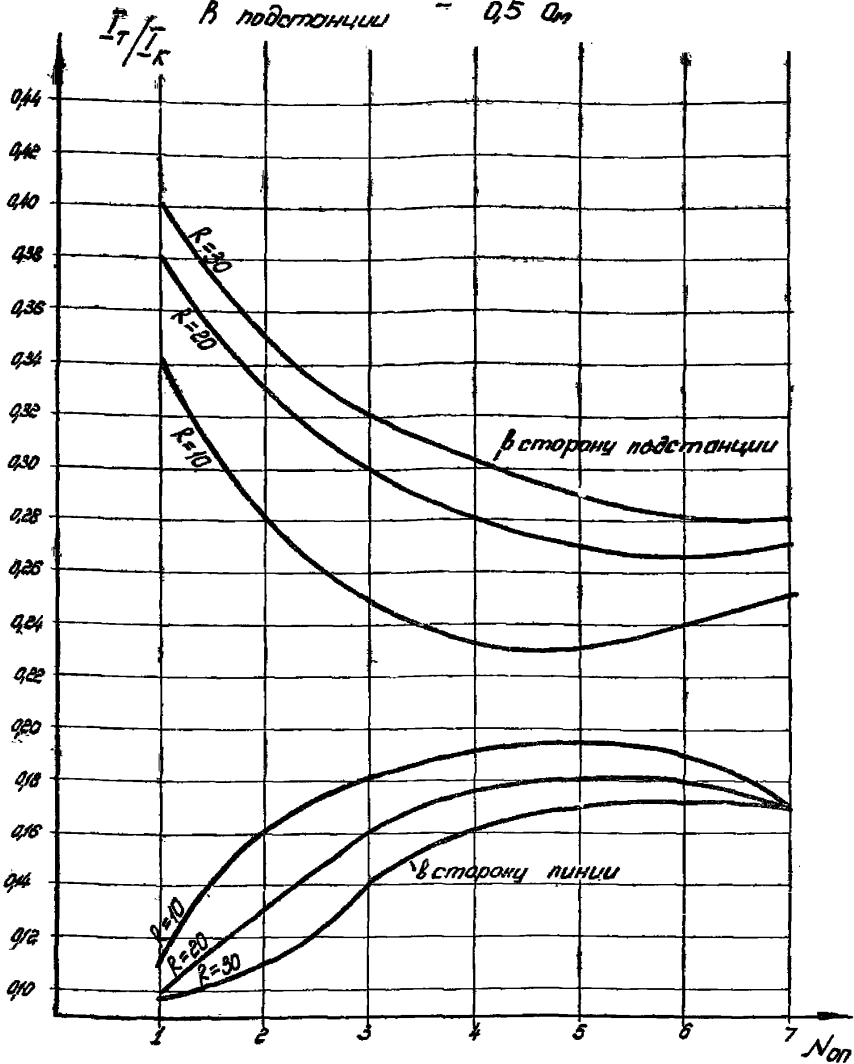
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 покорот распределению в стальных грозозащитных тросах
 ТК-50 и ТК-70.

Двухцепная линия с двумя тросами

Длина подхода - 2000 м

Длина пролёта - 300 м

В подстанции - 0,5 Ом

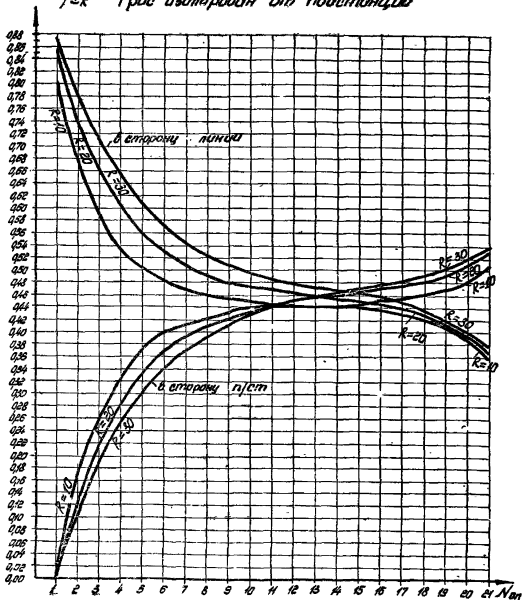


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Распределение в стальных грозащитных тросах
ТК-50 и ТК-70.

Двухцепная линия с одним трассом

Длина подхода - 2000м

Длина пролета - 100м

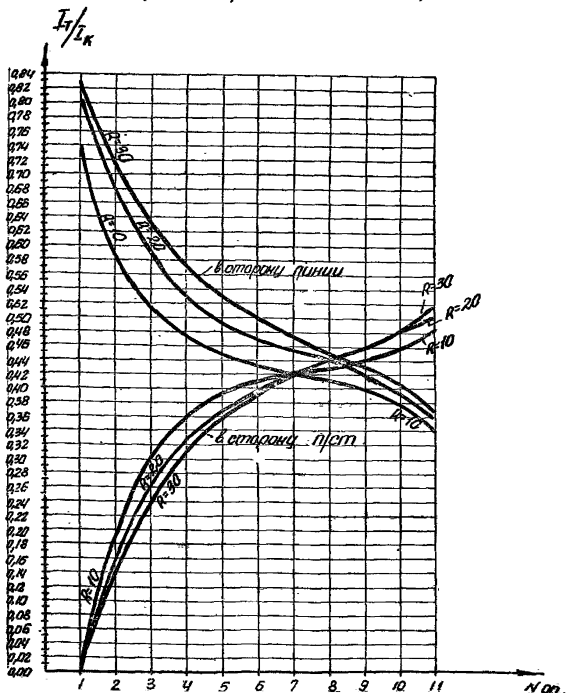
 I_T/I_K Трос изолирован от подстанции

Математические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токараспределения в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

Двухцепная линия в одном тросе
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 300 м

Трос изолирован от подстанции

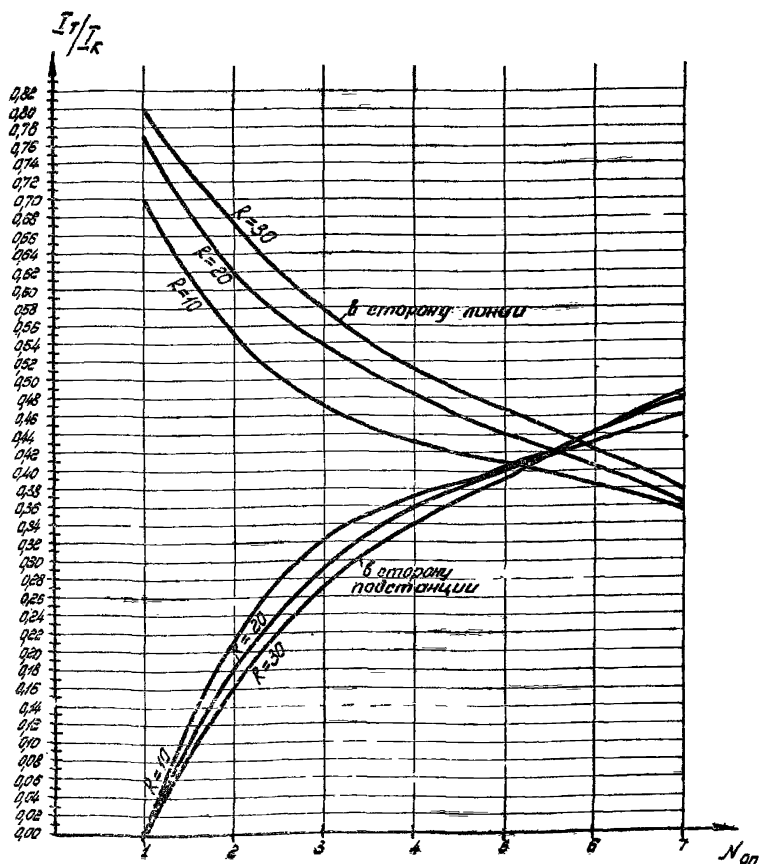


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Распределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

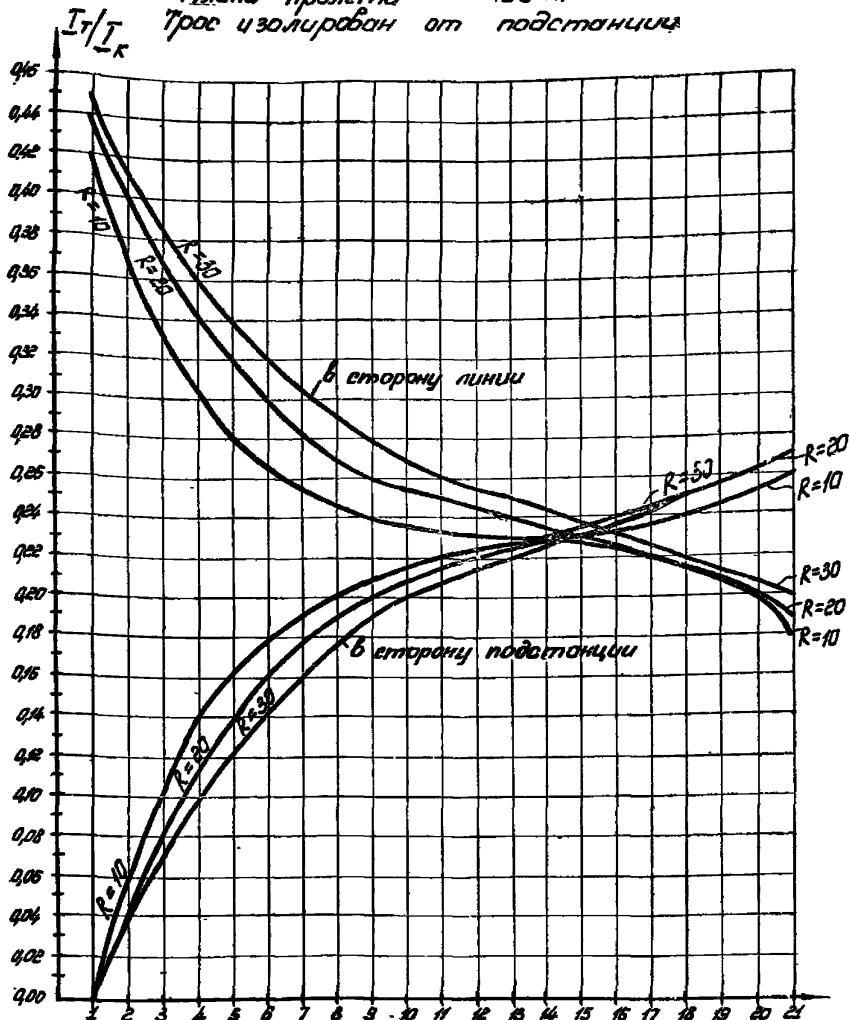
Двухцепная линия с одним тросом
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролёта - 300 м

Трос изолирован от подстанции



Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи.
 Распределение в стальных грозозащитных тросах
 ТК-50 и ТК-70.

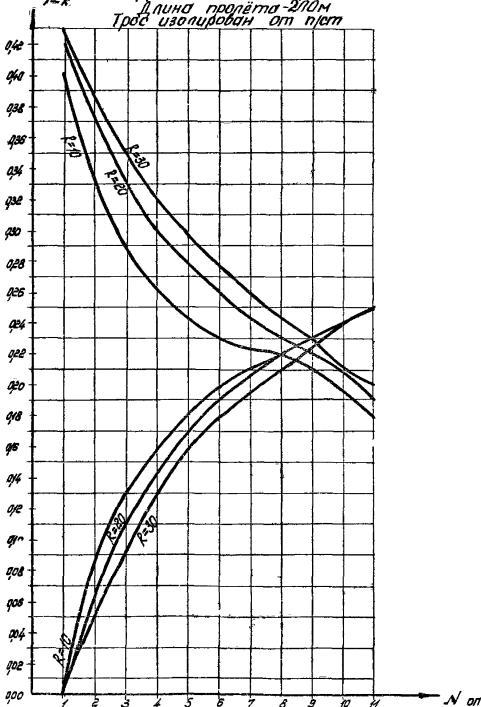
Двухцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода — 2000 м
 Длина пролёта — 100 м
 Трос изолирован от подстанции



Метаболические указания по расчету термической устойчивости гроззащитных тросов воздушных линий электропередачи. Распределение в стальных гроззащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

I_1/I_k

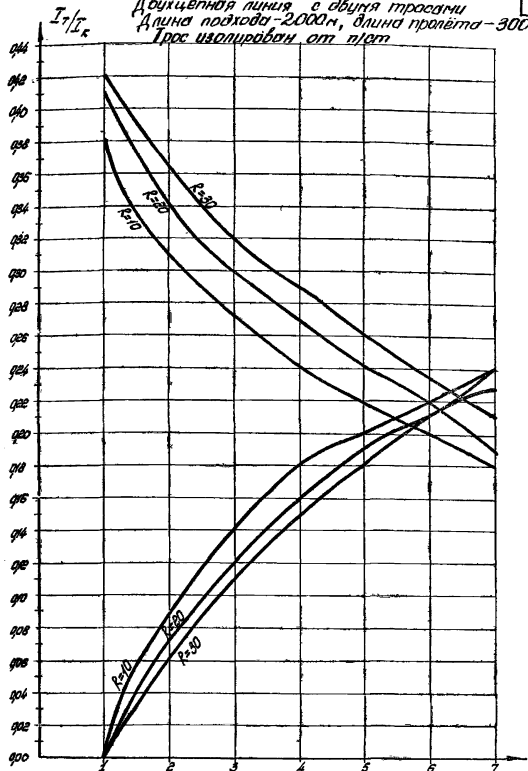
Двухцепная линия с двумя тросами
 Длина подхода - 2000м
 Длина пролёта - 210м
 Трос изолирован от пьест



Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токараспределение в отальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

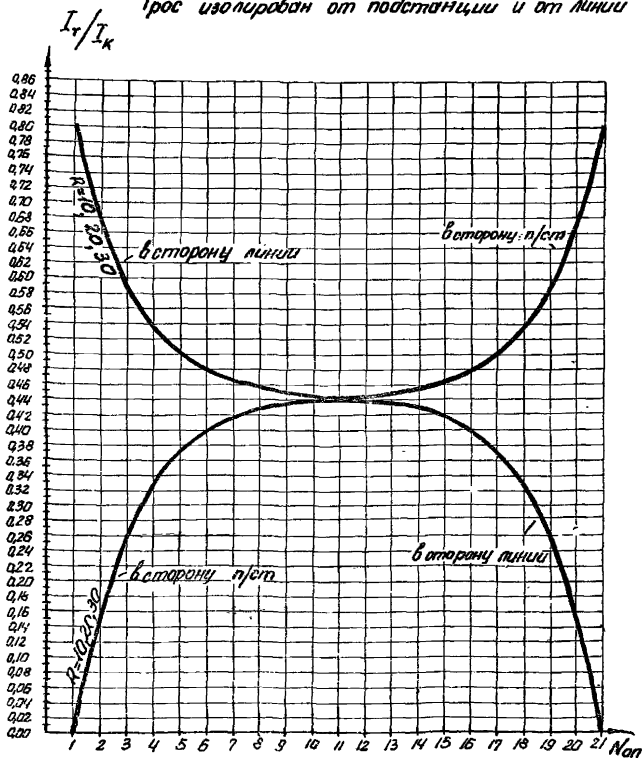
Двухцепная линия в двух тросах
 Длина подхода - 2000 м, длина пролёта - 300 м
 Трос изолирован от п/ст



Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токараспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50иТК-90

Двухцепная и одноцепная линии с одним тросом
 Длина подхода - 2000 м
 Длина пролета - 100 м

Трос изолирован от подстанции и от линии

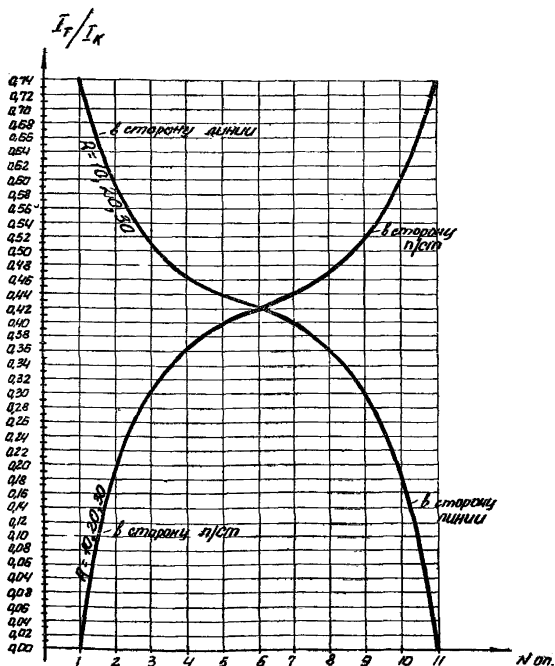


Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Температурное распределение вставных грозозащитных тросов ТК-50, ТК-70

Двухцепная и одноцепная линии с одним тросом
 Длина подвеса - 2000 м
 Длина пролёта - 200 м

Трос изолирован от п/ст и от линии



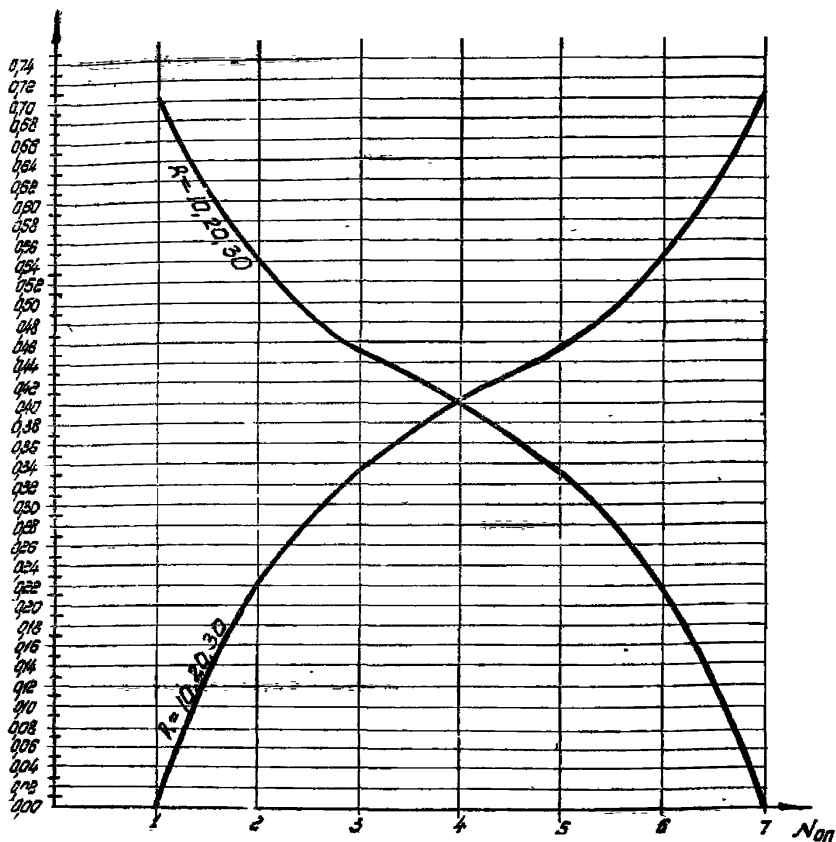
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

Двухцепная и одноцепная линии с одним тросом

Длина подхода - 2000 м

Длина пролёта - 300 м

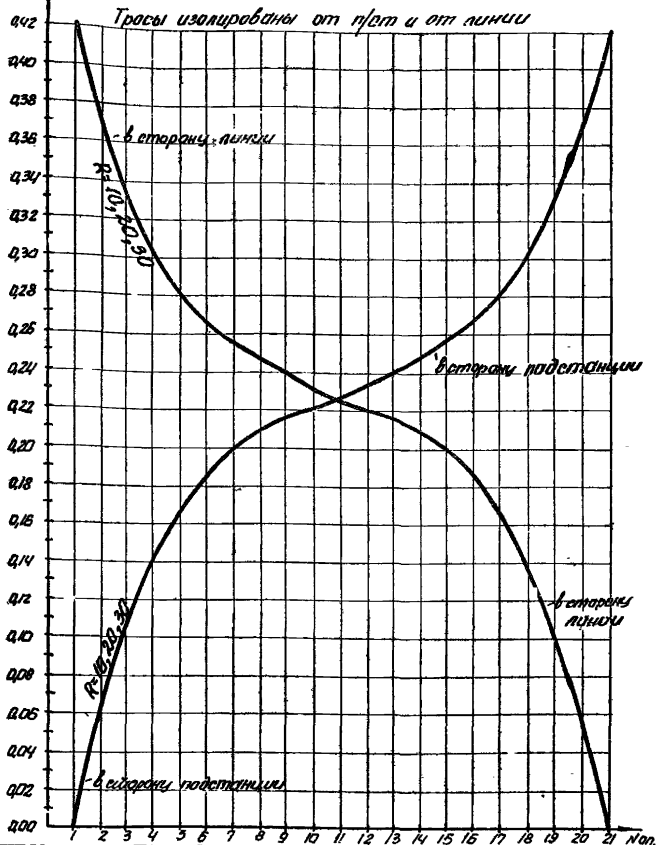
Трос изолирован от подстанции и от
линии.

$$\frac{I_T}{I_K}$$


Методические указания по расчёту термической устойчивости
грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Распределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50, ТК-70.

I_T/I_K

Двухцепная и одноцепная линии в два пролета
 Длина подхода - 2000 м Длина пролёта - 100 м



Методические указания по расчёту термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

5290 ТМ - Т1-33

Приложение 4

56

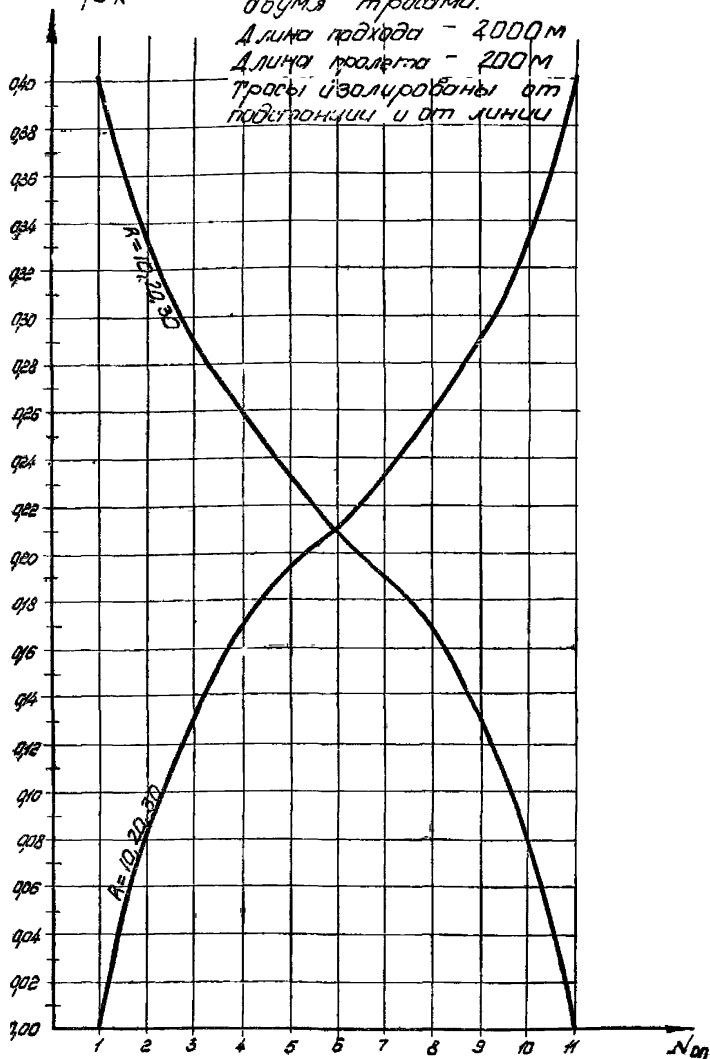
 τ/τ_k

Двухцепная и одноцепная линии с двумя тросами.

Длина прохода - 2000 м

Длина пролета - 200 м

Тросы изолированы от подстанции и от линии



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов в воздушных линиях электропередачи
 Таблораспределение в стальных грозозащитных тросах ТГК-50 и ТГК-70.

5290 тт-т1-34

Приложение н4

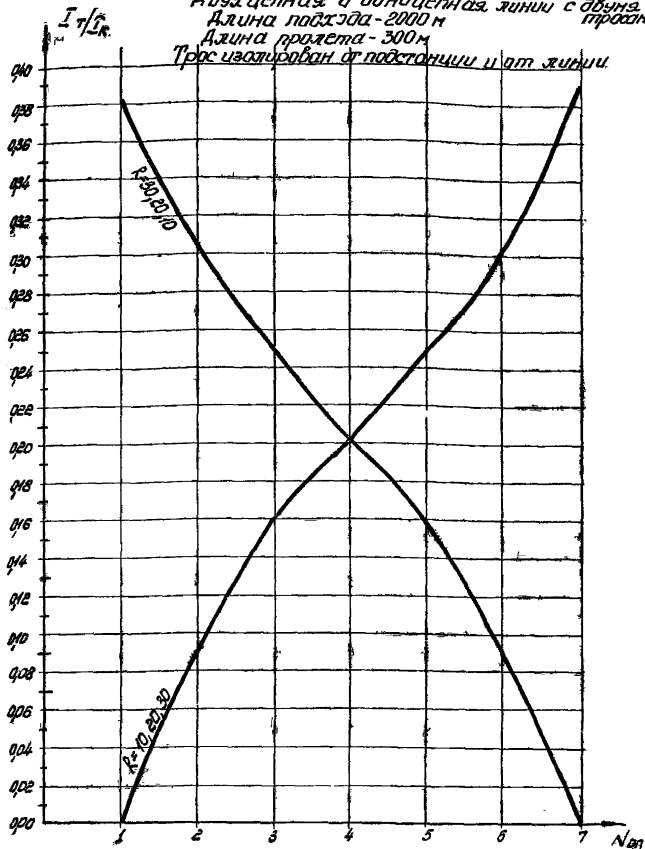
57

Двухцепная и одноцепная линии с двумя тросами

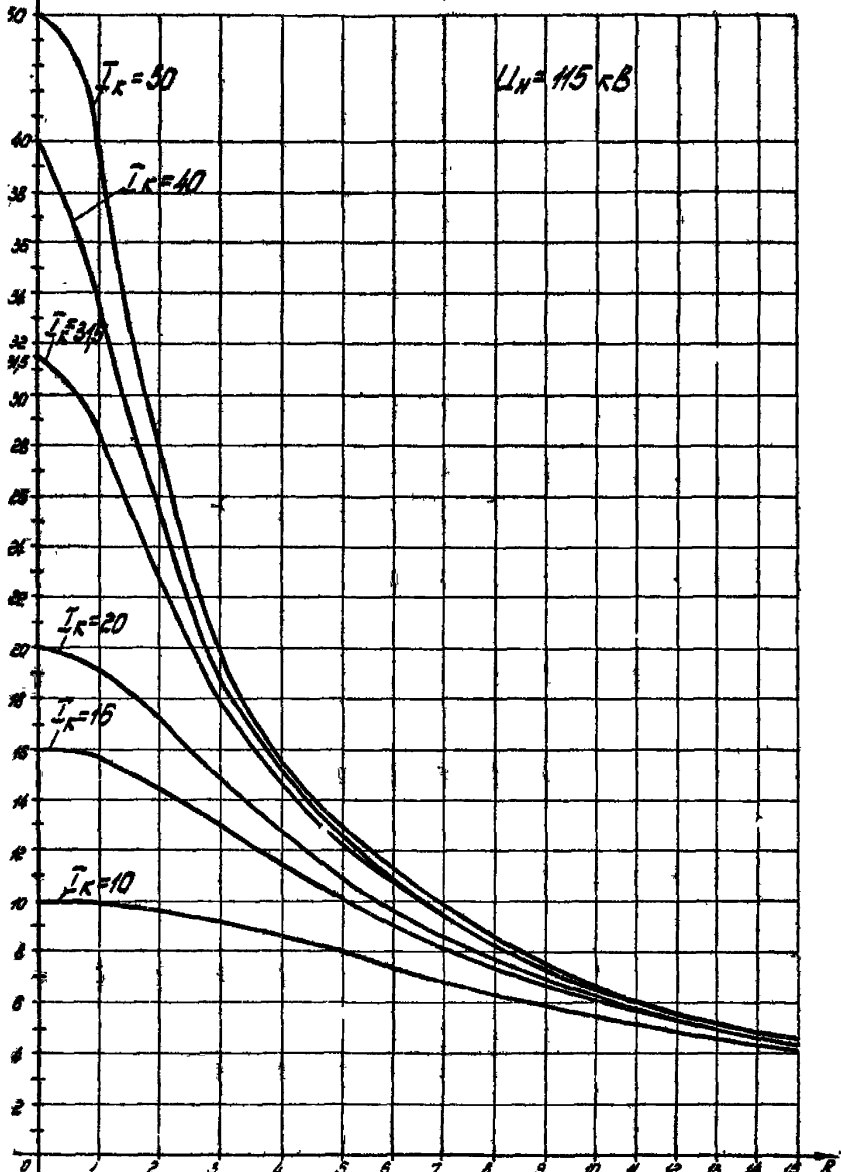
Длина подхода - 200 м

Длина пролета - 300 м

Трос изолирован от подстанции и от линии.



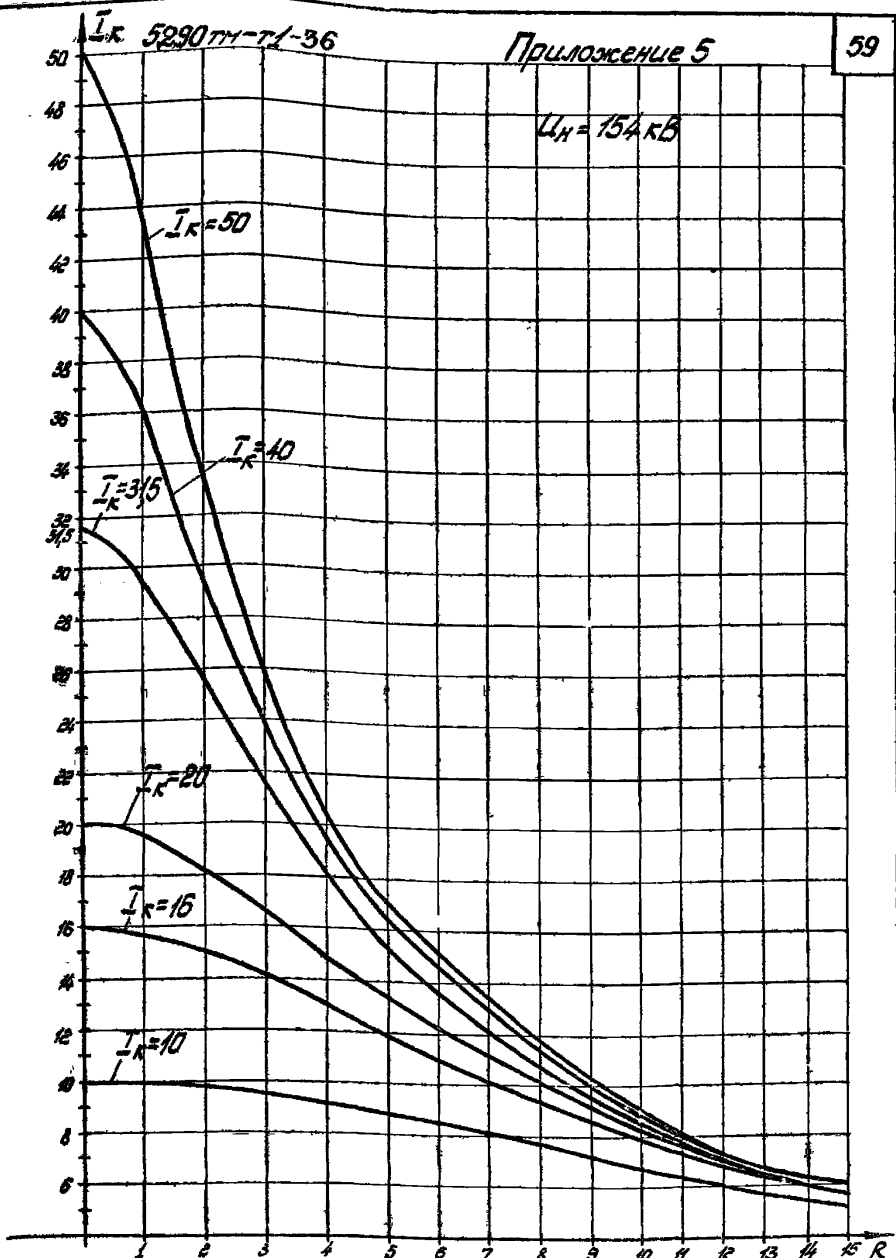
Методические указания по расчету термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Токараспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.



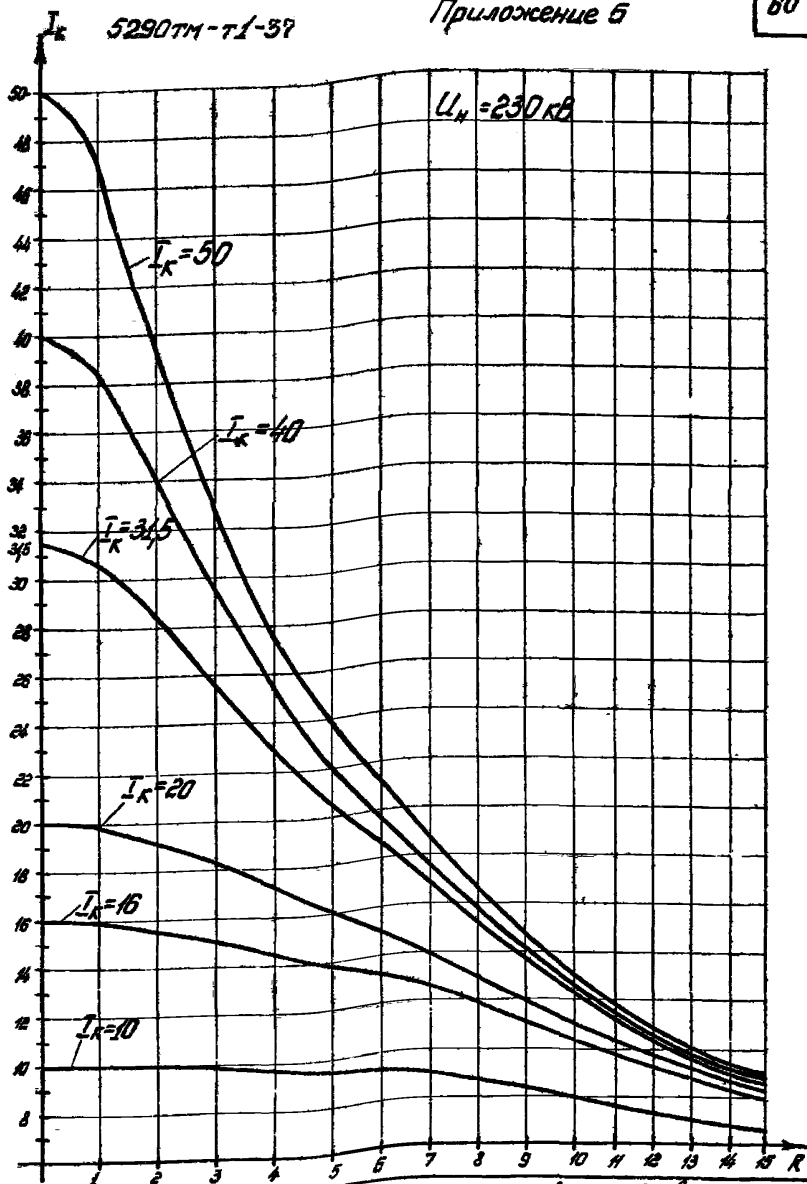
Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных прорывов воздушных линий электропередачи.

Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления.

U_н = 154 кВ

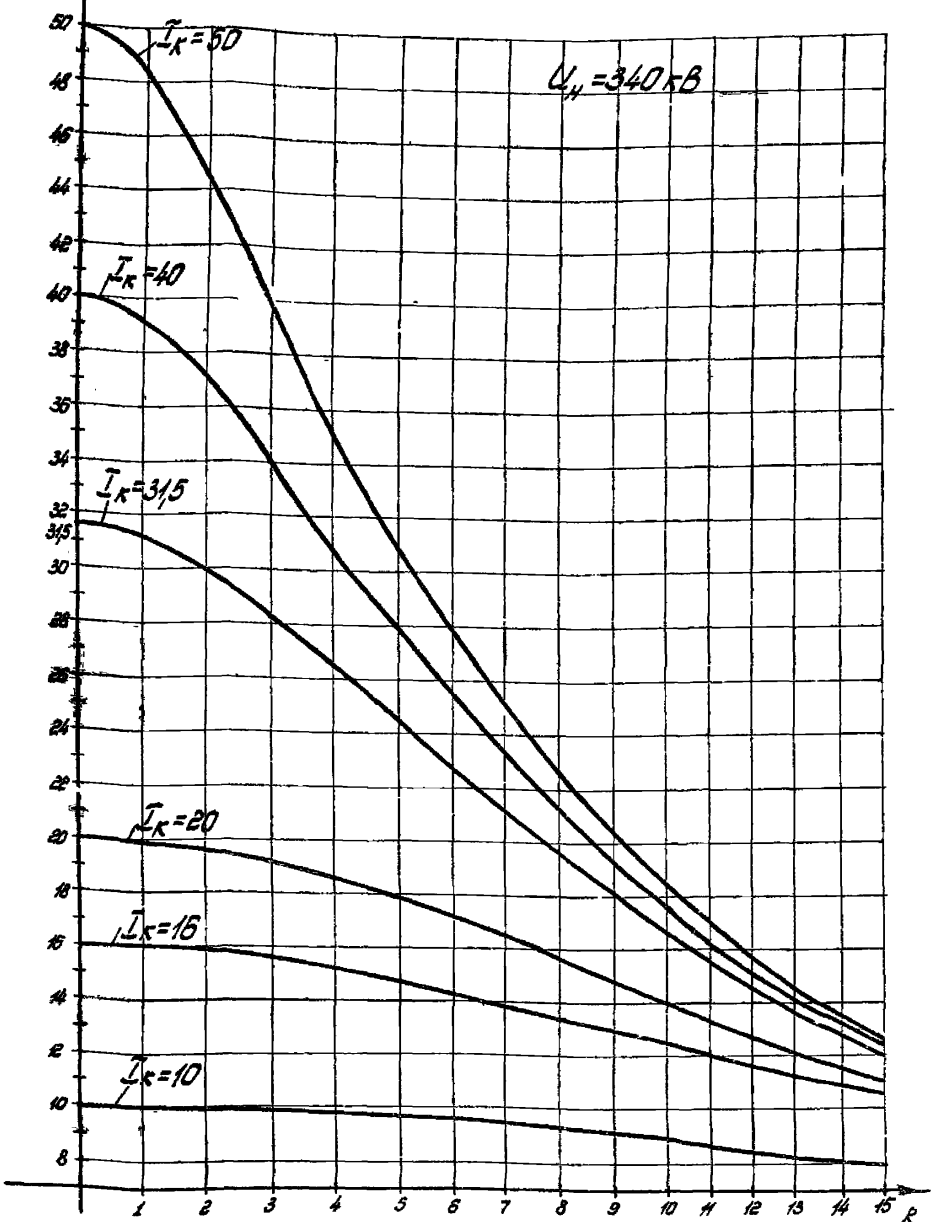


Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления.



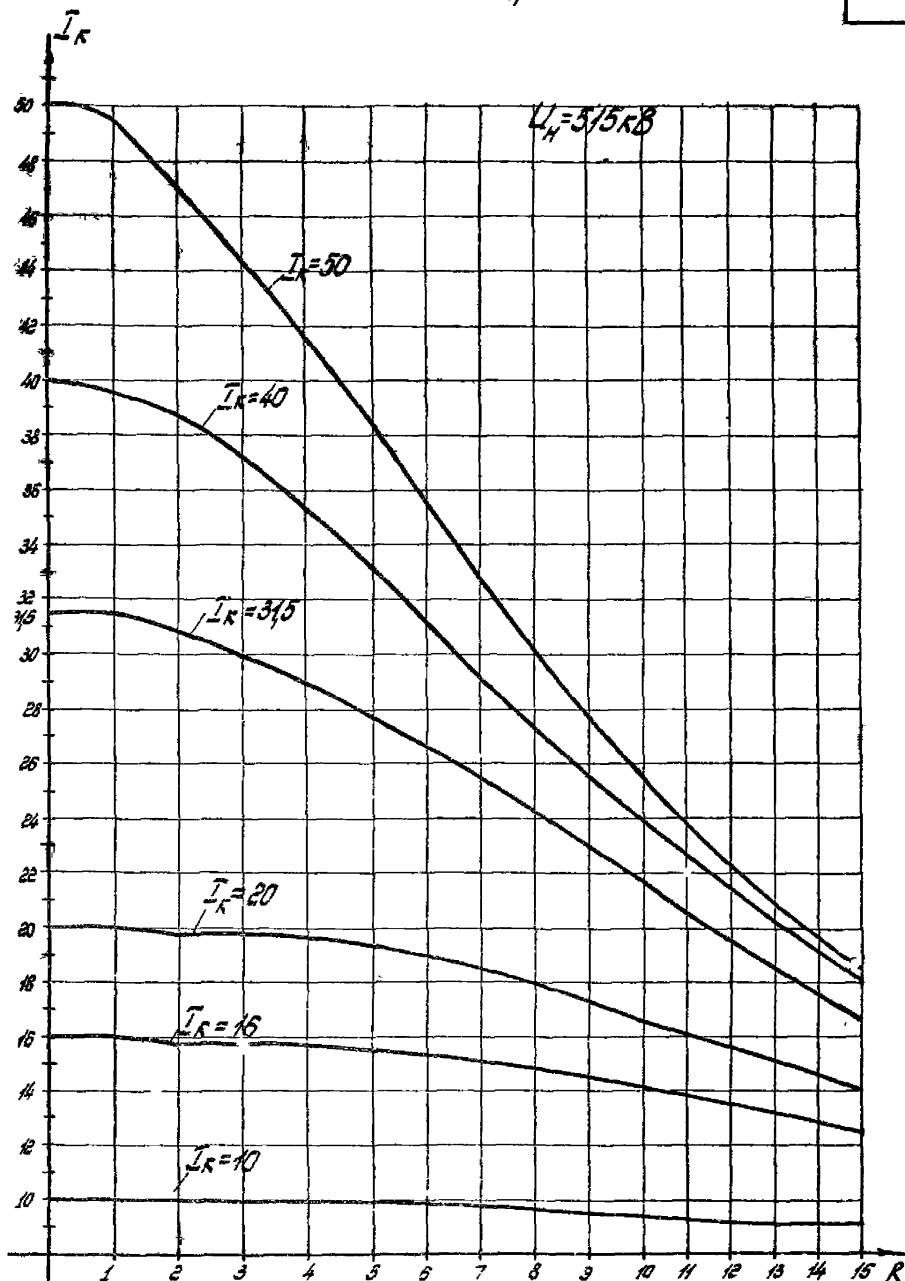
Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи.

Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления.



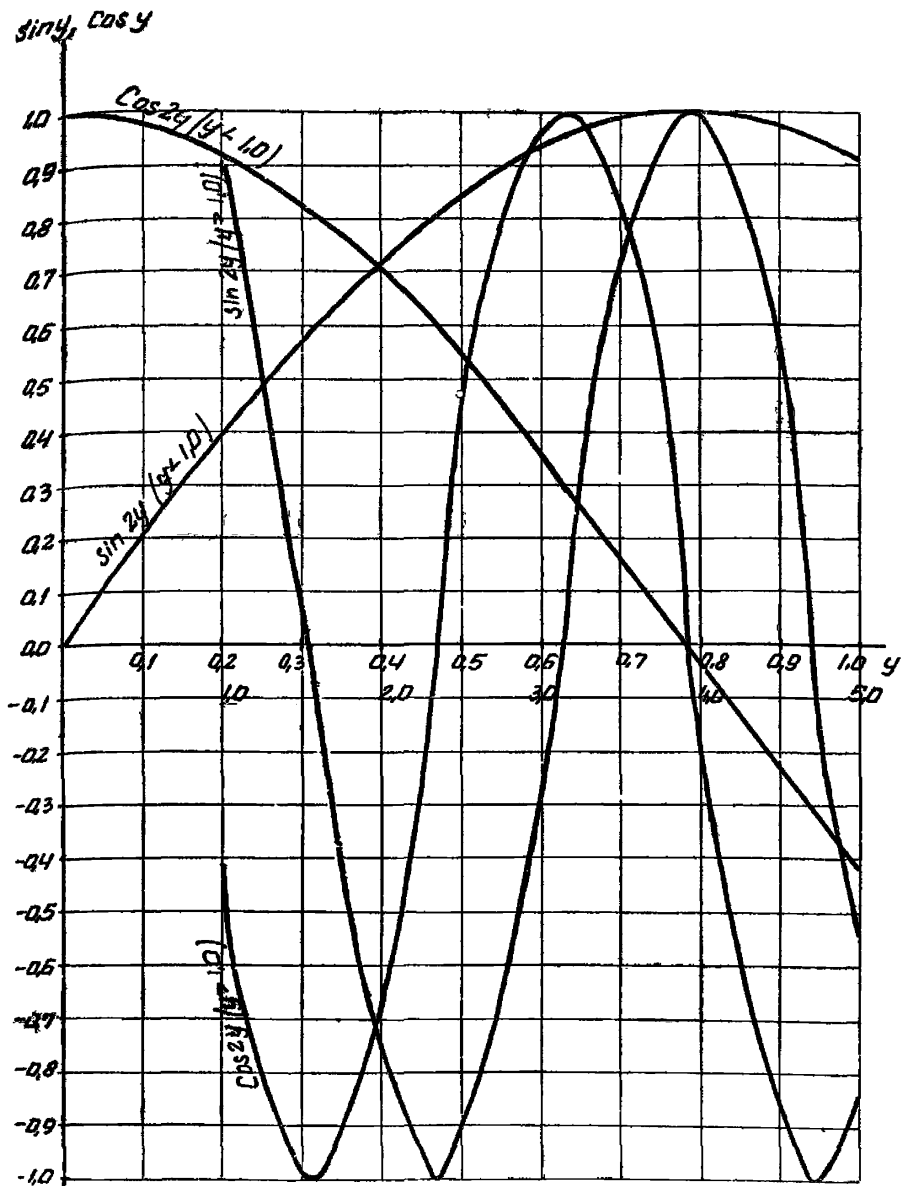
Методические указания по расчету термической устойчивости гро-защитных тросов воздушных линий электропередачи

Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления.

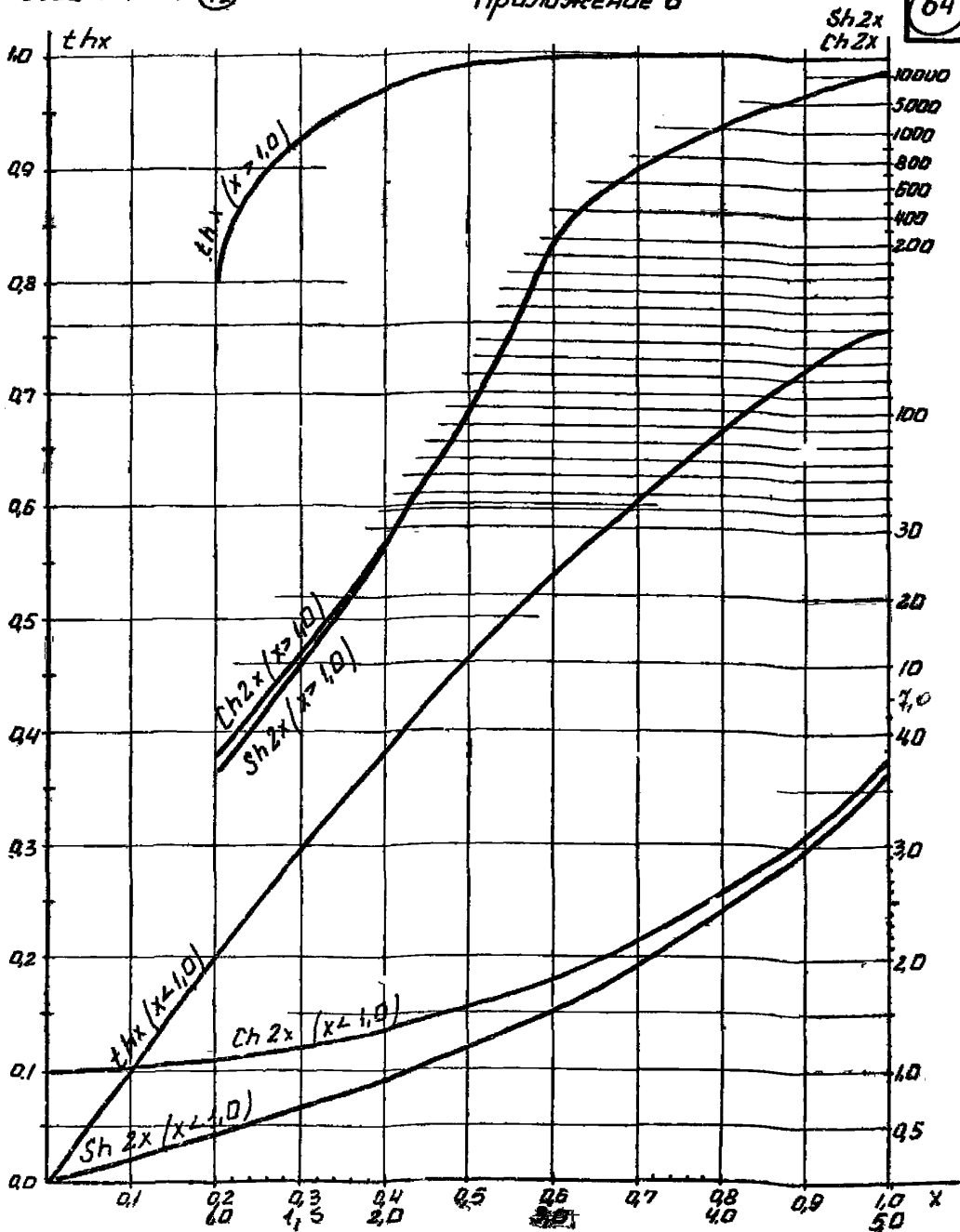


Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередач

Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления



Методические указания по расчету термической устойчивости
 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
 Кривые изменения некоторых тригонометрических и гипербо-
 лических функций.



Для действительных чисел thx определяется непосредственно по кривым

$$\text{Для комплексных чисел } th(x+jy) = \frac{sh2x}{ch2x + \cos 2y} \pm j \frac{\sin 2y}{ch2x + \cos 2y}$$

Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Кривые изменения некоторых тригонометрических и гиперболических функций