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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Главный инженер института С.Рокотян

Начальник технического отдела А.Зеличенко

№ 529Отм- ТI
стр. 64

Москва - 1976

gost.e-ecolog.ru

Украинское отделение института
" Энергосетьпроект "
Киевский отдел комплексного проектирования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Главный инженер ОКП В.ЛЕЖНЕВ.

Главный специалист Ю. Ш У Р.

№ 5290тм-т I

Киев - 1976

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

I. 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 II

5. Проверка стальных тросов на термическую устойчивость I2

6. Расчет токораспределения для сталеалюминиевых тросов I4

7. Проверка сталеалюминиевых тросов на термическую устойчивость I6

8. Литература I7

9. Примеры расчета термической устойчивости I8

Приложения:

I. Приложение I. 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

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. За последние I0-I5 лет увеличение мощности энергосистем и развитие электрических сетей привело к существенному возраста - нию уровней токов короткого замыкания, и, особенно, токов однополюсных коротких замыканий в сетях II0 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.

I.2. Целью настоящей работы является обобщение и конкретизация существующих методов расчета распределения тока к.з. в тро - сах и проверки тросов на термическую устойчивость и приведение их в форме, удобной для практических расчетов.

I.3. Методические указания не содержат рекомендаций о способах обеспечения необходимой термической устойчивости тросов, если принятое в проекте или существующее на ВЛ фактическое сече - ние ГТ оказывается недостаточным. Такие способы должны выбирать - ся, 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] .

I.3. На основании п.П-5-43 ПУЭ I966 г., а также [Л.2,3,4] при разработке настоящих указаний приняты следующие исходные положения:

I.3.I. Проверка ГТ на термическую устойчивость производится для ВЛ в сети с большим током замыкания на землю, т.е. на напряжении II0 кЬ и выше.

I.3.2. Проверка производится для случая к.з. на концевых опорах ВЛ [п.П-5-43 л.I], 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.

I.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.

I.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.

I.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.

I.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./.

I.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.

I.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.I. 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. /$I_к = 3I_0$/ и времени отключения /t/ из таблиц приложения 3 проверяется сечение ГТ. Если сечение ГТ оказывается достаточным /$I_к$ меньше допустимого при данном t/ дальнейших расчетов проводить не требуется.

2.4. В противном случае /$I_к$ 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.I. Как указано в I.3.3. расчетный ток однополюсного к.з. для последующего определения токораспределения в IT и проверки их на термическую устойчивоотъ определяется независимо от схемы заземления IT 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 IT 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. I

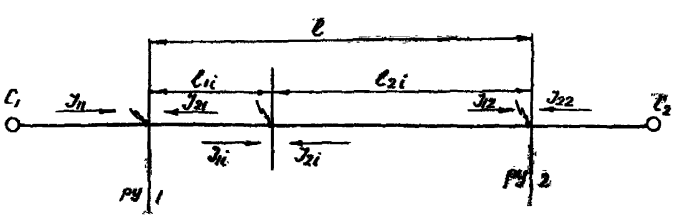


Рис.I.

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:

$$\underline{I}_{1i} = \frac{\underline{I}_{11}\underline{I}_{12}}{\underline{I}_{11}\frac{\ell_{1i}}{\ell} + \underline{I}_{12}\frac{\ell_{2i}}{\ell}} \quad кА \quad /3\text{-}1/$$

, где $\underline{I}_{1i}$ кА – ток однополюсного к.з. $/3\underline{I}_0/$ в точке i линии длиной ℓ км, притекающий от системы /, и удаленной на ℓ_{1i} км от РУ1 и на ℓ_{2i} км от РУ2.

$\underline{I}_{11}, \underline{I}_{12}$ – то же, при к.з. на шинах РУ1 и РУ2 – эти величины должны быть известны.

Аналогично вычисляется $\underline{I}_{2i} = \frac{\underline{I}_{22}\underline{I}_{21}}{\underline{I}_{22}\frac{\ell_{2i}}{\ell} + \underline{I}_{21}\frac{\ell_{1i}}{\ell}}$ /3-2/

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

$$\underline{I}_{ki} = \underline{I}_{1i} + \underline{I}_{2i} \qquad /3\text{-}3/.$$

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

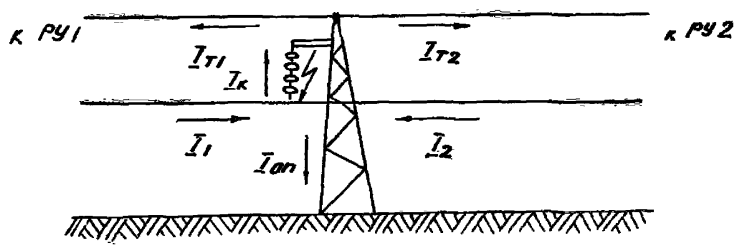


Рис.2.

3.4. Ток в ГТ представляет собой результат наложения вынужденной составляющей, определяемой величиной индуктивной связи между ГТ и проводами ВЛ и током в проводах, 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]:

$$\dot{Z}_{бх} = \frac{\dot{Z}_m \dot{Z}_c + \dot{Z}_c^2 th m\dot{\gamma}}{\dot{Z}_c + \dot{Z}_m th m\dot{\gamma}} \qquad / 3\text{-}4 /, \text{ где}$$

$$\dot{Z}_c = \sqrt{\dot{Z}R} \quad /3\text{-}5/, \qquad \dot{\gamma} = \sqrt{\frac{\dot{Z}}{R}} \quad / 3\text{-}6/$$

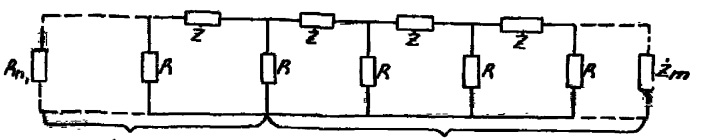


Рис. 3.

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 /например, сопротивление заземления РУ- R_n, или сопротивление $\dot{Z}_c$ участка с другими значения $\dot{Z}$ и R /.

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

$$m = \frac{3R}{|Z_c|} \qquad / 3\text{-}7/$$

3.6. Распределение свободного тока в ГТ от места повреждения

определяется по

$$\underline{I}_{T1} = \underline{I}_K \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{бх_1}} \qquad / 3\text{-}8 / \text{ и}$$

$$\underline{I}_{T2} = \underline{I}_K \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{бх_2}} \qquad / 3\text{-}9 /, \text{ где:}$$

$$\frac{1}{\dot{z}_0} = \frac{1}{\dot{z}_{бх_1}} + \frac{1}{\dot{z}_{бх_2}} + \frac{1}{R} \qquad / 3\text{-}10 /$$

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

3.7. Значения $\dot{z}$ определяются по заданной длине пролета, сечению и материалу ТТ /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 одностоечных 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 / $R_п$ / принимается обычно равным 0,5 Ом или задается по фактическому значению.

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

$$\dot{z}_{бх} = \frac{\dot{z}_c}{th m\dot{\gamma}} \qquad /3\text{-}11/ \text{ в ту сторону ВЛ,}$$

которая примыкает к участку с $\dot{z}_m = \infty$

4. РАСЧЕТ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ ТРОСОВ

4.1. Как было указано в разделах 1 ÷ 3 в случае подвески на ВЛ стальных ТТ 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. $\dot{z} = r$, где r - активное сопротивление пролета ГТ и соответственно

$$z_c = \sqrt{rR} \qquad /4\text{-}I/ \text{ и } \quad \gamma = \sqrt{\frac{r}{R}} \qquad /4\text{-}2/.$$

4.2. Значения для различных сечений ГТ определяются по формуле:

$$r = \rho_{см} \frac{\ell'}{S} \text{ Ом}, \qquad /4\text{-}3/$$

где $\rho_{см} = 0{,}I4 \frac{\text{Ом. мм2}}{\text{м}}$ - удельное активное сопротивление стальных проводников;

ℓ' - 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 $Z = \frac{r}{2}$ /4-4/ и $I_T = \frac{Z_0}{2Z_{вх}}$ / 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 $I_к \geqslant$ I0 кА и $Z_0 \geqslant$ 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 $I_{кф}$ определяется по кривым /приложение 5/ по расчетному значению $I_к$ и вычисленному Z_0 и используется в дальнейших расчётах. Кривые построены по соотношению:

$$I_{кф} = \frac{I_к U_н}{\sqrt{3 I_к^2 R^2 + U_н^2}} \qquad / 4\text{-}6 /$$

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

$U_н$ - номинальное напряжение, кВ

R - активная составляющая Z_0, Ом.

5. ПРОВЕРКА СТАЛЬНЫХ ТРОСОВ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ

5.I. При протекании по ТТ тока к.з. происходит нагрев троса. Так как действие тока к.з. кратковременно /до Iс/, 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 ТТ и определенный для проверяемого пролета по формулам 3-8, 3-9 или 4-5 /при двух тросах/.

5.3. Как указано в 2.I и 2.2 продолжительность действия т.к.з. определяется как полное время отключения равное

$$t = t_{р.з.} + t_в \qquad /5\text{-}I/,$$

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,I5с, а для токовых защит t =0,2 ÷ 0,25 с.

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

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

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

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

5.6. Аналогично определяется расчетное время, если АПВ происходит вначале с одного конца линии:

$$t = t_1 + \left(\frac{I_2}{I_к}\right)^2 t_2 \qquad /5\text{-}3/,$$

где t_1 - расчетное время отключения полного тока к.з., определенное по /5-I/ или /5-2/; t_2 - время отключения после неуспешного АПВ; $I_к$ - полный ток к.з., I_2 - ток к.з. с того конца линии, где происходит АПВ.

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

$$I_{к\,доп.} = \frac{S \cdot 10^{-3}}{\sqrt{\frac{t}{A_\nu - A_0}}}\ ^\circ\ кА \qquad /5\text{-}4/$$

S - сечение ГТ, мм2, A_0 - величина, являющаяся функцией температуры ГТ до к.з., A_ν - то же, после к.з. /Л.6/. Величины A_0 и A_ν определяются по кривой для стали /приложение I/ для начальной температуры ν_0=25°С и конечной допустимой для стальных проводников температуры $\nu_к$=400°С [Л.I].

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

5.8. Полученное значение $I_{к\,доп.}$ сравнивается с большим значением расчетного тока к.з. в ГТ /п.5.2/. Если $I_т < I_{к\,доп.}$, ГТ термически устойчив к т.к.з. В противном случае, после изменения исходных условий, проверка должна быть повторена.

6. РАСЧЕТ ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛЯ СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ ТРОСОВ

6.I. При расчете токораспределения для сталеалюминиевых тросов необходимо учитывать как индуктивные сопротивления ГТ, так и распределение вынужденного тока, вызываемого наличием взаимоиндукции между проводами ВЛ и ГТ.

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

$$\underline{I}_{T1} = (1-\dot{p})\,\underline{I}_1 + \dot{p}\,\underline{I}_K \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_{Bx1}} \qquad /6\text{-}1/;$$

$$\underline{I}_{T2} = (1-\dot{p})\,\underline{I}_2 + \dot{p}\,\underline{I}_K \frac{\dot{Z}_0}{\dot{Z}_{Bx2}} \qquad /6\text{-}2/, \text{ где}$$

$$\dot{p} = 1 - \frac{z_з + j\,x_{пг}}{z_з + z_т + j\,x_т} \qquad /6\text{-}3/$$ - безразмерный коэффициент, определяющий влияние взаимоиндукции между проводами ВЛ и ГТ.

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

$z_т$ - активное сопротивление ГТ, Ом/км;

$$x_{пг} = 0{,}145 \lg \frac{Д_з}{a_{пг}}$$ - сопротивление взаимоиндукции между проводами ВЛ и ГТ Ом/км; /6-4/, где

$$Д_з = 935\sqrt{\rho} \qquad /6\text{-}5/,$$ глубина возврата тока, где ρ удельное сопротивление земли, Ом.м.

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

$$a_{пт} = \sqrt[3]{a_{пвт} \cdot a_{пвт} \cdot a_{пст}} \qquad /6\text{-}6/,$$

где $a_{пвт}$, $a_{пвт}$, $a_{пст}$ - расстояние между каждым из проводов одной цепи ВЛ и ГТ, м.

$$x_т = 0{,}145\left[\lg \frac{2Д_з}{d_т} + 0{,}016\right] \qquad /6\text{-}7/$$ индуктивное сопротивление ГТ, Ом/км;

$Д_з$ - по /6-5/; $d_т$ - диаметр ГТ, м,

$\dot{Z}_{Bx}$, $\dot{Z}_{Bx_2}$ и $\dot{Z}_0$ вычисляются по /3,6/ с учетом комплексного значения $\dot{z} = (z_з + z_т + j\,x_т)\,\ell'$ /6-8/, где

$z_з$, $z_т$, $x_т$ - по /6-3; 6-7/, ℓ' - длина пролета, км.

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

ждой 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/:

$$d_{тр} = \sqrt{2 d_т \cdot a_{тт}} \quad , /6\text{-}9/: \text{где } d_т \text{ - диаметр ГТ, м;}$$

$a_{тт}$ - расстояние между ГТ, м.

Коэффициент "Р" и сопротивление " $\dot{z}$ " в этом случае равны:

$$\dot{p} = 1 - \frac{z_з + j x_{пт}}{z_з + 0{,}5 z_т + j x_т} \qquad / 6\text{-}10/,$$

$$\dot{z} = (z_з + 0{,}5 z_т + j x_т)\, \ell' \qquad / 6\text{-}11/, \text{ а}$$

$$\dot{I}_{т1} = \frac{(1-\dot{p})\dot{I}_1 + \dot{p}\dot{I}_к \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{бх1}}}{2} \qquad / 6\text{-}12/$$

$$\dot{I}_{т2} = \frac{(1-\dot{p})\dot{I}_2 + \dot{p}\dot{I}_к \frac{\dot{z}_0}{\dot{z}_{бх2}}}{2} \qquad / 6\text{-}13/.$$

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 ℓ' равной длине участка. Если же такой ГТ заземлен и на каждой анкерной опоре, то за длину пролета ℓ' 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:

$$\dot{I}_{кдоп} = \frac{S_0 (\rho_A + C\rho_{ст}) \cdot 10^{-3}}{c \rho_{ст} \sqrt{\frac{t}{A_D - A_0}}} \quad кА \qquad /7\text{-}1/$$

где $\rho_A = 0{,}0263 \frac{Ом.мм2}{м2}$ - удельное сопротивление алюминия

$\rho_{ст} = 0{,}I4 \frac{Ом.мм2}{м2}$ - то же, стали;

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

Значения A_ϑ и A_0 определяются по кривой для алюминия -/приложение I/. При этом конечная температура $\vartheta_к = 200^oC$ [Л.I].

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

ЛИТЕРАТУРА

I. Правила устройства электроустановок, I966 г.

2. Генов Л. и др. Определение сечений грозозащитных тросов линий электропередач с учетом их термической устойчивости. "Электричество", I972 г., № 4 стр. I7-20.

3. Funk Gezmot. „Bezechnung der Nullströmverzeteilung bei Erdkurzschuß einer Freileitung" „Electzotechnz." I97I, A9, № 2, 74-80, 23,24 /перевод в Экспресс-информации "Электрические станции, сети и системы" № I8, I97I г., стр. I7-34/.

4. Сиромахов Б. О термической устойчивости грозозащитных тросов линии электропередачи при однофазных коротких замыканиях. "Электрические станции" № 6, I975 г., стр. 56-59.

5. С.А.Ульянов. Электромагнитные переходные процессы. М.I970 г.

6. Электрическая часть станций и подстанций, под ред. А.А. Глазунова, М.Л.I95I г.

7. Руководящие указания по защите подстанций 3-500 кВ от прямых ударов молнии и грозовых волн, набегающих с линий электропередачи. М-I973 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, I97I г.

9. Вероятности коротких замыканий с токами расчетных значений. Инв.№ 7489 тм-т3. ЭСП, I975 г.

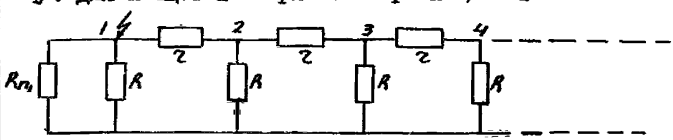
ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ

I.I. Исходные данные: ВЛ II0 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 $I_к$ =30 кА, I_1 =25 кА, I_2 =5 кА, длина подхода 2000 м, т.к.з. в конце подхода $I_к$ =22 кА, I_1 =I6 кА, I_2=6 кА, сопротивление заземления опор R =I0 ом, сопротивление заземления контура п/ст I-0,50м, полное время отключения t =0,I5С, однократное АПВ, первое включение со стороны п/ст - 2.

I.2. Предварительная проверка /в соответствии с разделом 2/: полное время отключения с учетом АПВ - t =2х0,I5= 0,3С

по приложению 3 для троса ТК-70 и t =0,3С $I_{к\ доп}$ =9,7 кА меньше $I_к$ =30 кА, трос термически неустойчив, требуется выполнить расчет.

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



по / 4-3/ z =0,I4 $\frac{200}{72,6}$ = 0,39 Ом; по /4-I/

$z_c = \sqrt{I0 \cdot 0,39}$ = I,97 Ом.

по /4-2/ $\gamma = \sqrt{\frac{0,39}{I0}}$ = 0,I97 ;

$R_{п_1}$ =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/.

$Z_{бк_2} = z_c$ = I,970м / т.к. далее линия однородная и число пролетов по /3-8/ более

$$m = \frac{30}{I,97} = I5 \qquad /3\text{-}II/$$

$$\frac{I}{Z_0} = \frac{I}{0,5} + \frac{I}{I0} + \frac{I}{I,97} = 2,607; \qquad Z_0 = 0;392 \text{ Ом}$$

по /3-9/ и /3-I0/

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

$$I_{T2} = 30\,\frac{0,392}{I,97} = 6,0 \text{ кА}$$ – ток в IT в сторону п/ст 2/

/ или по приложению 5 для ТК-70, $\ell' = 200$ м, $R = I0$ Ом, относительное токораспределение $I'_{T1} = 0,78$, $I'_{T2} = 0,20$ и соответственно

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

I.4. С учетом АПВ со стороны п/ст – 2 по /5-3/

$$t = 0,I5 + \left(\frac{5}{30}\right)^2, \quad 0,I5 = 0,I54\ c$$

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

I.6. Допустимый ток при $t = 0,I54$ по /5-4/

$$I_{кдоп} = \frac{72,6 \cdot I0^{-3}}{\sqrt{\frac{0,I54}{0,5 \cdot I0^4 - 0,07 \cdot I0^4}}} = \cancel{I2,0} \text{ кА } 13,46 \text{ кА}$$

0,005390418

где $A_0 = \cancel{0,5}\ 0,6 \cdot I0^4$ – для 400°С

и $A_0 = 0,07 \cdot I0^4$ – для 25°С по приложению I.

$I_{кдоп} > I_{T1}$, т.е. трос в сторону п/ст I

термически устойчив.

Ток $I_{T2} = 6$ кА $< I_{кдоп} = I2$ кА, трос в сторону п/ст 2 также устойчив.

I.7. При к.з. на опоре № 2 по /3-6/

$$Z_{вх_1} = \frac{Z_c Z_m + Z_c^2\, th\, m\gamma}{Z_c + Z_m\, th\, m\gamma} = \frac{I,97 \cdot 0,5 + 3,9^2\, th\, I,0,I97}{I,97 + 0,5 \cdot th\, I,0,I97} = 0,845 \text{ Ом}$$

где $Z_c = \sqrt{R_z} = 1{,}97$ Ом $\quad Z_m = R_{n_1} = 0{,}5$ Ом

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

$\gamma = 0{,}197 \quad th m\gamma = 0{,}19$ / по приложению 6/

$Z_{0x_2} = Z_c = 1{,}97$ Ом /см.выше п.3.1.3./.

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

$$I_{T_1} = 30\,\frac{0{,}56}{0{,}845} = 19{,}8 \text{ кА}; \quad I_{T_2} = 30\,\frac{0{,}56}{1{,}97} = 8{,}4 \text{ кА}$$

/или по приложению 5 $I'_{T_1} = 0{,}66$ и $I'_{T_2} = 0{,}28$ и $I_{T_1} = 30 \cdot 0{,}66 = 19{,}8$ кА; $I_{T_2} = 30 \cdot 0{,}28 = 8{,}4$ кА /т.к. $I_{T_1} > I_{K\,доп.} = 12{,}0$ кА, ТТ ТК-70 в пролете I-2 термически неустойчив.

2.I. Те же исходные данные, но на подходе длиной 2000м в качестве ТТ подвешен провод АС-95/I6, на остальной линии - ТК-70.

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

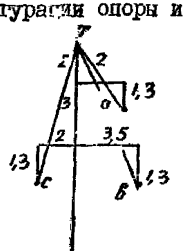
2.2. Предварительная проверка /см. пример I/

$t = 0{,}3$с, для этого времени и провода АС-96/I6 $I_{K\,доп.} = 20{,}1$ кА / по приложению 3/, ТТ термически неустойчив, проводится расчет.

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

$$\mathcal{A}_3 = 93{,}5\sqrt{100} = 935.$$

Конфигурация опоры и расстояния:



$d_{пот} = 3{,}85$ м

$d_{пвт} = 7{,}22$ м

$d_{пст} = 6{,}6$ м

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

по /6-7/

$$x_T = 0{,}145\left[\lg\frac{2.935}{0{,}0135} + 0{,}016\right] = 0{,}769 \text{ Ом/км}$$

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

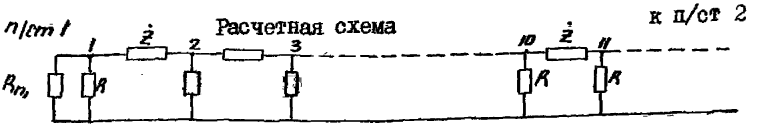
по /6-8/ $\dot{z} = 0{,}05 + 0{,}299 + j\,0{,}759 / 0{,}2 = 0{,}I67\, e^{j\,65^{\circ}20}$

по /6-3/ $\dot{p} = I - \frac{0{,}05 + j0{,}32}{0{,}05+0{,}299+j\,0{,}759} = I - 0{,}396\, e^{j\,I5^{\circ}45} = 0{,}636\, e^{-j\,9^{\circ}30'}$

по /3-7/ $\dot{z}_c = \sqrt{\dot{z}R} = \sqrt{0{,}I67 e^{j\,65^{\circ}20'} \cdot I0} = I{,}275 e^{j\,32^{\circ}40'}$

по /3-8/ $\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{\dot{z}}{R}} = 0{,}I27\, e^{j\,32^{\circ}40'}$

Число пролетов на подходе $m = \frac{2000}{200} = I0$



При к.з. на опоре № 2

по / 3-6/ $\dot{z}_{бх_1} = \frac{\dot{z}_c \dot{z}_{m_1} + \dot{z}_c^2 th\, m_1 \dot{\gamma}}{\dot{z}_c + \dot{z}_{m_1} th\, m_1 \dot{\gamma}}$

где $m_1 = I$ и $\dot{z}_{m_1} = R_m = 0{,}5$ Ом

и $\dot{z}_{бх_2} = \frac{\dot{z}_c \dot{z}_{m_2} + \dot{z}_c^2 th\, m_2 \dot{\gamma}}{\dot{z}_c + \dot{z}_{m_2} th\, m_2 \dot{\gamma}}$, где

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

$\dot{z}_{m_2} = \dot{z}_c$ длинной однородной линии с тросом ТК-70/.

Вычисление необходимо, т.к. $m = \frac{3R}{|\dot{z}_c|} = \frac{3 \cdot I0}{/I{,}275/} \approx 25 > I0$

$\dot{z}_{бх_1} = \frac{I{,}275 e^{j\,32^{\circ}40'} \cdot 0{,}5 + I{,}63 e^{j\,65^{\circ}20'} \; th\, I \cdot 0{,}I27\, e^{j\,32^{\circ}40'}}{I{,}275 e^{j\,32^{\circ}40'} + 0{,}5\; th\;\; I \cdot 0{,}I27 e^{j\,32^{\circ}40'}}$ $32^{\circ}40'$/прил.6/

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

$\dot{z}_{бх_2} = \frac{I{,}275 e^{j\,32^{\circ}40'} \cdot I{,}97 + I{,}63 e^{j\,65^{\circ}20'} \; th\, 9 \cdot 0{,}I27 e^{j\,32^{\circ}40'}}{I{,}275 e^{j\,32^{\circ}40'} + I{,}97 \cdot th\; 9 \cdot 0{,}I27 e^{j\,32^{\circ}40'}} =$

$= \frac{3{,}38 e^{j\,53^{\circ}20'}}{2{,}93 e^{j\,23^{\circ}50'}} = I{,}I52 e^{j\,29^{\circ}30'}$

по /3-II/ $\frac{I}{\dot{Z}_0} = \frac{I}{0,602 e^{j\,II^0}} + \frac{I}{I,I52 e^{j\,29^0 30'}} + \frac{I}{I0} = 2,66 e^{j\,I6^0 I5'}$

$\dot{Z}_0 = 0,376 e^{j\,I6^0 I5'}$

по / 6-I/ и /6-2/

$$\dot{I}_{T1} = (I - 0,636 e^{j\,9^0 30'}) \cdot 25 + 0,636 e^{j\,9^0 30'} \cdot \frac{0,376 e^{j\,I6^0 I5'}}{0,602 e^{j\,II^0}} \cdot 30 =$$

$= 2I,I5 e^{j\,I^0 35}$.

Полное время отключения с учетом АПВ t =0,I54 /см.пример I/.

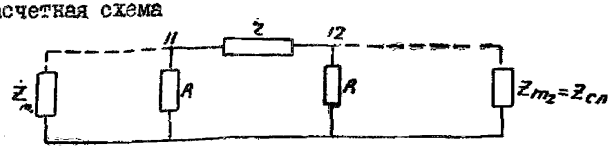
Для этого времени:

$$I_{к\,доп.} = \frac{95,4 / 0,0263 + \frac{95}{I6} \cdot 0,I4 / I0^{-3}}{\frac{95,4}{I6}\ 0,I4 \sqrt{\frac{0,I54}{/I,3I - 0,2/ I0^4}}} = 26,5\ кА$$

$\dot{I}_{T1}$ =2I,I5 кА , следовательно трос АС-95/I6 термически устойчив.

2.4. Проверка ТТ ТК-70 за подходом

Расчетная схема



Большим будет ток $\dot{I}_{T1}$ в сторону п/ст I при к.з. на опоре № I2 - /второй опоре от конца подхода в сторону линии /

$$\dot{Z}_{вх_1} = \frac{Z_{сл} Z_{m_1} + Z^2_{сл} \operatorname{th} m_1 \gamma_л}{Z_{сл} + Z_{m_1} \operatorname{th} m_1 \gamma_л}$$

где $m_1 = I$

$Z_{сл} = I,97$ Ом $\qquad \gamma_л = 0,I97$ /см.пр.I/

$$\dot{Z}_{m_1} = \frac{I,275 e^{j\,32^0 40'} \cdot 0,5 + I,63 e^{j\,65^0 20'} \operatorname{th} I0 \cdot 0,I27 e^{j\,32^0 40'}}{I,275 e^{j\,32^0 40'} + 0,5 \operatorname{th} I0 \cdot 0,I27 e^{j\,32^0 40'}}$$

$$= \frac{2,0I e^{j\,67^0 40'}}{I,73 e^{j\,27^0 50'}} = I,I7 e^{j\,39^0 50'}$$

$$\dot{Z}_{бх_2} = \frac{I{,}97 \cdot I{,}I7 e^{j\,39^0 50'} + 3{,}9 th\ I \cdot 0{,}I97}{I{,}97 + I{,}I7\, e^{j\,39^0 50'} + th\ I \cdot 0{,}I97} = \frac{2{,}94 e^{j\,30^0 I0'}}{2{,}I48\, e^{j\,3^0 55'}} =$$

$$= I{,}37 \cdot e^{j\,26^0 I5'}$$

$$\dot{Z}_{бх_2} = \dot{Z}_{сп} = I{,}97$$

$$\frac{I}{\dot{Z}_0} = \frac{I}{I{,}37 e^{j\,26^0 I5'}} + \frac{I}{I{,}97} + \frac{I}{I0} = I{,}30\, e^{j\,I4^0 20'}$$

$$\dot{Z}_0 = 0{,}77\, e^{j\,I4^0 20'}$$

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

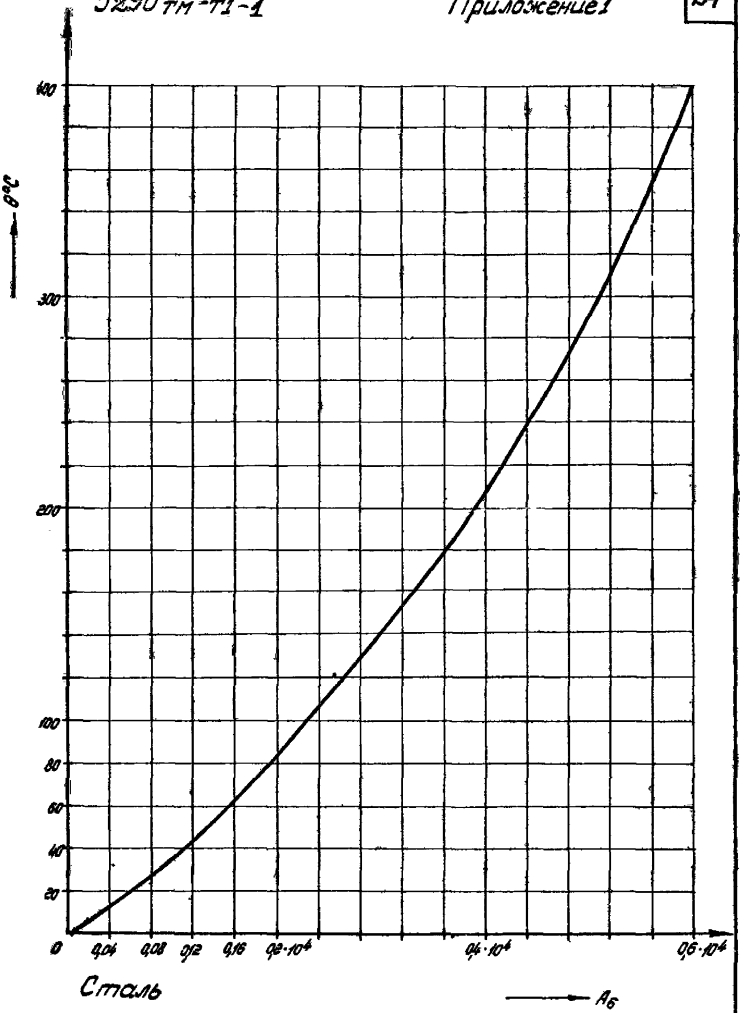
на удалении 2000 м от п/ст I.

Расчетное время с учетом АПВ в этой точке составляет

$$t = 0{,}I5 + \left(\frac{6}{2I}\right)^2 0{,}I5 = 0{,}I62 \text{ с}$$

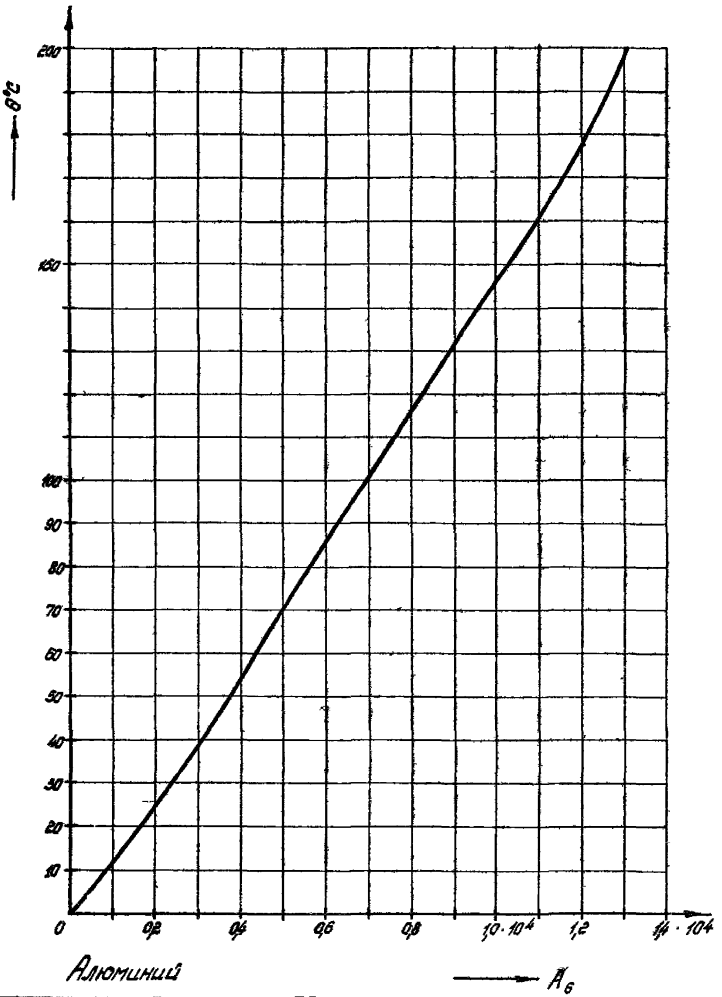
Для этого времени $I_{кдоп} = II{,}9$ кА $> I_{T1} = II{,}8$ кА

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



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных 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 мм²	Диаметр м	Сопротивление постоянному току при 20°С ом/км
ТК-50	48,64	0,0091	2,86
ТК-70	72,58	0,011	1,92

9,2 - ИЗ - В - ОЖ - Н - Р 2,33
11,0 - ИЗ - В - СЖ - Н - Р 1,64

2. Сталеалюминиевые провода по ГОСТ 839-74

Марка провода	Сечение мм²		Диаметр провода м	Сопротивление постоянному току при 20°С ом/км	Отношение сечений алюминий/сталь
	алюминия	стали			
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.

$t_a = t_{рз} 2 + 2 + t_{выкл}$

1. Для стальных канатов Iдоп/кА/.

марка \ время (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 0,24 сек

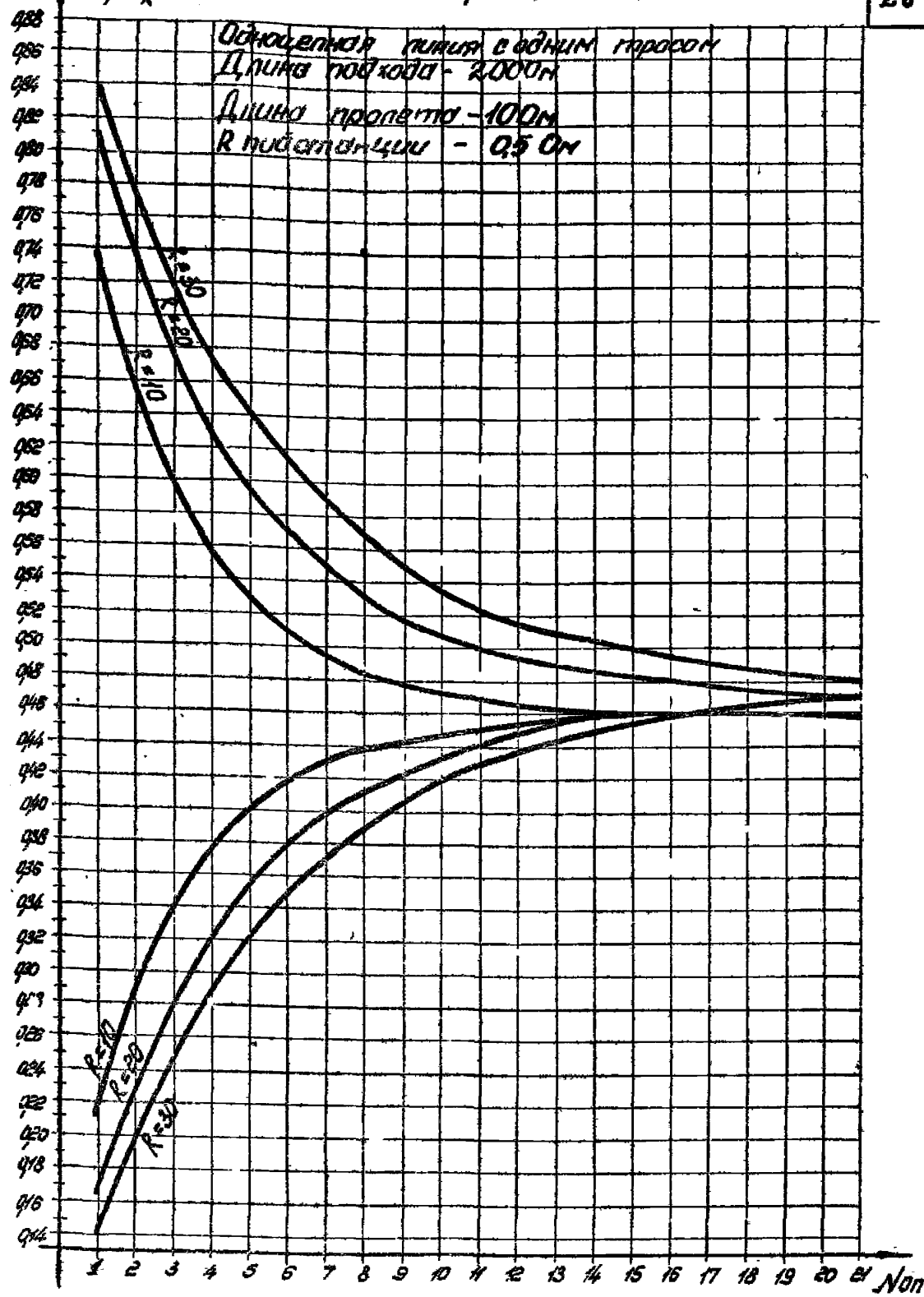
2. Для сталеалюминиевых проводов Iдоп кА, с учетом распределения тока между стальной и алюминиевой частями.

марка \ время (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 грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Допустимые по термической устойчивости значения токов короткого замыкания в зависимости от времени протекания.

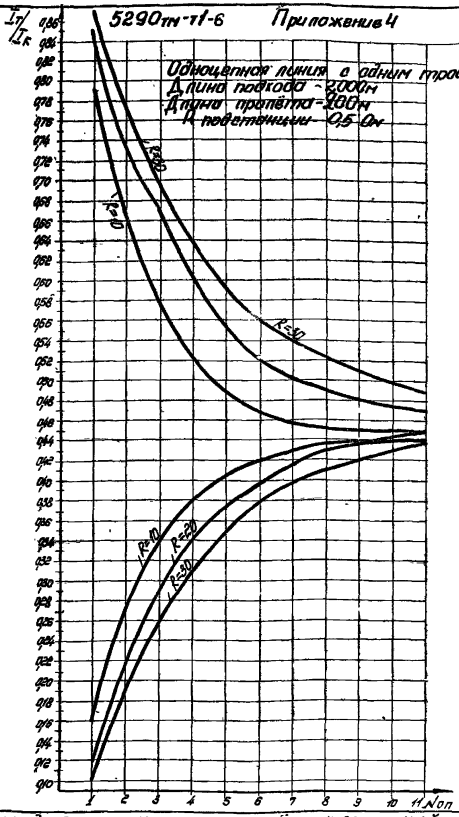
$I_т/I_к$ 5290тм-т1-5 Приложение 4



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

5290тм-т1-6 Приложение 4

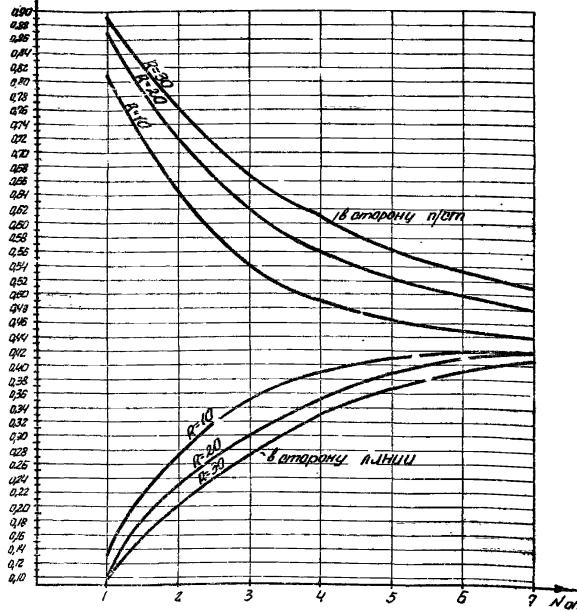


Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Тонораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50у ТК-70

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

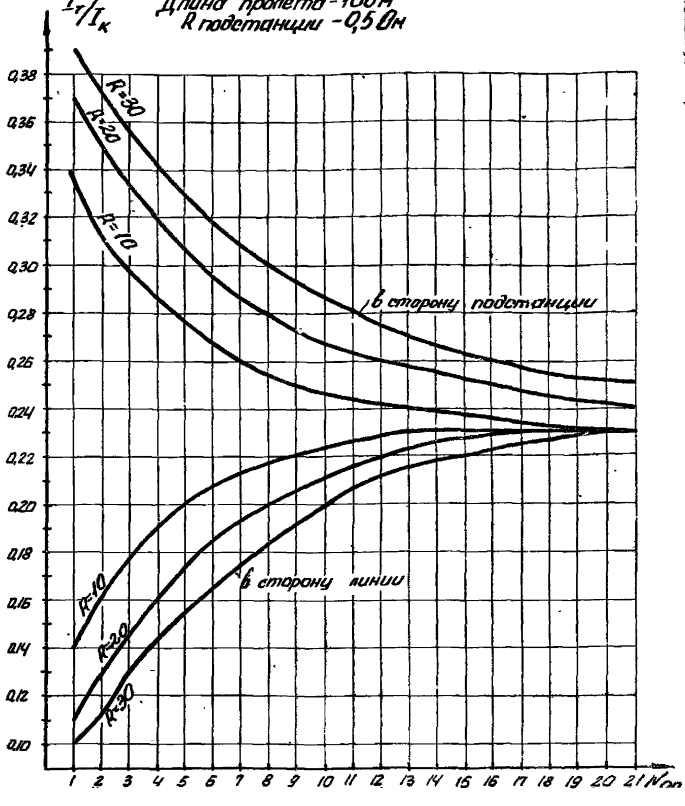
$I_т/I_к$ R подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов линий электропередачи

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

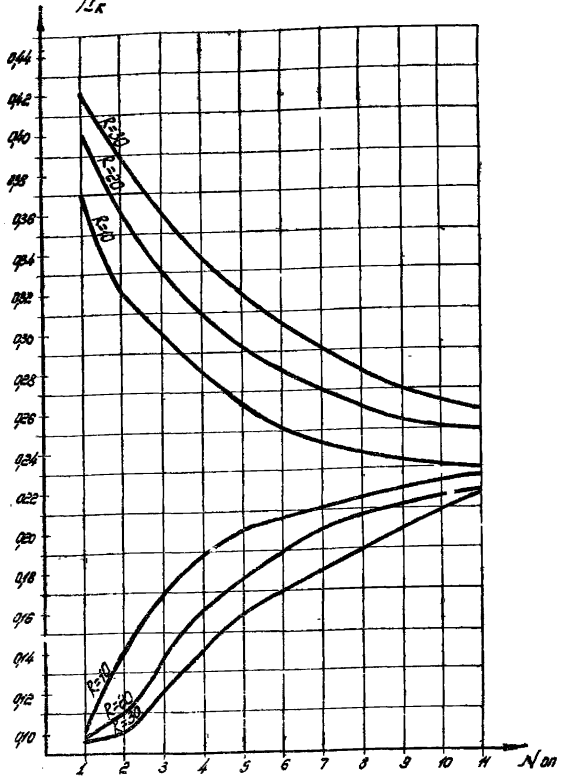
Одноцепная линия с двумя тросами
Длина подхода - 2000м
Длина пролёта - 100м
R подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

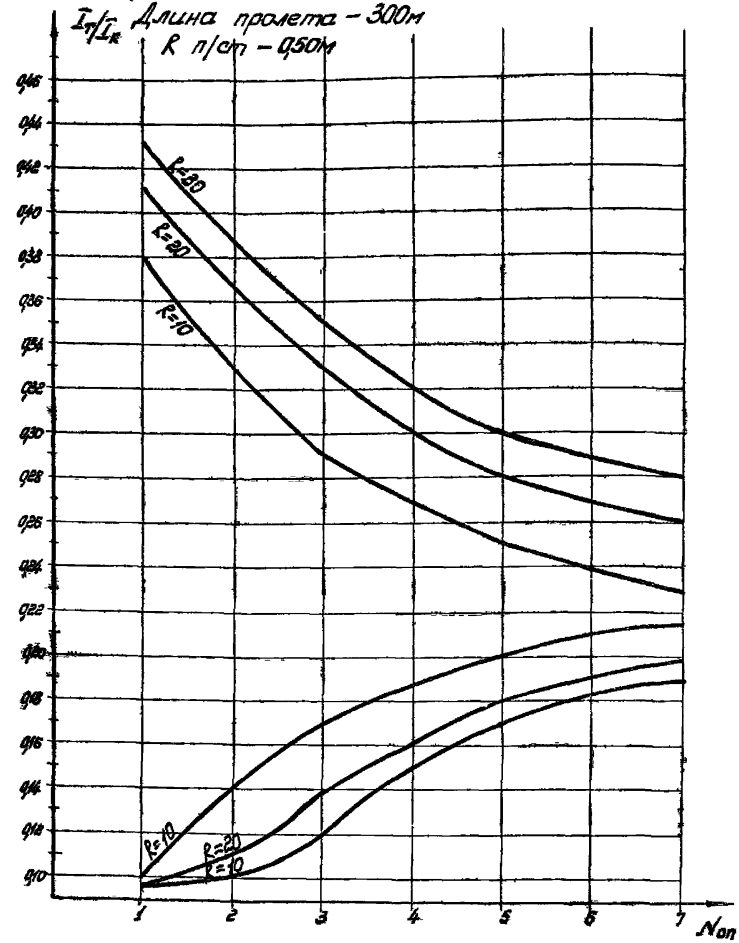
Одноцепная линия с двумя тросами.
Длина подхода – 2000м.
Длина пролета – 200м
R п/ст – 0,50м



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Токораспределение в стальных тросах ТК-50 и ТК-70

Одноцепная линия с двумя тросами
Длина подхода – 2000м.
Длина пролета – 300м
R п/сп – 0,50м



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

Приложение 4

Одноцепная линия с одним тросом

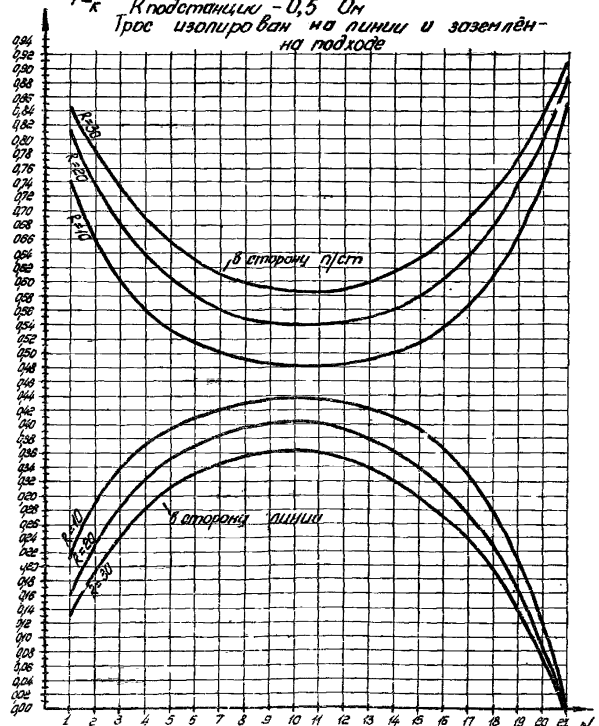
Длина подхода -2000 м

Длина пролёта -100 м

$I_т/I_к$

R подстанции - 0,5 Ом

Трос изолирован на линии и заземлён на подходе

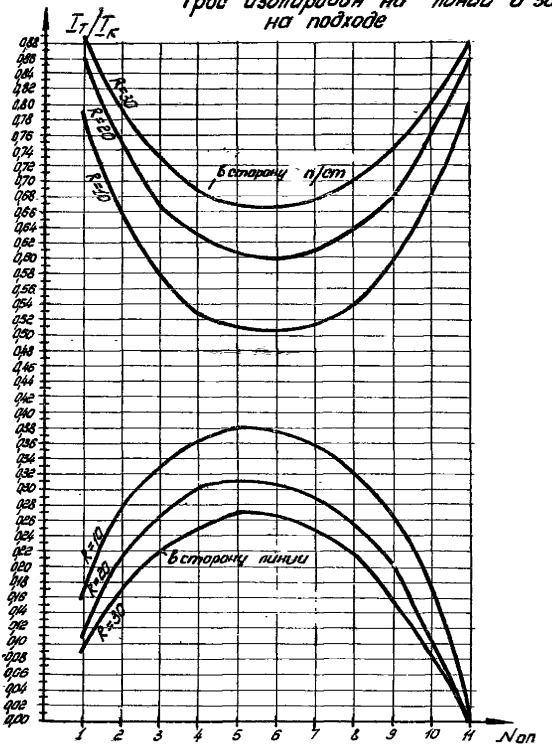


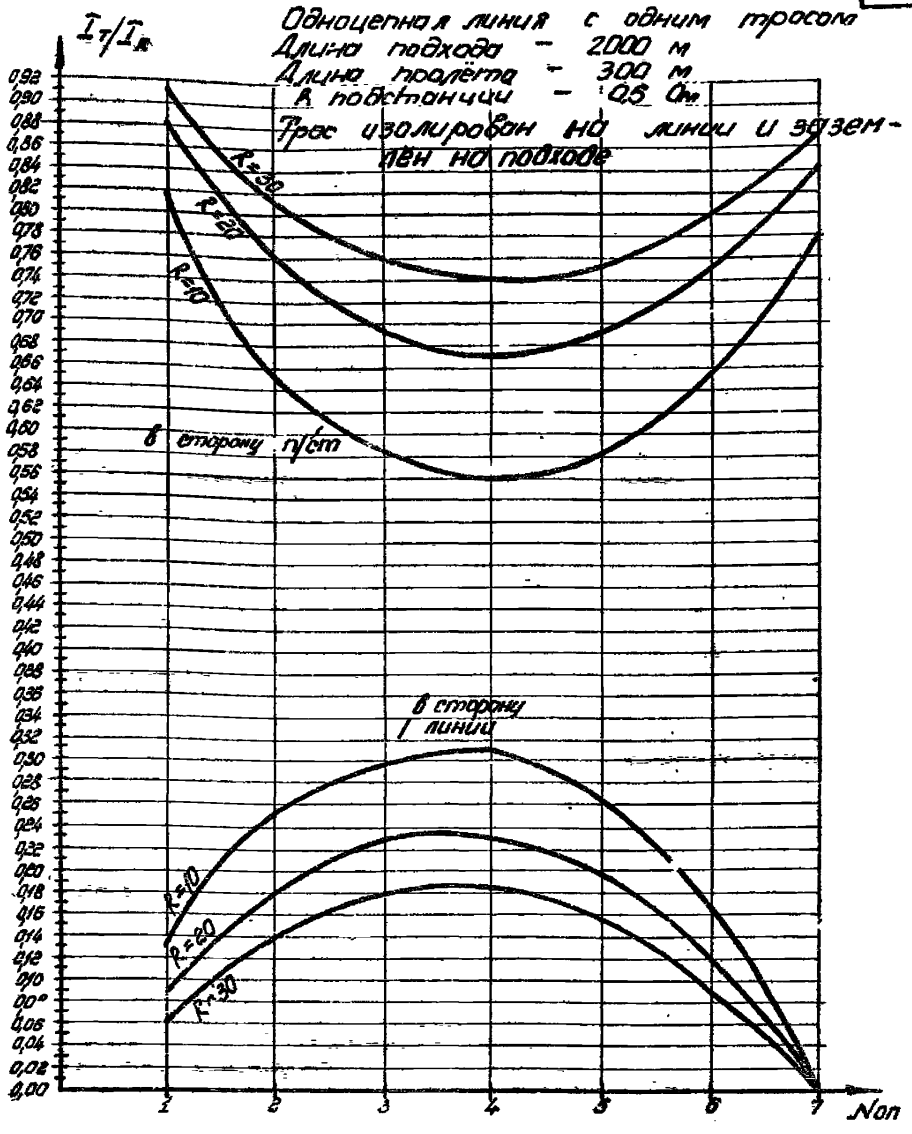
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

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

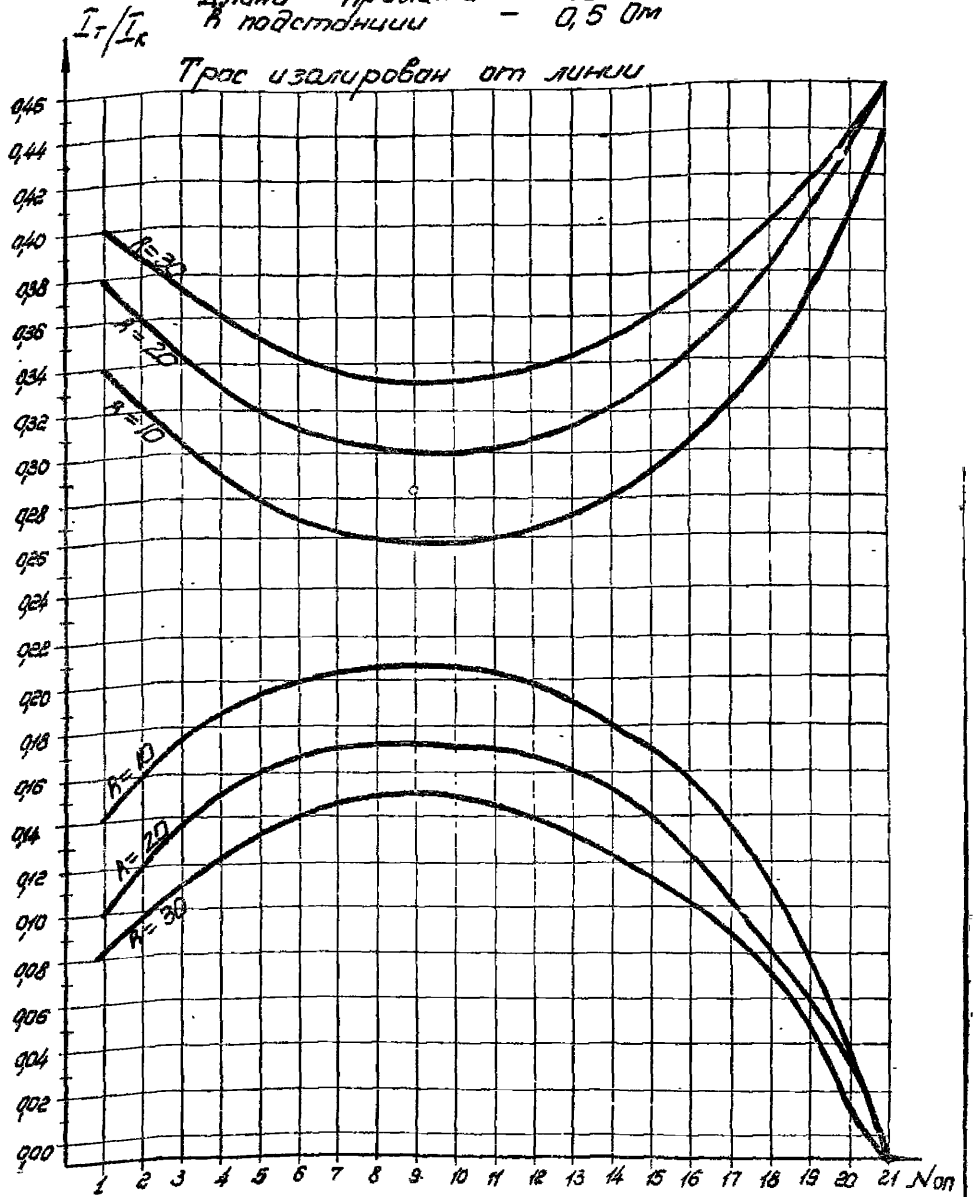
Трос изолирован на линии и заземлён на подходе





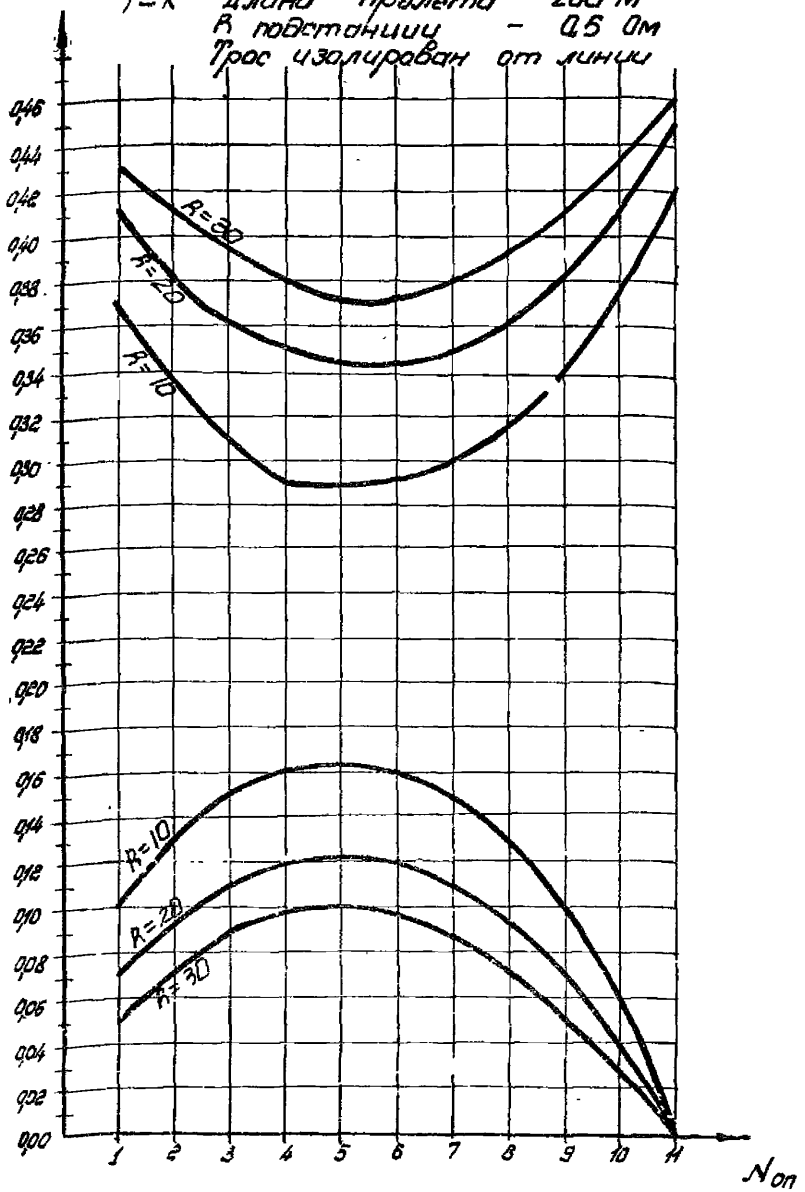
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. Покораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

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



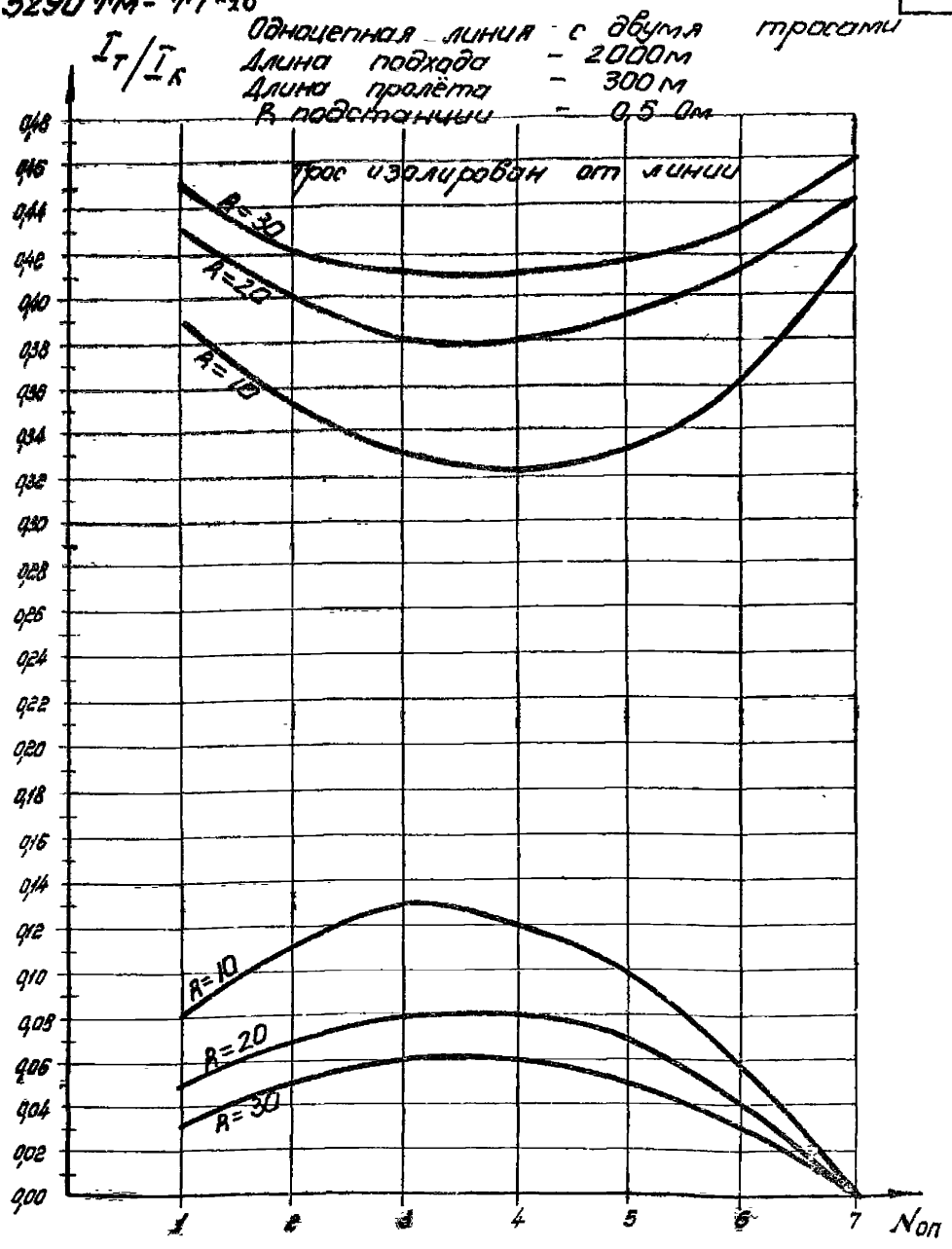
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Токораспределение в стальных грозозащитных тросах. ТК-50 и ТК-70.

Одноцепная линия с двумя тросами
Длина подхода – 2000 м
Длина пролёта – 200 м
R подстанции – 0,5 Ом
Трос изолирован от линии



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

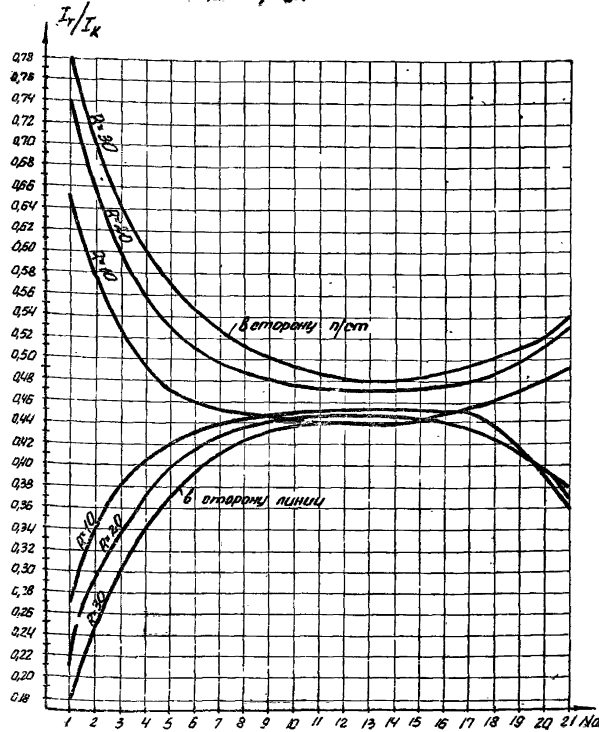
5290 тм-т/-16



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

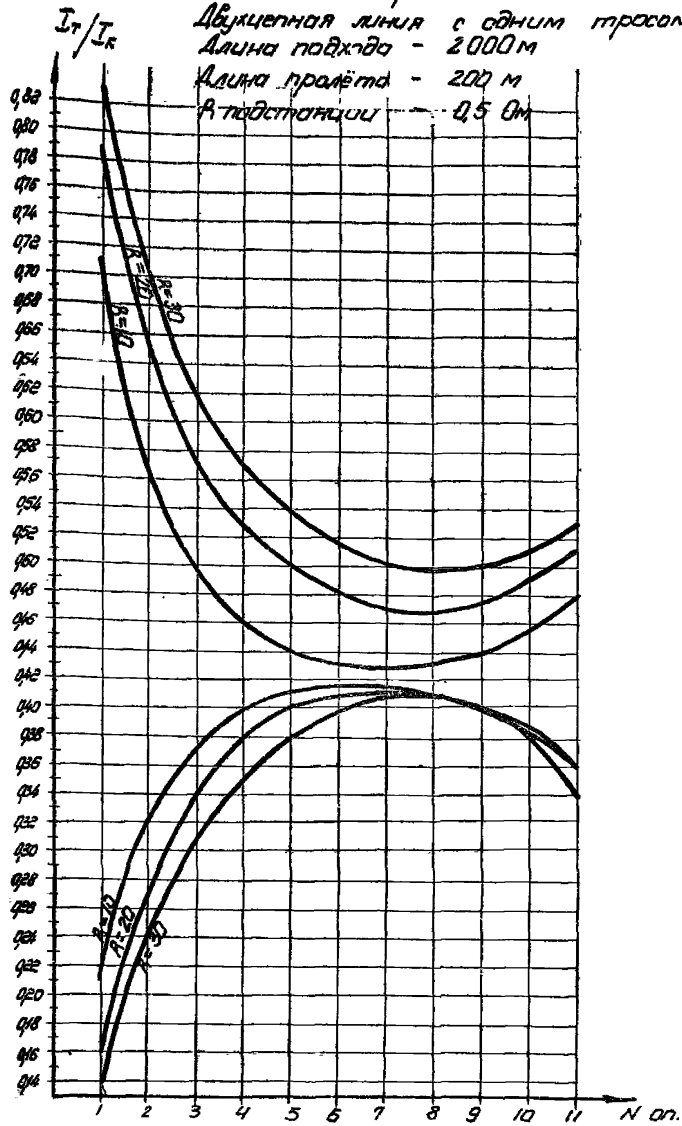
Двухцепная линия с одним тросом
Длина подхода - 2000 м
Длина пролёта - 100 м
R подстанции - 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

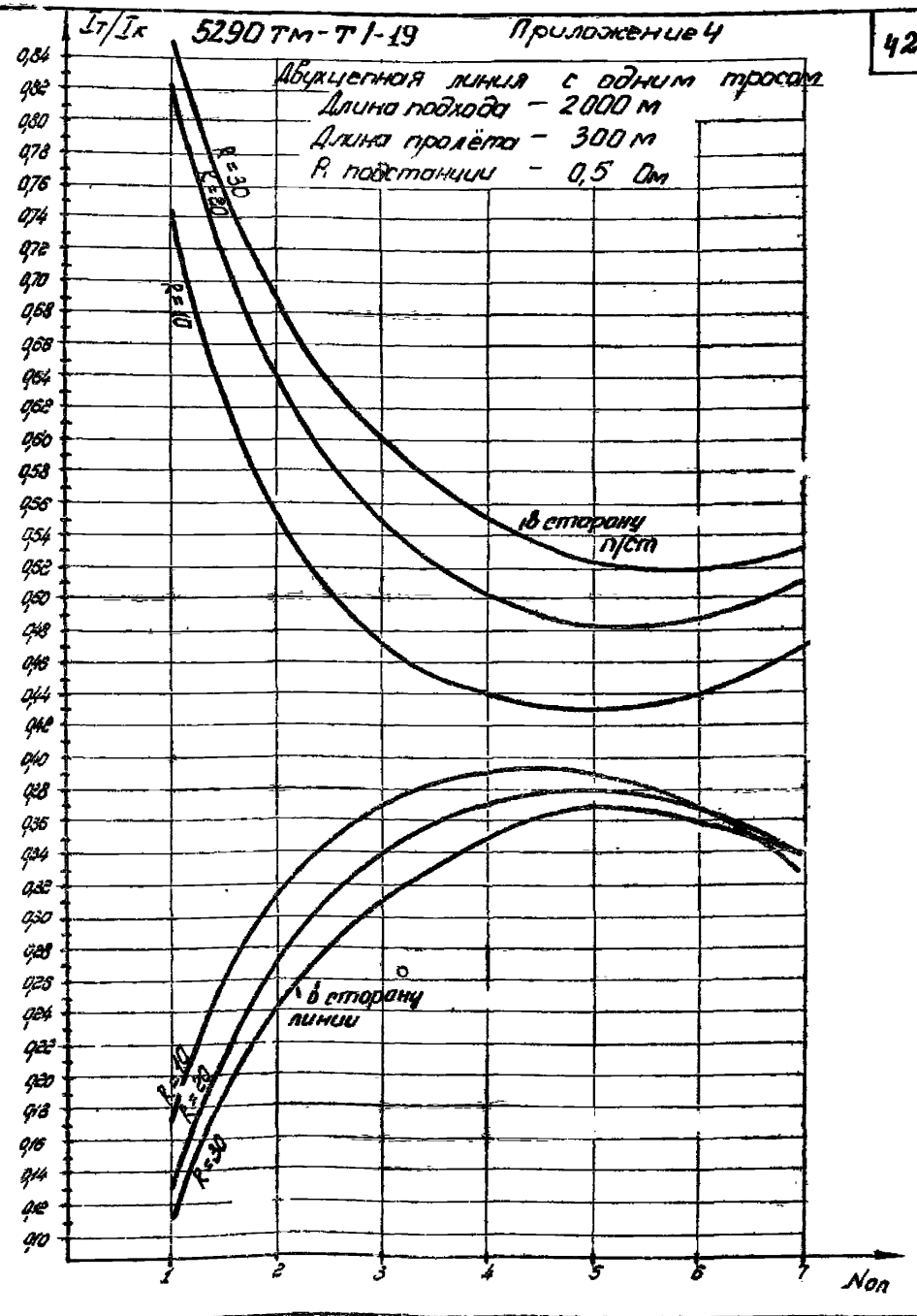
Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70

Приложение 4.

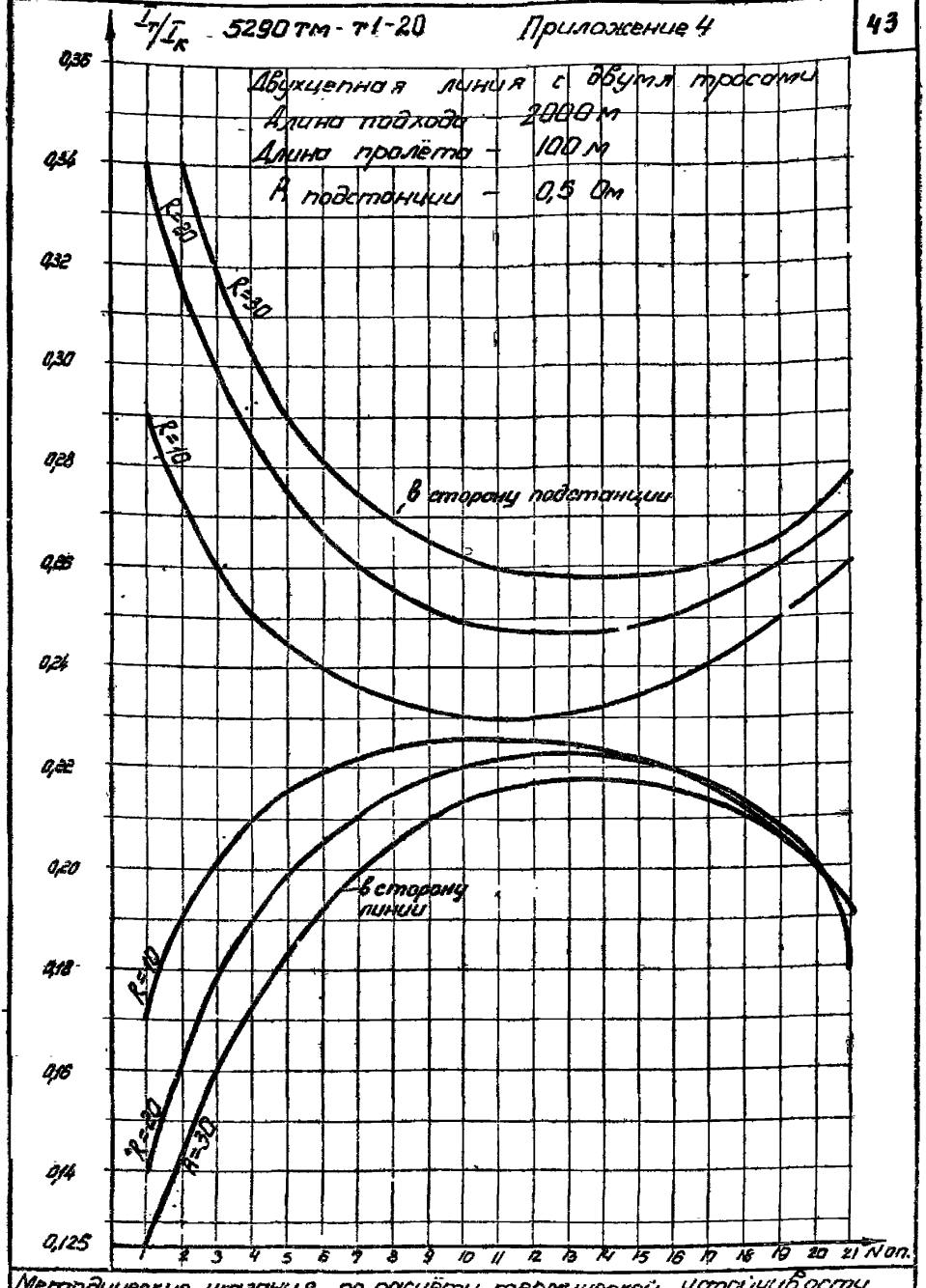


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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.



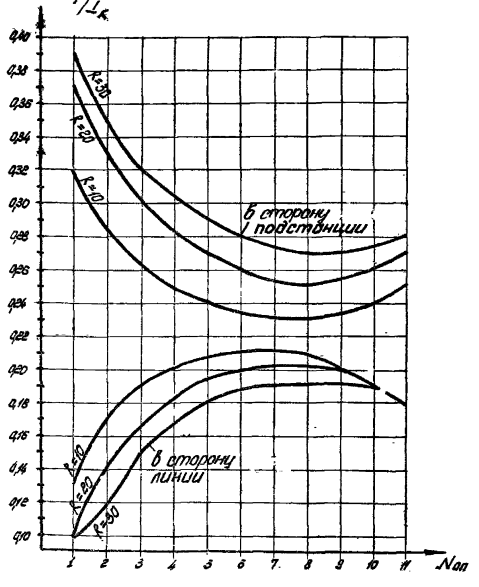
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. Покоатребеление в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

Двухцепная линия с двумя тросами

Длина подхода – 2000 м

Длина пролёта – 200 м

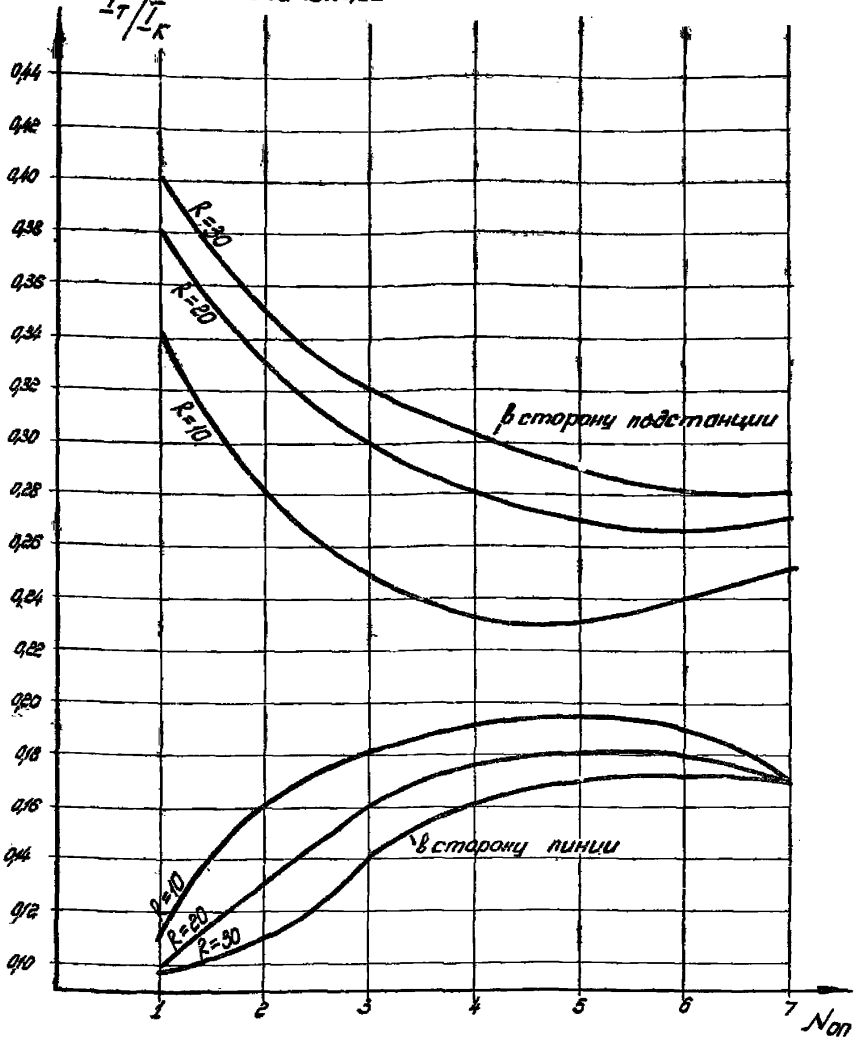
R подстанции – 0,5 Ом



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

Двухцепная линия с двумя тросами
Длина подхода - 2000 м
Длина пролёта - 300 м
R подстанции - 0,5 Ом



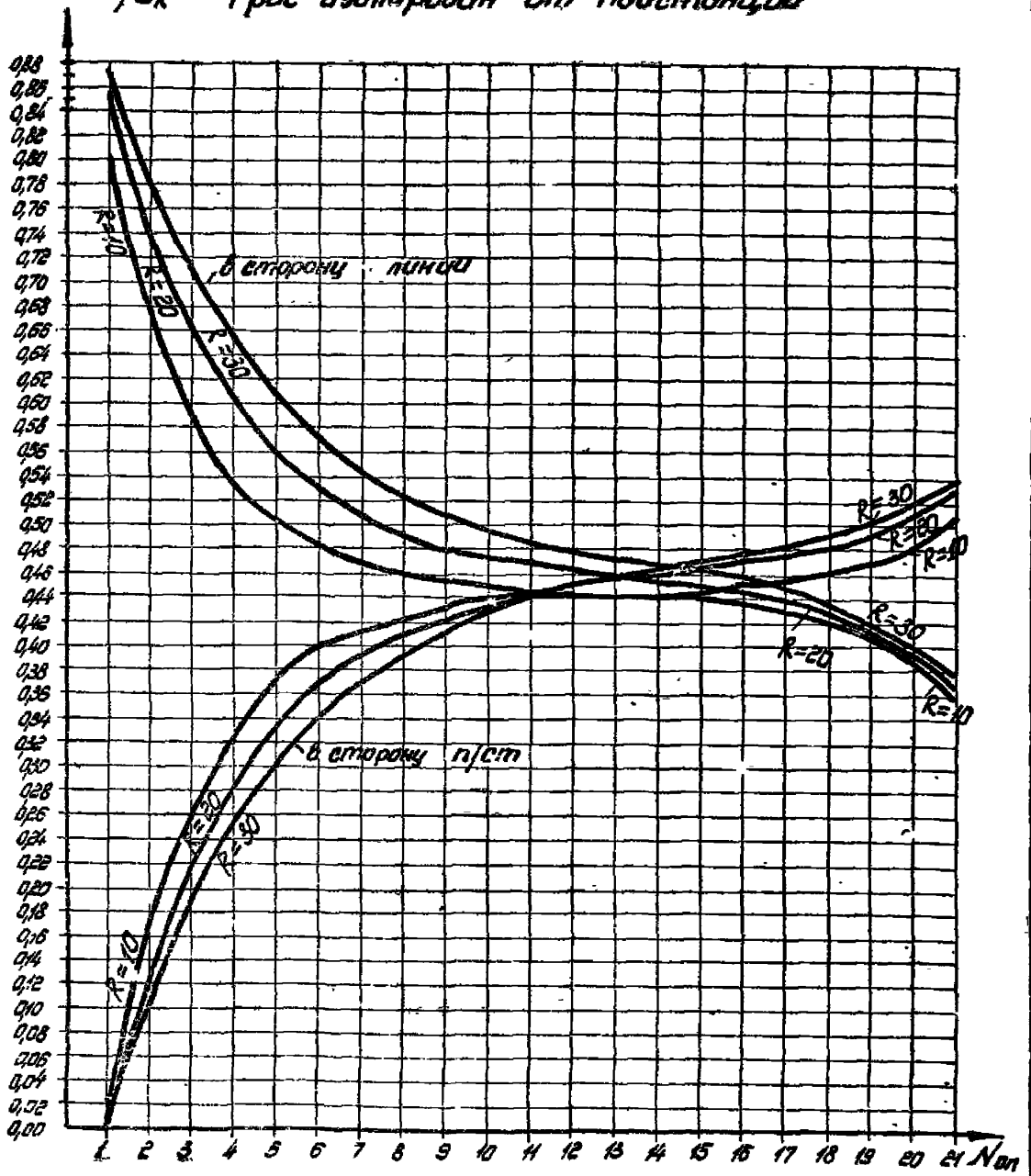
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи. Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.

Двухцепная линия с одним тросом

Длина подхода -2000м

Длина пролета- 100м

$I_т/I_к$ Трос изолирован от подстанции

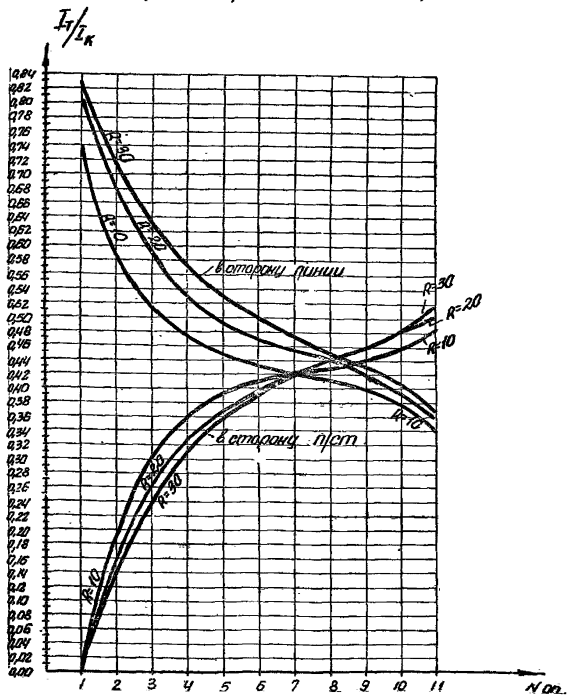


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

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

Трос изолирован от подстанции

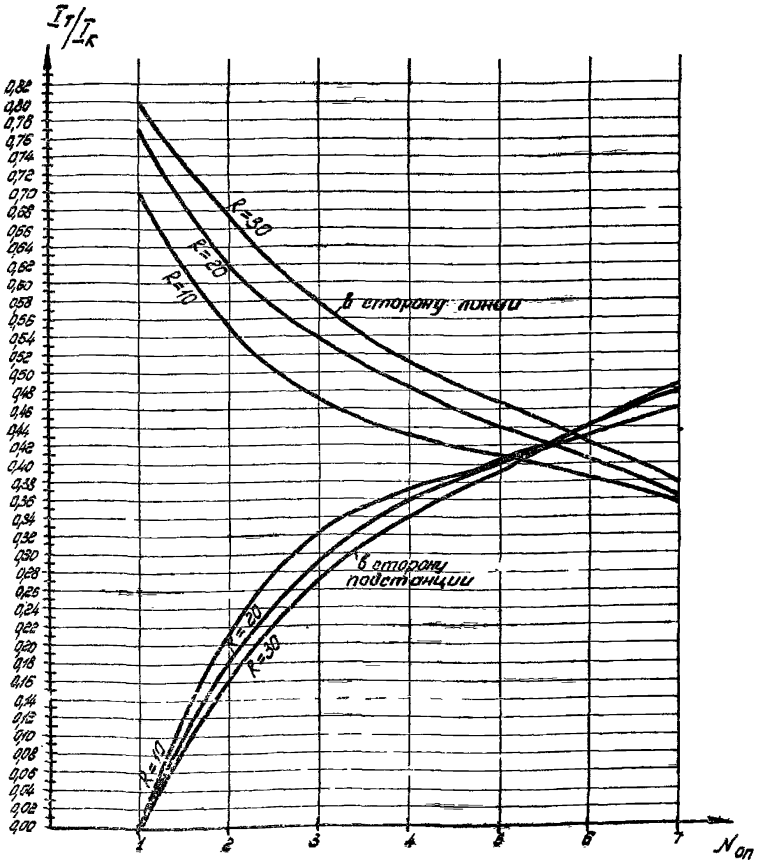


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

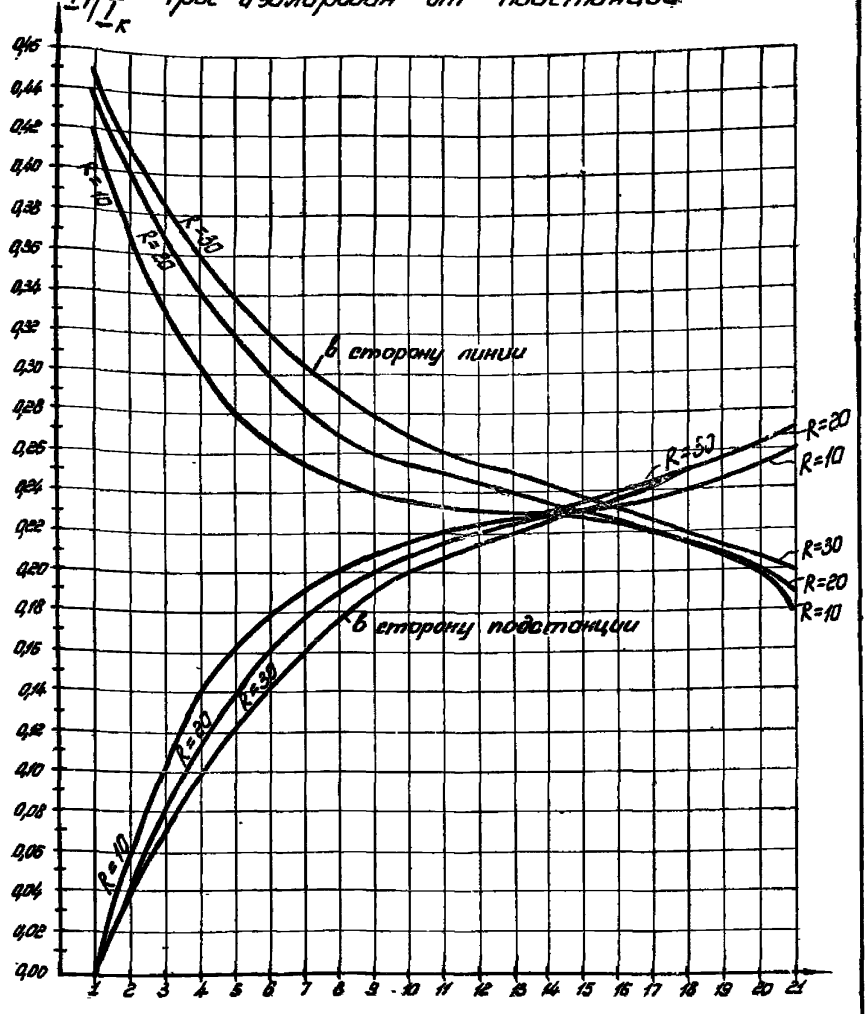
Двухцепная линия с одним тросом
Длина подхода - 2000м
Длина пролёта - 300м

Трос изолирован от подстанции



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

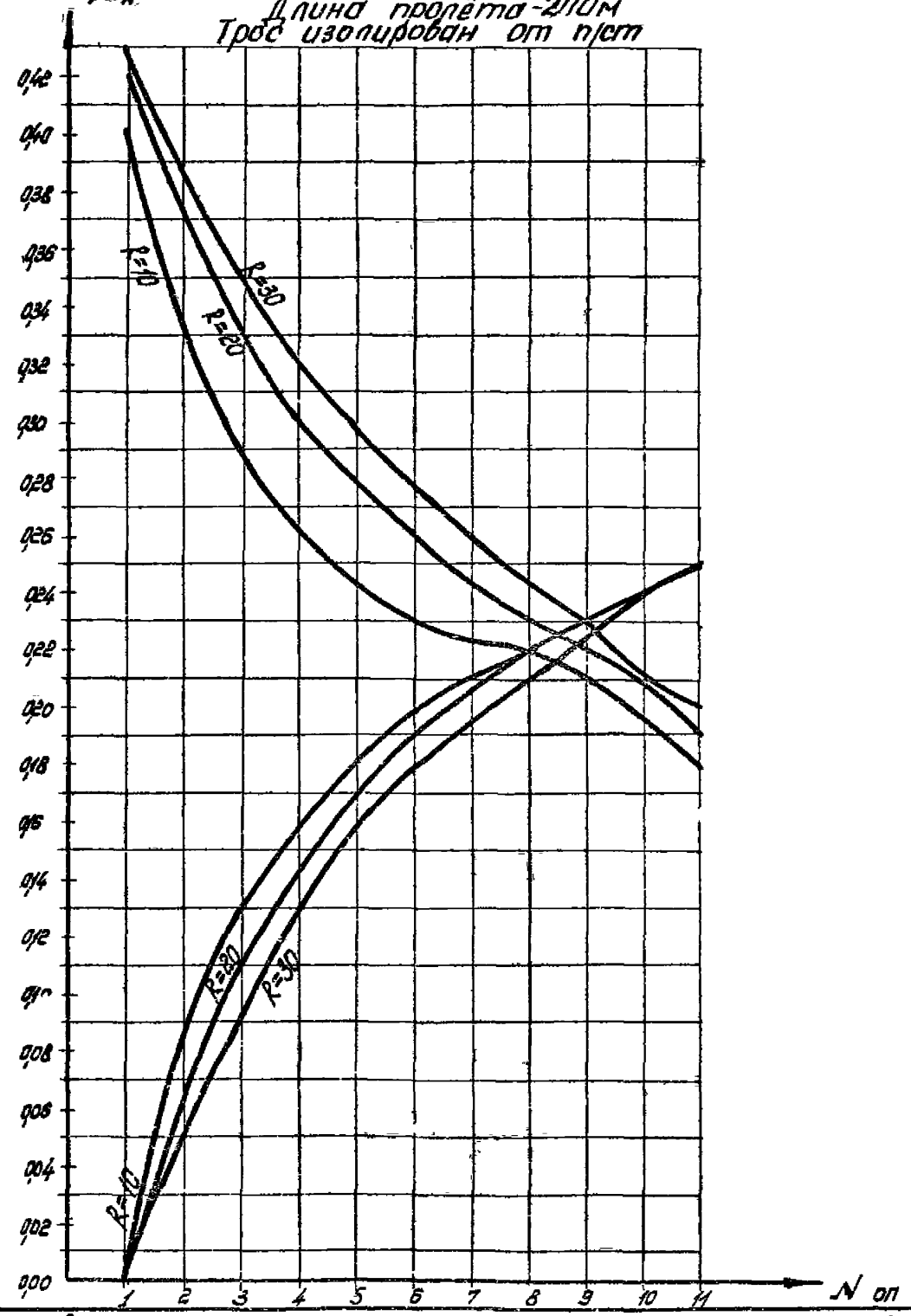
Двухцепная линия с двумя тросами
Длина подхода — 2000м
Длина пролёта — 100 м
Трос изолирован от подстанции



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

Приложение 4

Двухцепная линия с двумя тросами
Длина подхода - 2000м
Длина пролёта - 210м
Трос изолирован от п/ст

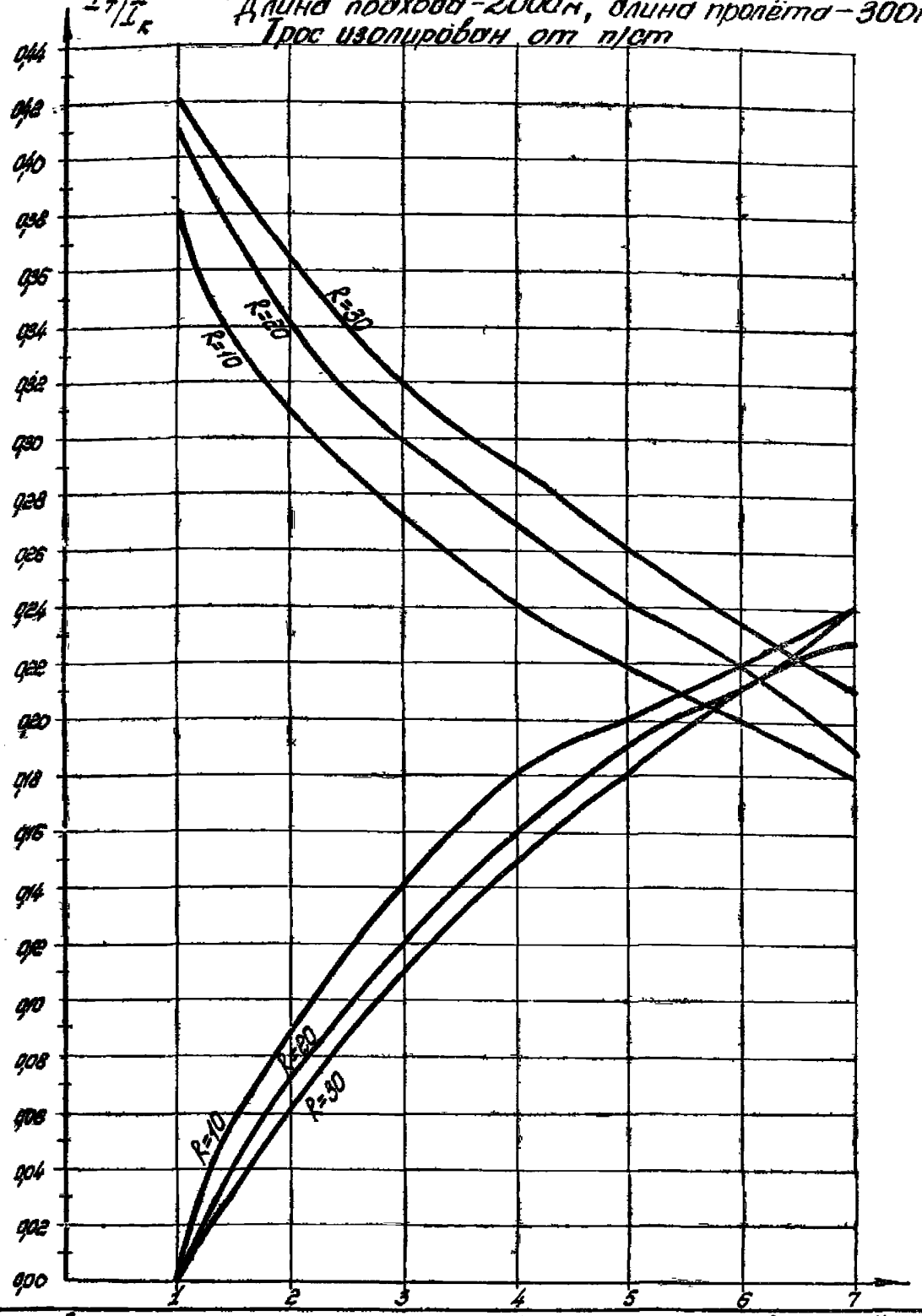


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

Приложение 4

Двухцепная линия с двумя тросами
Длина подхода-2000м, длина пролёта-300м
Трос изолирован от п/ст

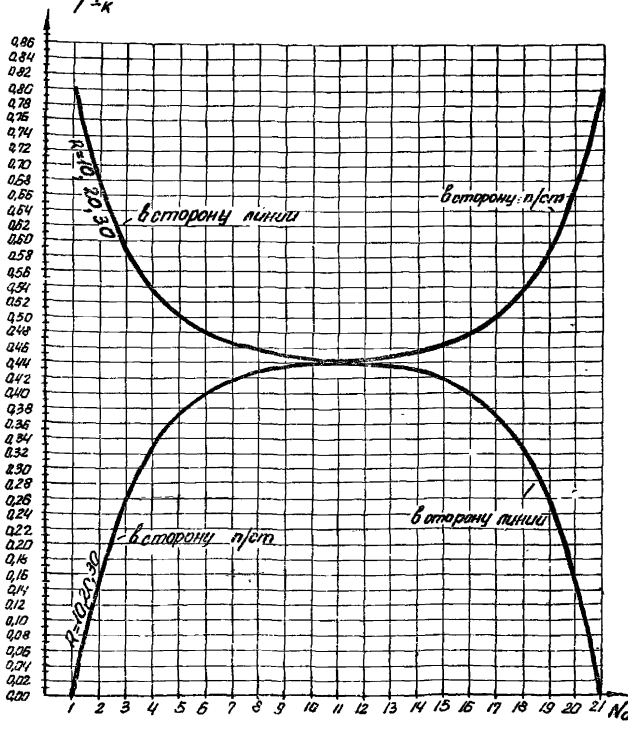


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

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

Трос изолирован от подстанции и от линии

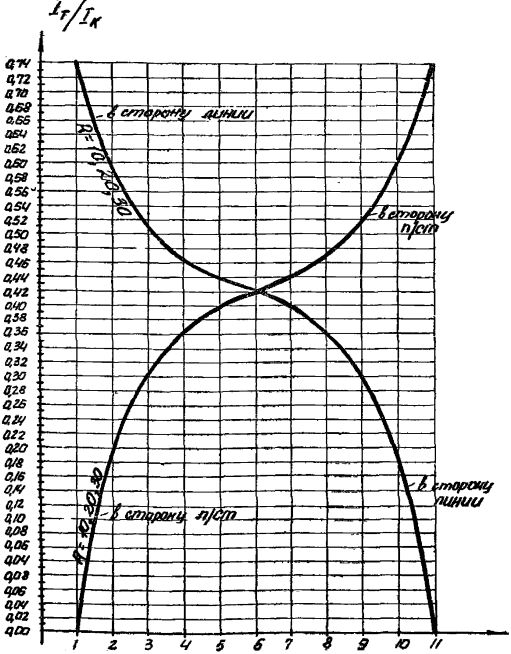


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

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

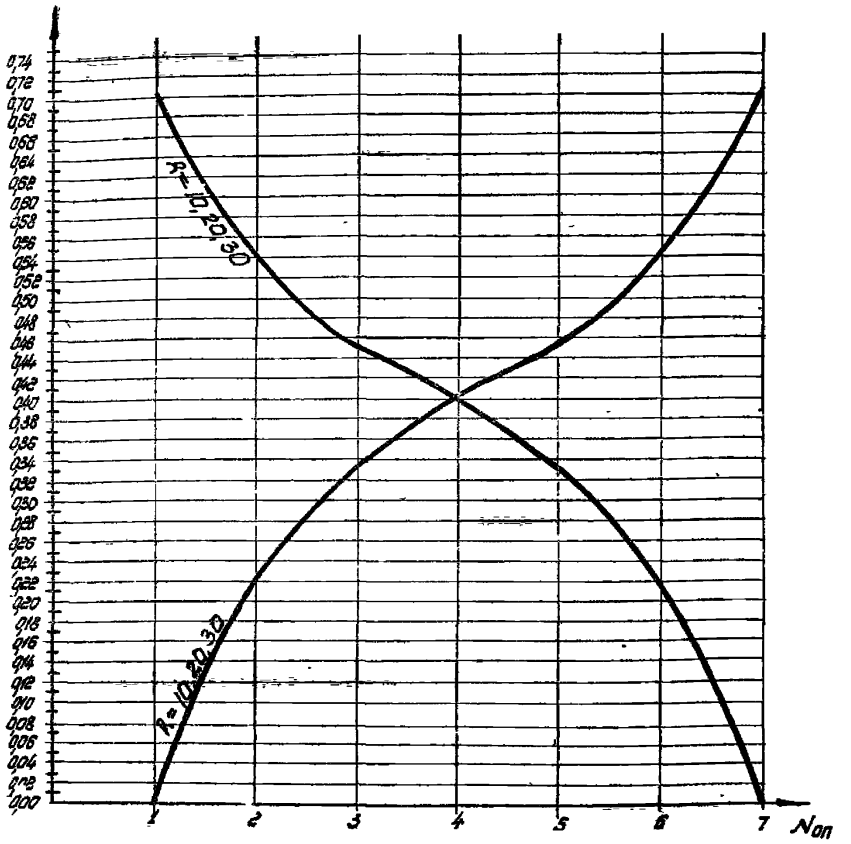
Трос изолирован от п/ст и от линии



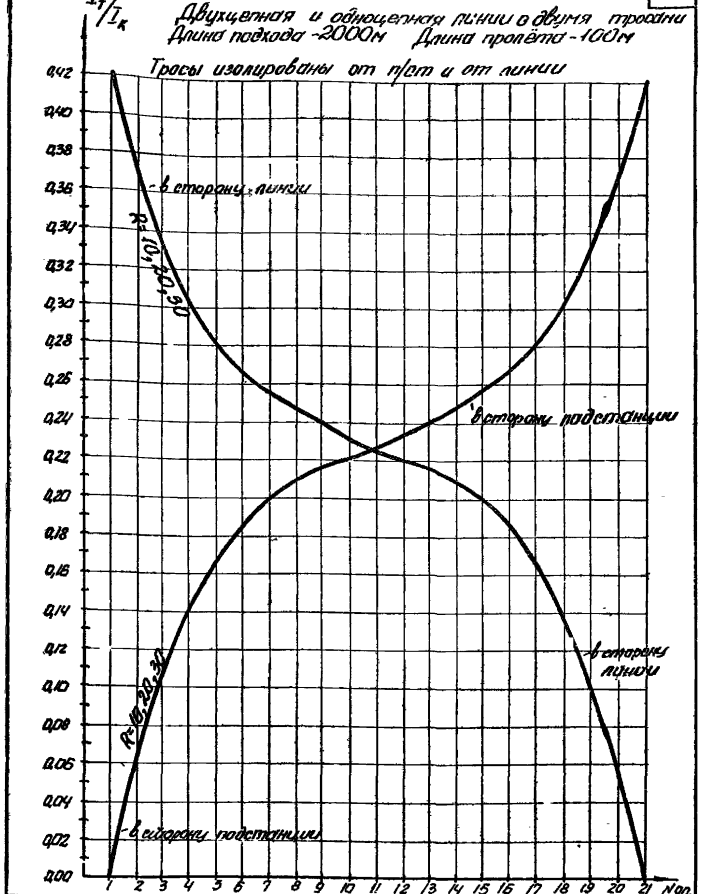
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередач

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.



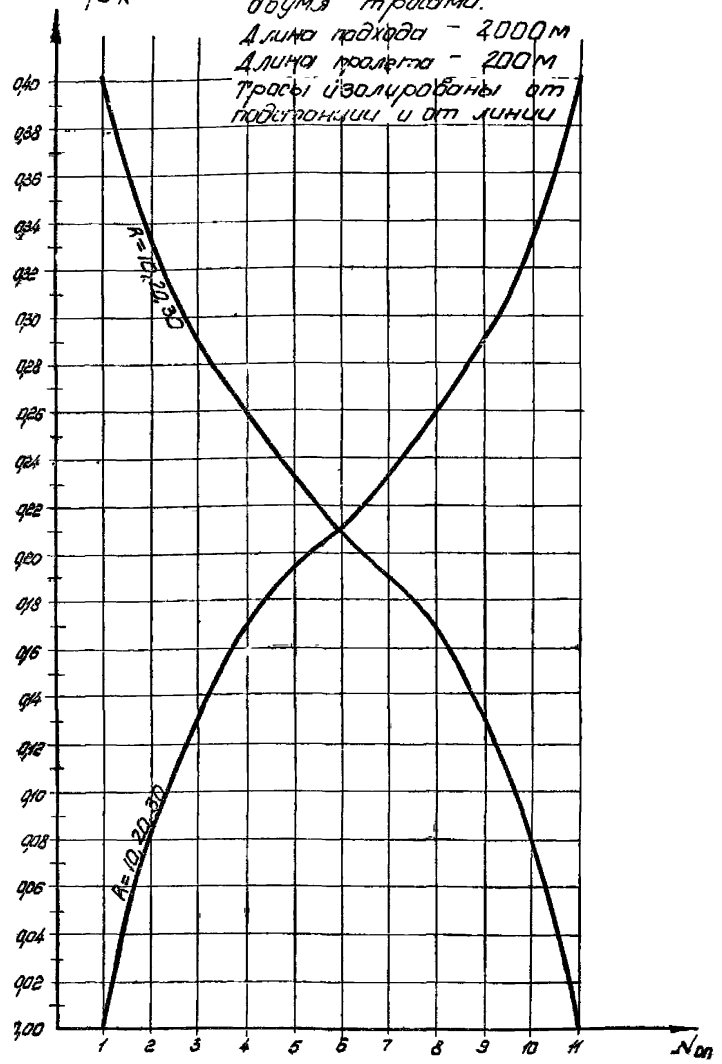
Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи
Токораспределение в стальных грозозащитных тросах ТК-50 и ТК-70.



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

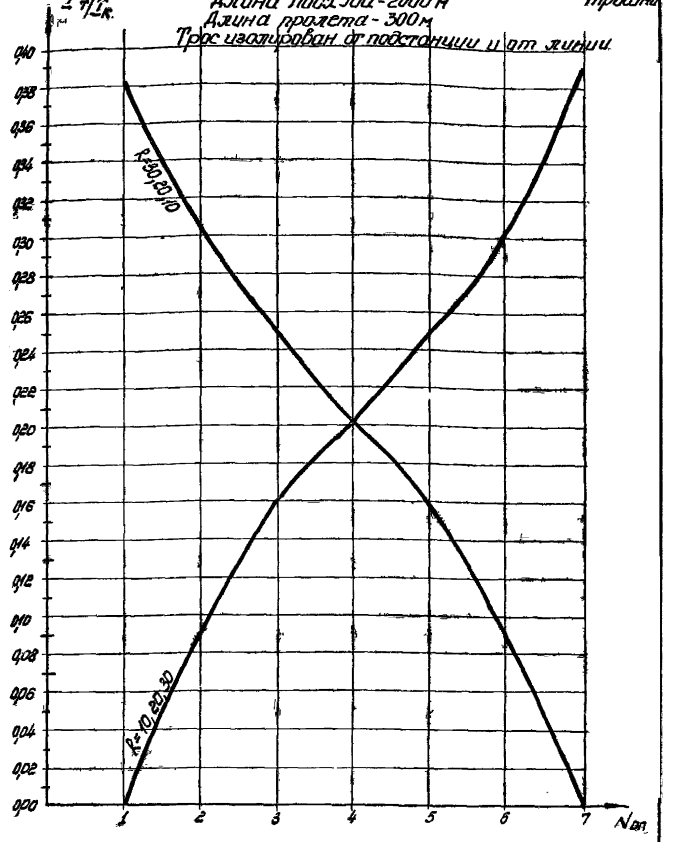
Двухцепная и одноцепная линии с двумя тросами.
Длина подхода – 4000 м
Длина пролета – 200 м
Тросы изолированы от подстанции и от линии

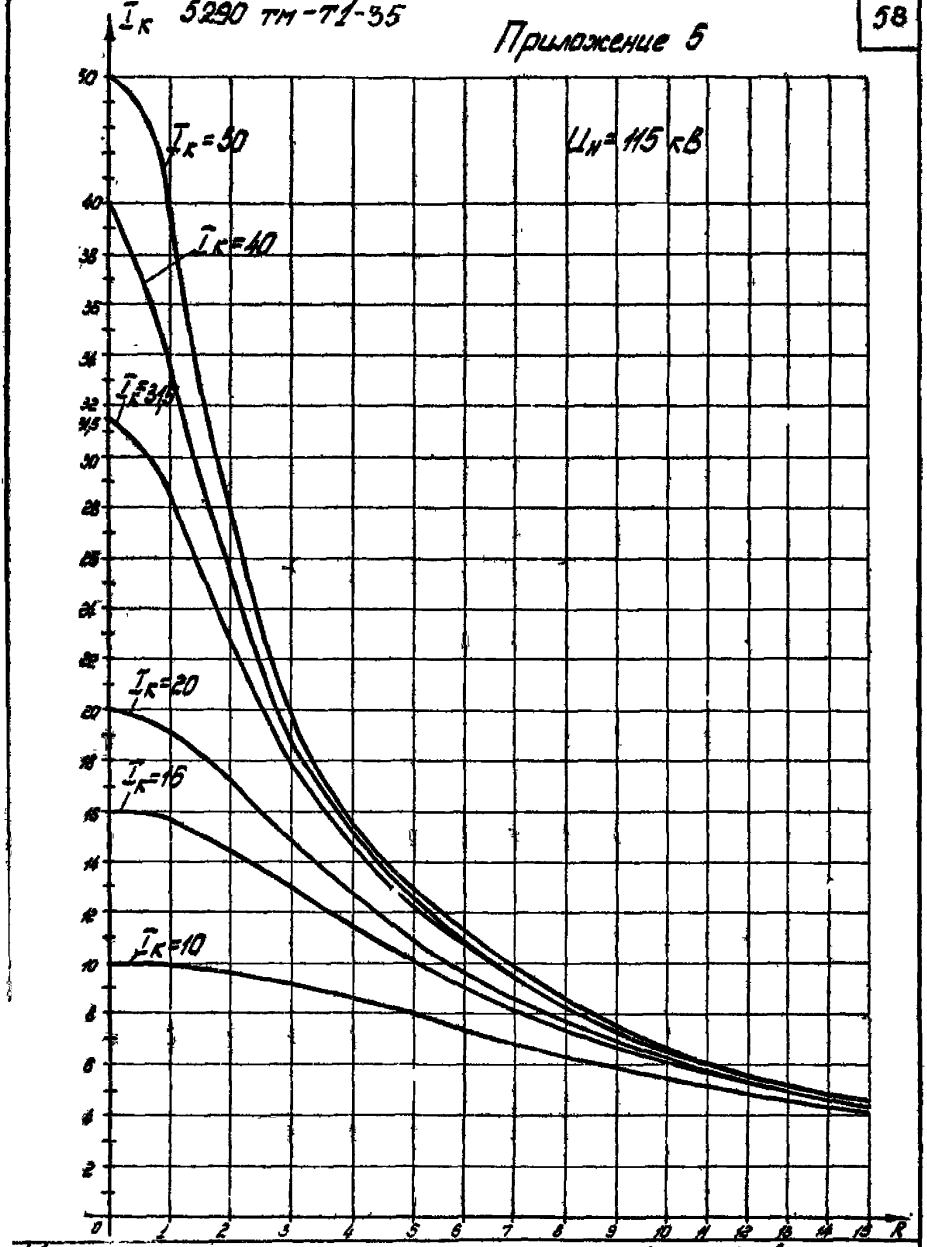


Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

Двухцепная и одноцепная линии с двумя тросами
Длина подхода - 2000 м
Длина пролета - 300 м
Трос изолирован от подстанции и от линии

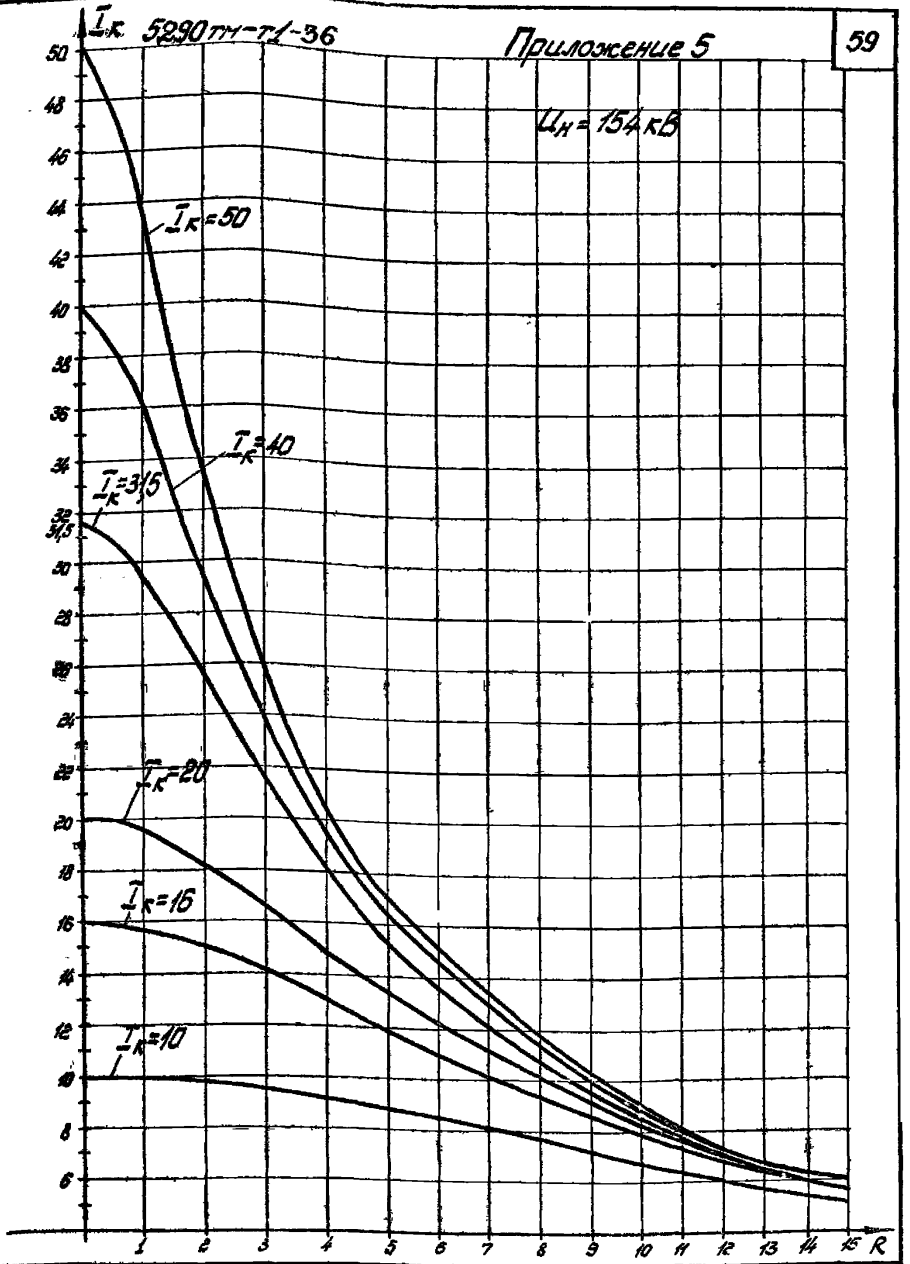




Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи.

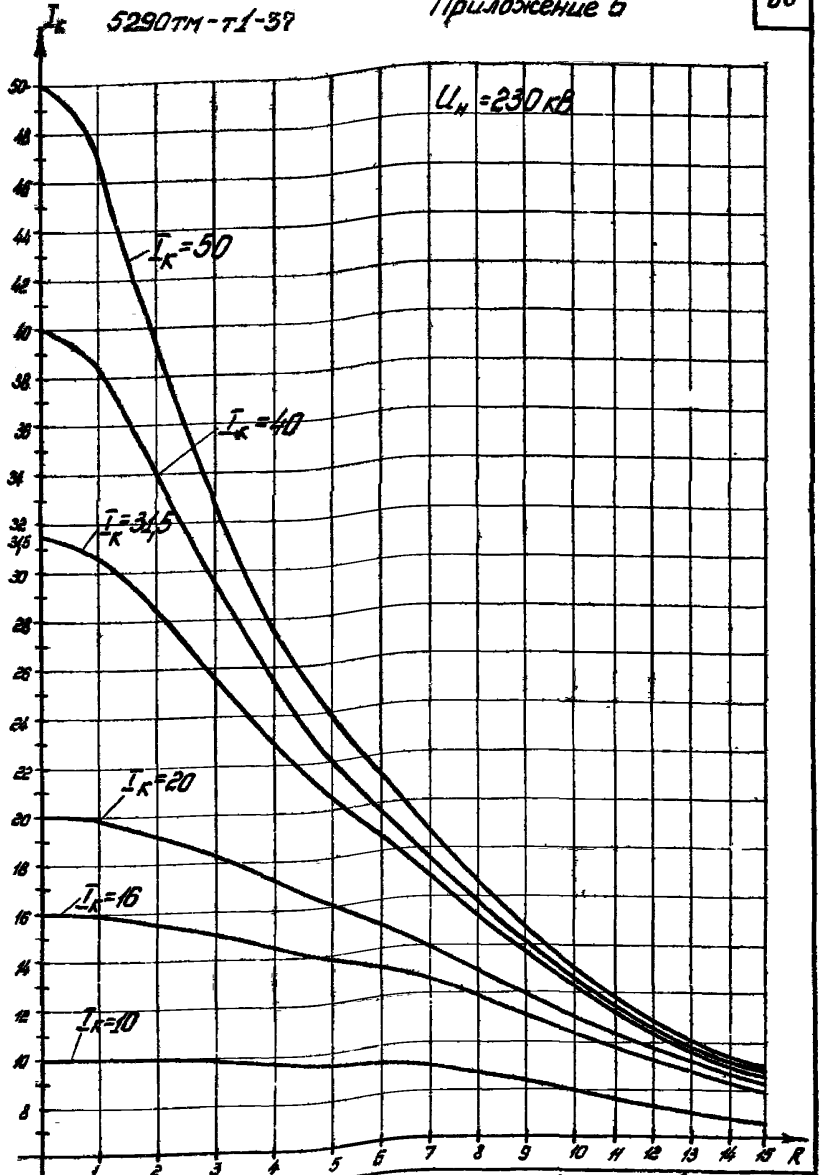
Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления.

Приложение 5



Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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

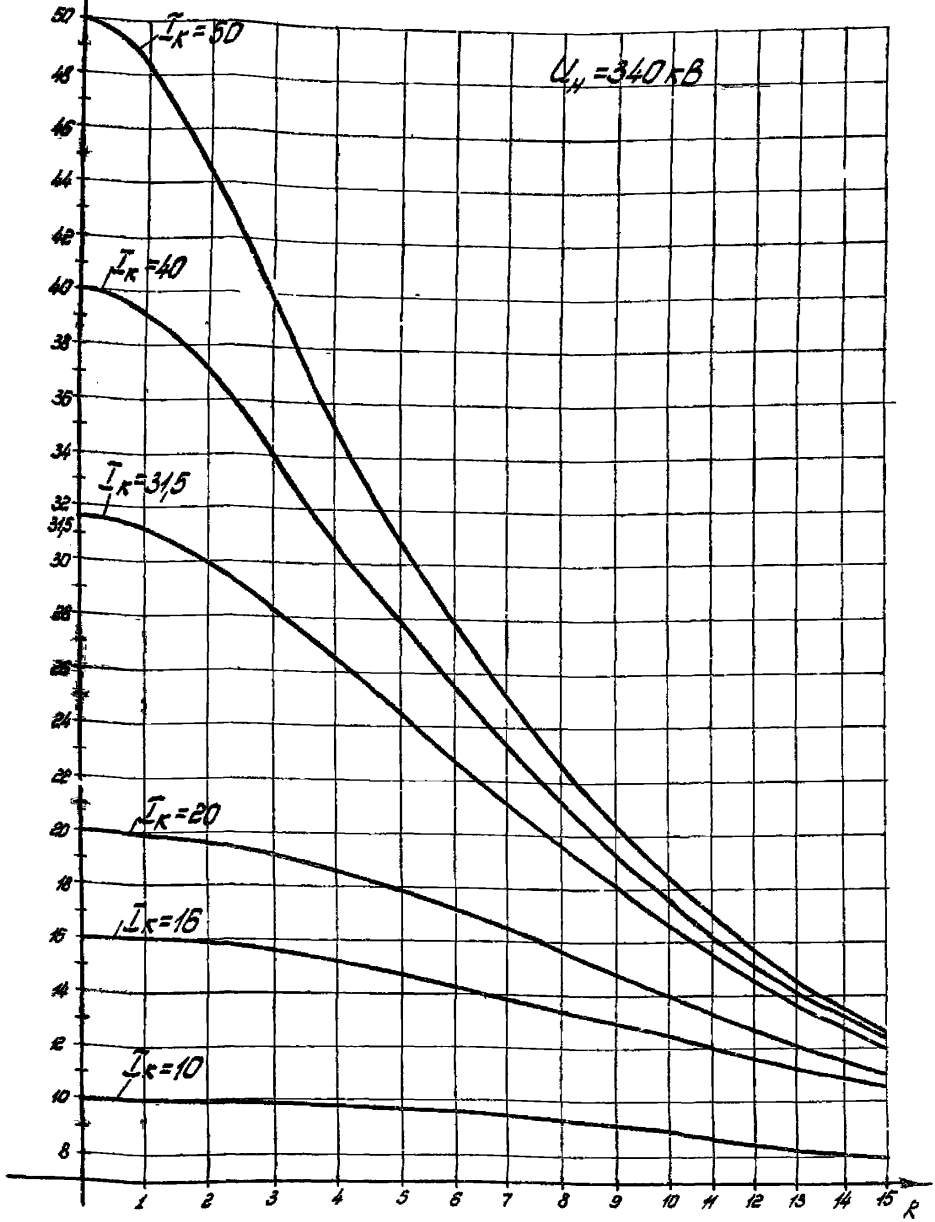


Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи.

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

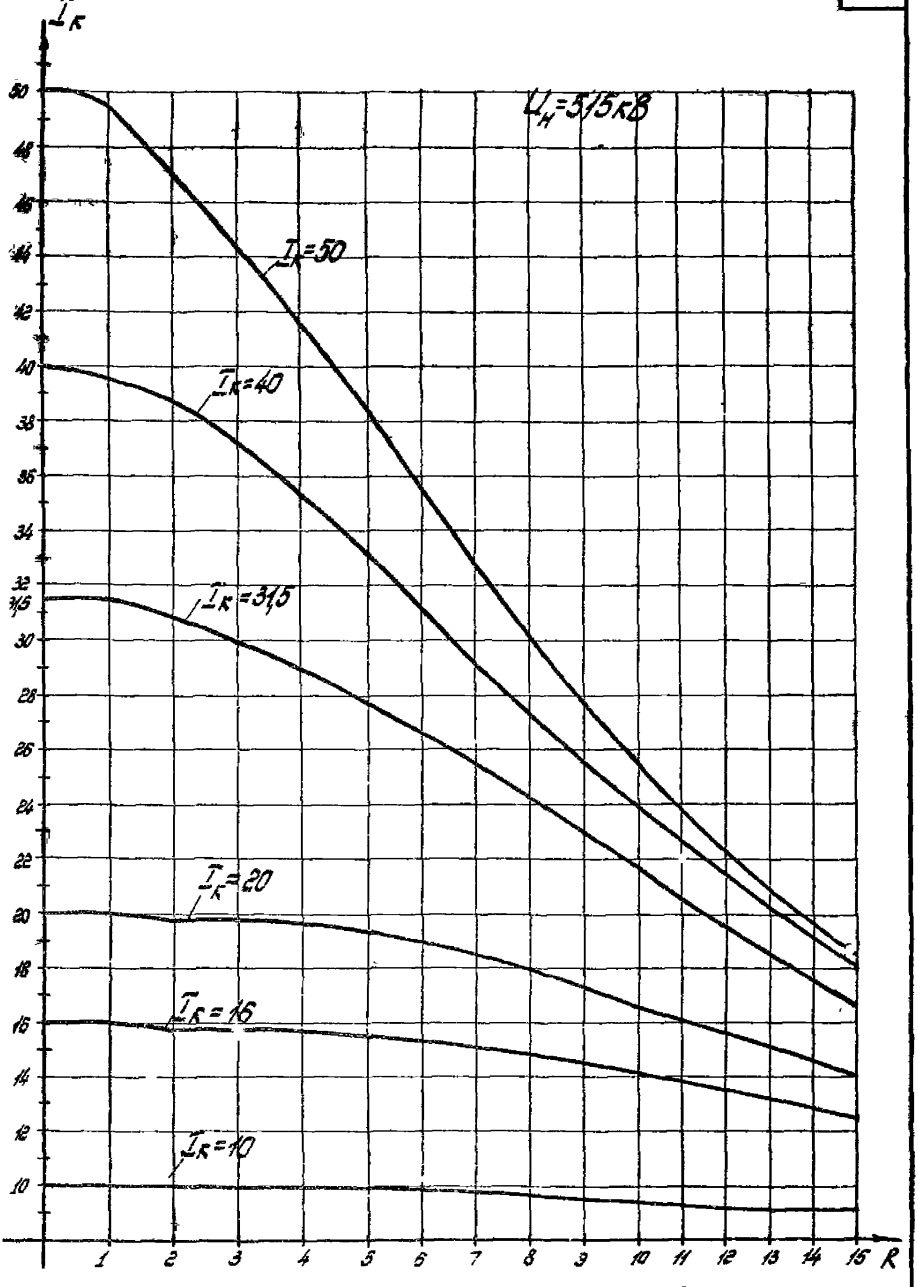
$I_к$ 5290 тм-т1-38

Приложение 6



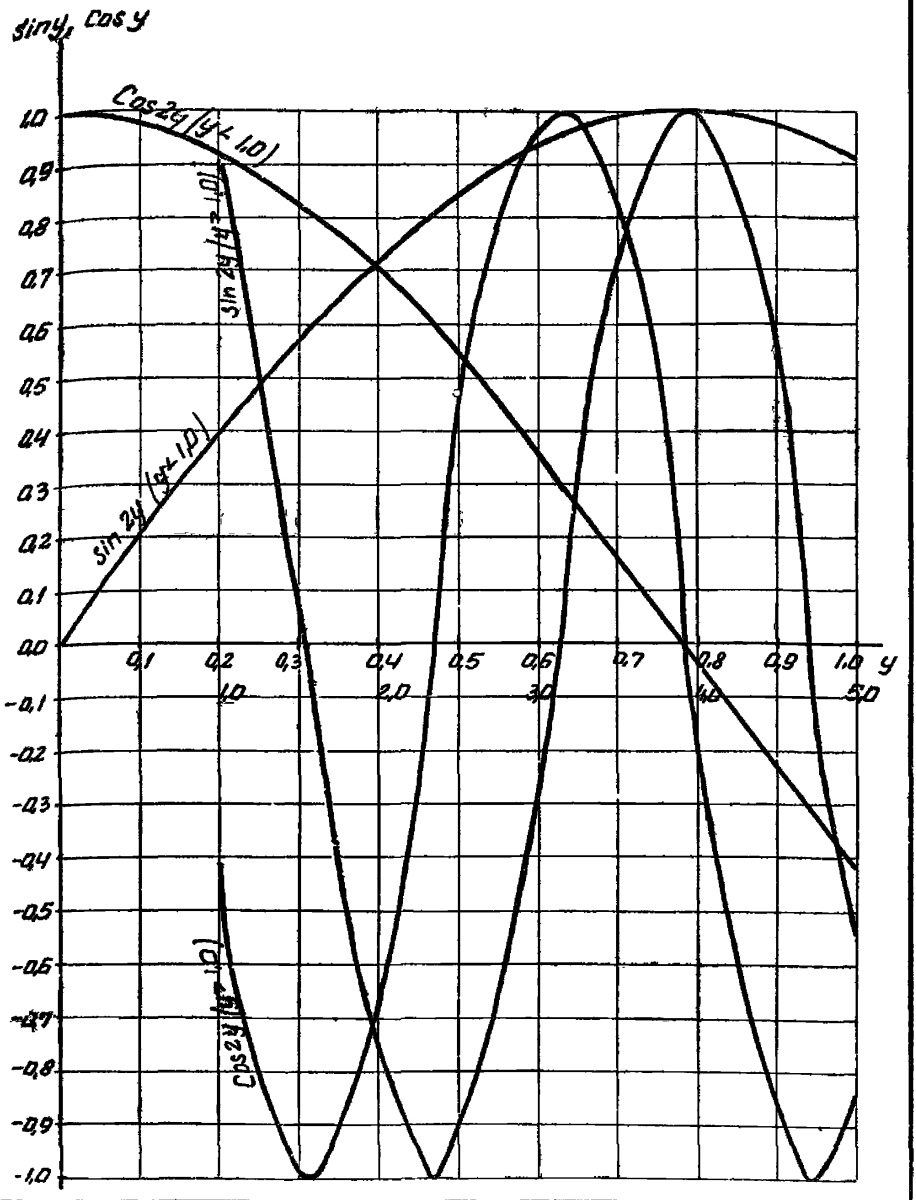
Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

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



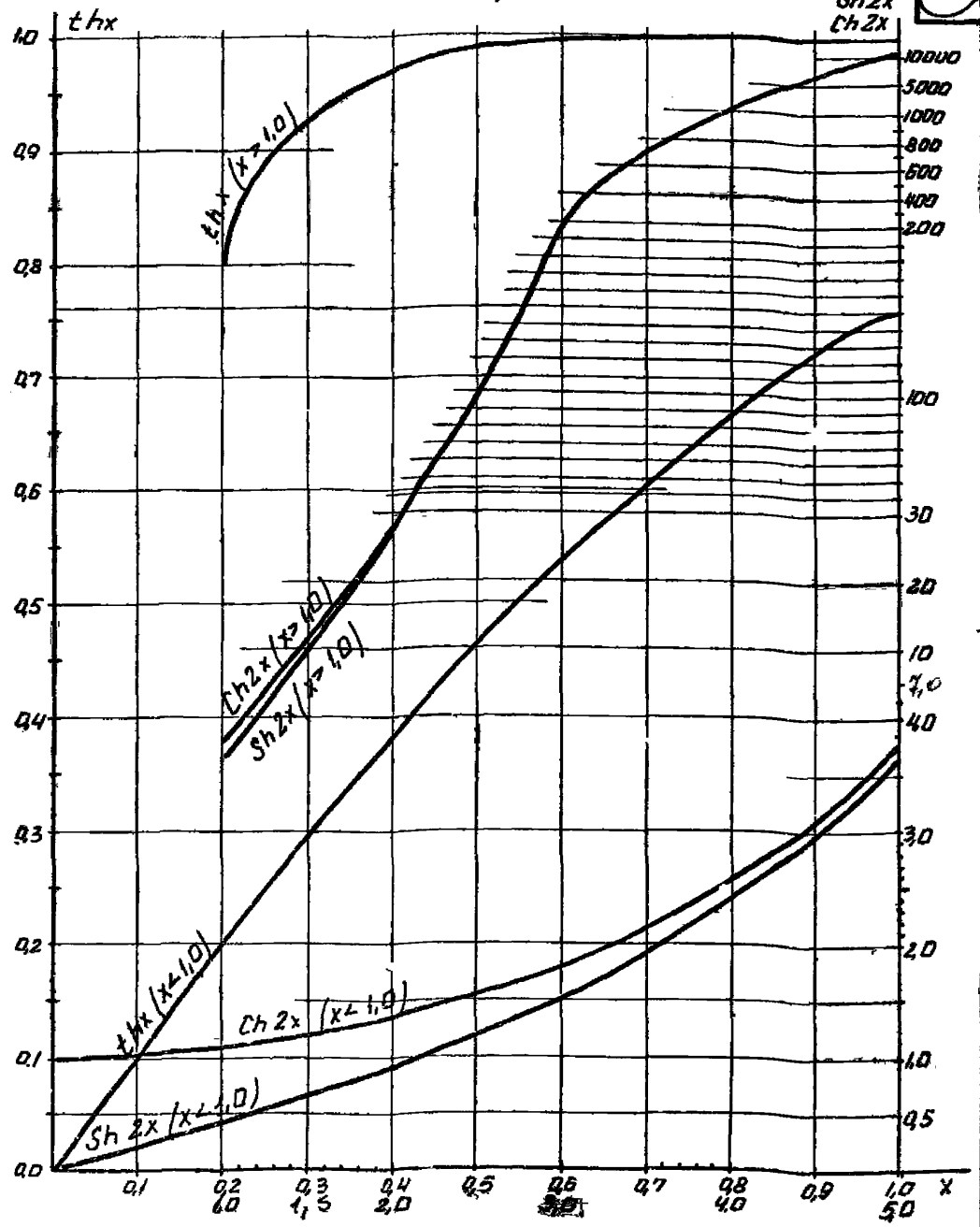
Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередач

Кривые снижения тока короткого замыкания в зависимости от активного сопротивления заземления



Методические указания по расчёту термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Кривые изменения некоторых тригонометрических и гиперболических функций.



Для действительных чисел th x определяется непосредственно по кривым

Для комплексных чисел. $th(x \pm jy) = \frac{Sh2x}{Ch2x + \cos 2y} \pm j \frac{\sin 2y}{Ch2x + \cos 2y}$

Методические указания по расчету термической устойчивости грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи

Гиперболические изменения некоторых тригонометрических и гиперболических функций

gost.e-ecolog.ru