ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Москва
1991

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Материалы
по проектированию и эксплуатационному
контролю

Руководитель работы
заведующий отделом комплексной
защиты электроустановок ВНИИПЭМ
д.т.н., профессор Р.Н.Карякин

Москва
1991

Материалы по проектированию и эксплуатационному контролю (в дальнейшем "Материалы") содержат методику расчета сопротивления растеканию одиночных фундаментов и фундаментных полей в неагрессивных и слабоагрессивных средах, без гидроизоляционных покрытий и с покрытиями. Приведены методика расчета плотности тока, стекающего с арматуры фундаментов, а также основные требования к строительным конструкциям, используемым в качестве заземлителей, заземляющих и нулевых защитных проводников. В "Материалах" содержатся технические решения, примеры схем расположения дополнительных закладных изделий, конструктивные узлы.

"Материалы" предназначены для проектных строительных и электротехнических организаций, а также могут быть полезны электромонтажникам, строителям и энергетикам предприятий.

П р е д и с л о в и е

Проектирование заземляющих устройств электроустановок промышленных предприятий выполняется в соответствии с гл.I.7 Правил устройства электроустановок [17] . Одно из основных требований этой главы Правил предусматривает создание эквипотенциальной системы в цепи тока нулевой последовательности. Создание такой системы возможно только на основе использования стальных и железобетонных каркасов производственных зданий и сооружений в качестве заземляющих и зануляющих проводников, а железобетонных фундаментов зданий и сооружений - - в качестве заземлителей.

Практическому решению этой сложной электротехнической задачи посвящены Материалы по проектированию и эксплуатационному контролю.

В Материалах изложены основные принципы конструирования строительных элементов зданий, использующихся в качестве заземлителей и заземляющих проводников. Приведены методы расчетов сопротивления растеканию и плотности токов, стекающих с арматуры фундаментов, позволяющие проектным организациям на стадии проектирования принимать решения о возможности использования фундаментов зданий в качестве заземлителей и конструкций зданий в качестве заземляющих проводников.

Материалы разработаны творческим коллективом в составе д.т.н.Р.Н.Карякина (руководитель работы), к.т.н.В.И.Солнцева, инж.Б.А.Билько, инж.С.В.Егорова.

Дополнительно в проведении экспериментальных исследований, выполнении расчетов и в оформлении материалов принимали участие инженеры А.Г.Болтянский, О.Л.Бобровникова, Т.Г.Комраз.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. "Материалы" распространяются на проектирование и строительство промышленных зданий и предусматривают выполнение в железобетонных конструкциях зданий при их изготовлении и монтаже специальных мероприятий, обеспечивающих возможность использования конструкций зданий в заземляющих устройствах.

I.2. "Материалы" составлены на основе результатов комплексных исследований, позволивших создать основы практического использования заземляющих свойств строительных конструкций.

Результаты исследований включают:

– решение задачи определения электромагнитных параметров сложной пространственной системы, образованной каркасом производственного здания и его фундаментом. Решение получено в универсальном виде, позволяющем: рассчитывать параметры для сколь угодно сложных фундаментных полей, учитывать вертикальную и горизонтальную неоднородность электрической структуры грунта в диапазоне изменения его удельного электрического сопротивления от I0 Ом.м до $25.I0^3$ Ом.м, рассчитывать потенциалы, а также токи через тело человека, касающегося заземленных частей здания, как в нормальных режимах, так и при коротких замыканиях в электроустановках;

– определение возможности использования железобетонных фундаментов в качестве заземлителей без появления электрокоррозионных повреждений и без снижения их срока службы.

I.3. Результаты исследований позволяют рекомендовать использовать железобетонные фундаменты производственных зданий в качестве заземлителей электроустановок всех классов как в обычных почвенно-грунтовых условиях, так и в условиях вечной мерзлоты и в грунтах с высоким удельным сопротивлением, и на этой основе отказаться от сооружения искусственных заземлителей.

В качестве естественных заземлителей рекомендуется использовать:

железобетонные фундаменты зданий и сооружений, в том числе имеющие защитные гидроизоляционные покрытия, в неагрессивных, слабо- и среднеагрессивных средах; при этом необходимость приварки анкерных болтов стальных колонн (арматурных стержней

железобетонных колонн) к арматурным стержням железобетонных фундаментов определяется допустимой плотностью тока в приарматурном слое бетона; плотность тока, стекающего в землю с естественного заземлителя, не должна превышать значений, указанных в таблице I.

Таблица I

Род тока	Допустимая плотность тока, $А/м^2$	
	Внешняя поверхность арматуры железобетона	Поверхность свинцов. оболочка кабеля
Кратковременный переменный	$\frac{1000}{\sqrt{t} + 0,09}$	$\frac{100}{\sqrt{t} + 0,09}$
Длительный переменный	I,0	0,5
Длительный постоянный	0,06	не допускается

t - время протекания тока в секундах (предел t, относящийся к кратковременному воздействию - 5 с).

I.4. В качестве элементов заземляющих устройств и токоотводов рекомендуется использовать стальные конструкции (фермы, балки, колонны), арматуру железобетонных колонн, ригелей, плит перекрытий, фундаментов, фундаментных балок, а также стальные конструкции производственного назначения (рельсы подкрановых путей, подкрановые балки, балки площадок под оборудование, воздуховоды и т.д.

Для использования в заземляющих устройствах все металлические конструкции и арматура железобетонных конструкций (фундаментов, колонн, ферм, стропильных, подстропильных и подкрановых балок, ригелей) должны быть соединены между собой таким образом, чтобы была образована непрерывная электрическая цепь заземления по всему зданию для максимально возможного снижения плотности тока, стекающего с арматуры фундаментов.

Непрерывность электрической цепи токоотводов обеспечивается соединением стальных элементов:

- в зданиях с монолитным железобетонным каркасом - сваркой рабочей арматуры элементов, являющихся токоотводами;

- в зданиях из сборных железобетонных конструкций - сваркой закладных изделий примыкающих друг к другу конструкций, либо при помощи стальных перемычек (соединительных изделий) сечением не менее 100 мм^2, которые привариваются к закладным изделиям соединяемых железобетонных конструкций, используемых в качестве токоотводов. Длина сварных швов должна быть не менее 60 мм, а высота швов - не менее 5 мм;

- в зданиях из сборных железобетонных конструкций арматура, используемая в качестве токоотводов должна иметь связь с арматурой фундамента заземлителя; при отсутствии этого условия в местах разрывов арматуры необходима установка перемычек в виде соединяющих арматурных стержней или отрезков стальных полос;

- в зданиях со стальным каркасом достаточны болтовые, заклепочные и сварные соединения, обеспечивающие совместную работу элементов каркаса. В тех местах, где такие соединения отсутствуют, должны быть предусмотрены перемычки сечением не менее 100 мм^2, привариваемые к соединяемым конструкциям.

Приварка дополнительных закладных изделий к арматуре железобетонных элементов, а также приварка всех соединительных элементов должна производиться согласно требованиям ГОСТ 5264-80 и ГОСТ 14098-85.

При наличии в кровле здания молниеприемной сетки, она должна быть соединена с арматурой колонн, соединенной перемычками с арматурой фундаментов-заземлителей.

В зданиях с железобетонным каркасом при отсутствии молниеприемной сетки система проводников, обеспечивающих непрерывность электрической цепи может быть создана соединением арматуры колонн с арматурой фундаментных балок. В местах отсутствия фундаментных балок должен быть предусмотрен специальный проводник из стали сечением не менее 100 мм^2. В многоэтажных зданиях непрерывной внутренний контур, объединяющий в единую цепь колонны и ригели каркаса, выполняется на одном из нескольких этажей.

Для присоединения защитного заземления оборудования в колоннах предусматриваются закладные изделия.

Закладные изделия в колоннах для создания опоры для заземляемого технологического оборудования (металлических площадок) или для крепления сантехнических и технологических коммуникаций должны быть соединены с продольной арматурой колонн.

Все остальные конструкции, запроектированные в здании (площадки, вентиляционные устройства, трубы, лестницы, металлические корпуса технологического и электротехнического оборудования и пр.) должны быть присоединены при помощи сварки к цепи заземления.

Естественный заземлитель в месте его присоединения к заземляющему устройству должен обеспечивать протекание по нему наибольшего допустимого тока в кА, определяемого по формуле:

$$I_{доп} \leq S I,$$

где: S - сечение естественного заземлителя, мм^2;

I - допустимая плотность тока (кА/мм^2), которая при времени протекания тока в одну секунду и менее определяется по выражению:

$$I = \frac{I_{1e}}{\sqrt{t}},$$

а при времени более одной секунды - по выражению:

$$I = 1{,}2\,\frac{I_{1e}}{\sqrt{t}},$$

где: t - время в секундах, а I_{1e} принимается

для стальных проводов и конструкций - 0,07;

для сталеалюминиевых проводов - 0,15 ;

для арматуры железобетона - 0,03 ;

для свинцовой оболочки кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение до 10 кВ - 0,03 ;

для свинцовой оболочки кабеля с бумажной пропитанной изоляцией на напряжение 20-220 кВ - 0,02 .

Для остальных естественных заземлителей ток не нормируется.

I.5. В заземляющих устройствах допускается использовать колонны, сваи, стропильные и подстропильные балки, ригели, плиты покрытия с напрягаемой арматурой.

I.5.I. Не допускается использовать в заземляющих устройствах плиты перекрытия, подкрановые балки, стропильные и подстропильные фермы с напрягаемой арматурой, железобетонные конструкции с напрягаемой проволочной и прядевой (канатной) арматурой, железобетонные конструкции с напрягаемой стержневой арматурой диаметром менее I2 мм.

I.6. Не допускается использовать в заземляющих устройствах:

- железобетонные конструкции электроустановок в электролизных цехах и электроустановок,работающих в районе эксплуатации электрической тяги на постоянном токе;
- железобетонные фундаменты при расположении их в сухих песках и скальных грунтах с влажностью менее 3%.

I.7. Фундаменты из плотных бетонов с маркой по водонепроницаемости до В6 включительно допускается использовать в качестве заземлителей в среднеагрессивной среде.

Не рекомендуется применение в качестве заземлителей железобетонных фундаментов из бетона марки по водонепроницаемости В8.

Железобетонные фундаменты из бетона более высоких марок по водонепроницаемости запрещаются к применению.

I.8. При разработке электротехнической части проекта в отдельных случаях (например, при агрессивных грунтах) для железобетонных фундаментов, используемых в качестве заземлителей, должен быть проведен расчет плотности тока, стекающего с арматуры фундамента в бетон и далее в грунт. Максимальное значение плотности тока должно быть менее величин, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Вид тока	Допустимая плотность тока, $А/м^2$
Ток молнии	30×10^3
Ток кратковременный промышленной частоты (до 3 с)	$1{,}0 \times 10^3$
Ток длительной промышленной частоты	1,0

Во избежание превышения значений плотности тока, указанных в таблице, рекомендуется об единять в единую систему все элементы конструкций, используемых в цепи заземления. Соединения этих элементов должны осуществляться только стальными изделиями.

1.9. Допускается использовать здания и сооружения в качестве заземлителей в среде при концентрации ионов хлора до 0,5 г/л (Cl) или сульфат-ионов до 10,0 г/л (SO_4), в том случае, если плотность токов, длительно стекающих с арматуры фундаментов, не превышают 1 $А/м^2$. Расчет плотности тока должен выполняться в соответствии с методикой, изложенной в п.4.2.

1.10. При защите поверхности фундаментов битумными или битумно-латексными покрытиями возможно использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей в неагрессивных средах, а также при слабоагрессивной степени воздействия грунта на железобетонные конструкции фундаментов производственных зданий и сооружений (см.табл.4 СНиП 2.03.11-85 "Защита строительных конструкций от коррозии").

1.11. Конкретные технические решения для серий типовых железобетонных строительных конструкций одноэтажных и многоэтажных зданий промышленных предприятий даны в Альбоме серии 5407-134, введеном в действие 01.06.91. (см.табл.3).

Таблица 3

Наименование конструкций	Серии
Фундаменты под колонны зданий	I.4II. I-I/84 I.4II-2 I.4I2. I-4 I.4I2. I-6 I.020-I/83, вып.I
Фундаментные балки	I.4I5. I-2
Колонны одноэтажных зданий	I.423.I - 3/88 I.423.I - 5/88 I.423 - 2 I.424. I - 5 I.424. I-6 I.424. I-9 I.424. I-I0 I.427. I-3 I.427. I-6
Колонны и ригели многоэтажных зданий	I.020 - I/83, вып.2 и 3 I.020. I-2 I.020. I-4 I.420 - 8/8I I.420 - I2 I.420.I - I9 I.420. I-20 с
Плиты перекрытий многоэтажных зданий (без предварительного напряжения)	I.04I. I-3 I.042. I-4 I.442. I-I I.442. I-I,87 I.442. I-2 I.442. I-3

1.12. Для разработки деталей проекта молниезащиты (в случае использования строительных конструкций в качестве заземляющих устройств и токоотводов) на этапе разработки каркаса и фундаментов здания разработчиками электротехнической части проекта выдается задание проектировщикам - строителям на разработку архитектурно-строительной части проекта.

Задание должно содержать следующие данные:

- для проектирования молниезащитной сетки - шаг и диаметр стержней сетки, места соединений ее с колоннами;
- при применении стержневых молниеприемников - их размещение, марки, высота и количество;
- для защитного заземления оборудования - расположение заземляющего устройства, перечень конструкций его создающих, расположение закладных изделий в колоннах для подсоединения проводников заземления.

В рабочих чертежах архитектурно-строительной части проекта:

При проектировании молниезащиты должна быть дана схема кровли и разрезы здания, на которых показываются расположение молниеприемников, даются ссылки на узлы и детали молниезащиты.

На чертежах со схемами расположения строительных конструкций даются ссылки на узлы и детали, обеспечивающие заземление здания.

В чертежах железобетонных издедий должна быть предусмотрена установка дополнительных закладных изделий, предназначенных для соединения элементов цепи заземления.

Узлы и детали молниезащиты и заземления оборудования разрабатываются с использованием серий типовых конструкций, в которых предусмотрены детали заземляющих устройств; возможна разработка и других узлов и деталей.

При разработке узлов и деталей конструкций определяются и уточняются размеры закладных и соединительных изделий, их расположение, даются обозначения сварных швов.

В рабочих чертежах архитектурно-строительной части проекта даются текстовые указания:

- на плане фундаментов - об использовании фундаментов в качестве заземлителей;

- на опалубочных чертежах железобетонных конструкций - - о тщательном выполнении сварных соединений специальных закладных изделий, обеспечивающих непрерывность электрической цепи;

- на схемах расположения элементов строительных конструкций - об использовании их в качестве токоотводов;

- в разделе антикоррозионной защиты - о защите закладных и соединительных изделий, перемычек и проводников.

2. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ В НЕАГРЕССИВНЫХ И СЛАБОАГРЕССИВНЫХ ГРУНТАХ

2.I. Одиночный железобетонный фундамент

Фундамент рассматривается в виде эквивалентного железобетонного цилиндра, образующая которого равна высоте фундамента, радиус основания цилиндра r равен радиусу окружности, длина которой равна периметру горизонтального сечения фундамента. Сопротивление растеканию одиночного фундамента:

$$R = K \frac{\rho}{2\pi h} \ln \frac{\sqrt{h^2 + r^2} + h}{\sqrt{h^2 + r^2} - h}, \qquad (I)$$

где: ρ – удельное сопротивление земли, Ом.м;
h – высота фундамента, м;
r – эквивалентный радиус основания фундамента, м;
K – коэффициент, учитывающий сопротивление защитного слоя бетона.

В том случае, когда удельное сопротивление бетона $\rho_б$ удовлетворяет соотношению $\rho_б/\rho < 5$, значение $K = I,0$. При $\rho_б/\rho > 5$, $K = I,2$.

2.2. Фундаментное поле

Сопротивление растеканию фундаментного поля, образованного железобетонными фундаментами производственного здания, может быть найдено по формуле [2] :

$$R = C \frac{\rho_э}{\sqrt{S}}, \qquad (2)$$

где C – конструктивный коэффициент;
$\rho_э$ – удельное эквивалентное сопротивление неоднородной земли, приведенной к двухслойной, Ом.м;
S – площадь производственного здания в плане, м^2.

Значение конструктивного коэффициента C зависит от глубины заделки фундаментных болтов или стержней (l), площади зданий в плане (S) и количества фундаментов на этой площадке (N) или строительного модуля (расстояния между фундаментами) (M).

Конструктивные параметры болтов и арматурных стержней, наиболее часто используемых в строительстве [3], приведены в табл.4 .

Таблица 4

Основные параметры	Вид электродов						
	фундаментные (анкерные) болты			арматурные стержни			
Диаметр болта или стержня, мм	20	42	90	20	25	32	40
Глубина заделки болта или стержня в бетон, м	0,5	I,0	I,4	2,5	5,0	I0*	25,0*

Стержень сварен по длине.

Значение коэффициента С для ряда болтов и арматурных стержней (табл. I) с учетом параметра $\sqrt{S}$ приведены в приложении П I (табл. П1-П7).

Для $\ell < 2{,}5$ м С выбирается по табл. П1-П3.

Для $\ell \geqslant 2{,}5$ м С выбирается по табл. П4-П7.

Для приближенных расчетов при $\ell \geqslant 2{,}5$ м можно принять С = 0,5. В этом случае формула (2) имеет вид:

$$R = 0{,}5\,\frac{\rho_э}{\sqrt{S}} \qquad (2)$$

Для других значений диаметров болтов, арматурных стержней и глубины их заделки в бетон следует определять значения С из табл. П1-П7, пользуясь методом линейной интерполяции.

В табл. П1-П5 значения параметров $\sqrt{S}$ приводятся кратными строительному модулю (М-6,I2,I8,24,36 м). За основной расчетный модуль принимаются расстояния между колоннами вдоль одной из внутренних продольных линий установки фундаментов, т.к. вдоль внешней продольной линии фундаменты, как правило, устанавливаются через 6 м для навески стеновых панелей.

Удельное сопротивление земли $\rho_э$ для двухслойного грунта [5] :

$$\rho_э = \rho_1\left(1 - e^{-\alpha\frac{h_1}{\sqrt{S}}}\right) + \rho_2\left(1 - e^{-\beta\frac{\sqrt{S}}{h_1}}\right), \qquad (3)$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом.м;

ρ_2 – удельное электрическое сопротивление подстилающего слоя земли при двухслойной структуре грунта, Ом.м;

h_1 – мощность (толщина) верхнего слоя земли, м;

S – площадь, ограниченная периметром здания, $м^2$;

α, β – безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев грунта;

если $\rho_1 > \rho_2$, то $\beta = 0{,}1$; $\alpha = 3{,}6$;

если $\rho_1 < \rho_2$, то $\beta = 0{,}3 \cdot 10^{-2}$; $\alpha = 1{,}1 \cdot 10^{2}$.

Примеры расчета $\rho_э$ по формуле (3).

Пусть $\rho_1 = 500$ Ом.м; $\rho_2 = 130$ Ом.м; $h_1 = 3{,}7$ м, $\sqrt{S} = 55$ м.

При $\rho_1 > \rho_2$ $\beta = 0{,}1$; $\alpha = 3{,}6$.

$$\rho_э = 500\left(1 - e^{-3{,}6 \cdot \frac{37}{55}}\right) + 130\left(1 - e^{-0{,}1 \cdot \frac{55}{3{,}7}}\right) = 208 \text{ Ом.м.}$$

Пусть $\rho_1 = 100$ Ом.м; $\rho_2 = 900$ Ом.м; $h_1 = 2$ м; $\sqrt{S} = 240$ м;

при $\rho_1 < \rho_2$ $\beta = 0{,}3 \cdot 10^{-2}$; $\alpha = 1{,}1 \cdot 10^{2}$;

$$\rho_э = 100\left(1 - e^{-1{,}1 \cdot 10^{2} \cdot \frac{2}{240}}\right) + 900\left(1 - e^{-0{,}3 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{240}{2}}\right) = 332 \text{ Ом.м}$$

При отсутствии данных измерений электрических сопротивлений грунтов допустимо использовать примерные значения удельных сопротивлений.

Для расчета удельного эквивалентного электрического сопротивления земли ($\rho_э$) можно использовать номограмму (рис.1).

3. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ РАСТЕКАНИЮ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ФУНДАМЕНТОВ В АГРЕССИВНЫХ ГРУНТАХ

Степень агрессивности воздействия на арматуру железобетонных фундаментов неорганических жидких сред оценивается исходя из содержания в грунтовых водах или водных вытяжках из грунтов ионов хлора и сульфат-ионов, которое определяется из материалов

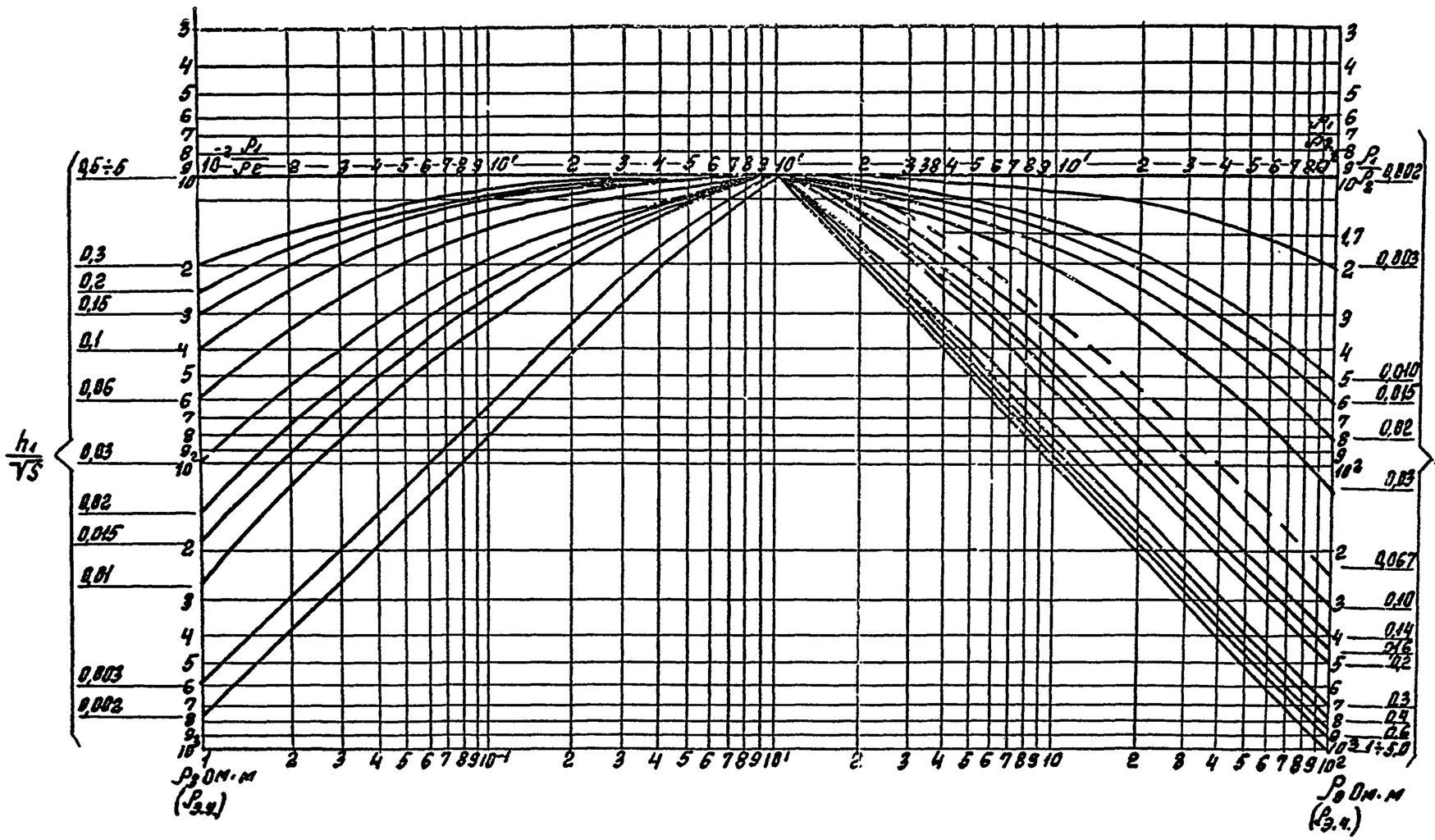

Рис. 1 Зависимость эквивалентного электрического сопротивления двухслойной земли от $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ и $\frac{h_1}{\sqrt{S}}$

ρ_1 - электрическое сопротивление верхнего слоя земли; Ом·м,

ρ_2 - электрическое сопротивление подстилающего слоя земли, Ом·м;

h_1 - толщина верхнего слоя земли, м.

$\sqrt{S}$ - площадь нулевого цикла здания, м

Примечания

1. При заданном условии $10^{-2} < \frac{\rho_1}{\rho_2} < 1{,}0$ и $\rho_1 > 10$ Ом·м для получения правильного ответа необходимо, найденное по номограмме значение ($\rho_{э.у.}$) умножить на отношение $\frac{\rho_1}{10}$ т.е.

$$\rho_э = \rho_{э.у} \frac{\rho_1}{10};$$

2. При заданном условии $1{,}0 < \frac{\rho_1}{\rho_2} < 10^2$ и $\rho_2 > 10$ Ом·м

$$\rho_э = \rho_{э.у.} \frac{\rho_2}{10}$$

Пример: для условий примера №1 из приложения №2 находим

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{500}{130} = 3{,}8; \quad \frac{h_1}{\sqrt{S}} = \frac{3{,}7}{550} = 0{,}067$$

Стрелками показано направление передвижения. Находим $\rho_{э.у.} = 17$ Ом·м

Для правильного ответа необходимо

$$\rho_э = \rho_{э.у.} \frac{\rho_2}{10} = \rho_{э.у.} \frac{130}{10} = 17 \cdot 13 = 221 \text{ Ом·м}$$

предпроектных изысканий.

Для предотвращения процессов коррозии арматуры могут применяться как гидроизоляционные покрытия на поверхности фундаментов, так и изготовление самих фундаментов из бетона повышенной плотности.

Применение этих мер увеличивает сопротивление растеканию железобетонных фундаментов.

3.I. Расчет сопротивления растеканию фундаментов с гидроизоляционным покрытием.

Для фундаментного поля, образованного свайными фундаментами сопротивление растеканию вычисляется по формуле [6]:

$$R = \frac{\rho_э}{2\pi h}\left[\frac{K}{N}\ln\frac{4h}{d} + 1{,}645\left(1-\frac{1}{N}\right)\frac{h}{\sqrt{S}}\right], \qquad (4)$$

где

$$K = 1 + 2\frac{\Delta}{d\ln(4h/d)}\cdot\frac{\rho_и}{\rho_э},$$

N - число свай;

h - глубина погружения сваи, м;

d - размер стороны сваи, м;

S - площадь нулевого цикла, $м^2$;

$\rho_и$ - удельное электрическое сопротивление защитного покрытия фундамента, Ом.м;

$\rho_э$ - удельное сопротивление земли, определяющее сопротивление растеканию фундаментного поля при отсутствии защитных изолирующих покрытий на фундаментах, Ом.м;

Δ - толщина защитного изолирующего покрытия на фундаментах, м.

Значение электрического сопротивления основных видов гидроизоляционных покрытий, применяемых в строительстве приведены в табл.

Таблица 5

Электрические сопротивления основных видов гидроизоляционных покрытий

Вид защитного покрытия по СНиП П-28-73	Электрическое сопротивление покрытия, Ом.м^2	Вариант антикоррозионной защиты поверхности	Толщина или к-во слоев	Среда
Битумное	10^2	I-й	3 мм	Слабоагрессивная
Битумное	10^3	I-й	6 мм	-"-
Битумно-латексное		2-й	3 мм	-"-
Оклеечное с битумным рулонным материалом		2-й	4 мм	Среднеагрессивная
Битумно-латексное	10^4	2-й	6 мм	Слабоагрессивная
Оклеечное с химически стойким пленочным материалом	5.10^4	3-й	Два-три слоя	Сильноагрессивная
Битумно-этиноловое	10^5	3-й	Три-четыре слоя	Среднеагрессивная
Эпоксидное, каменноугольное эпоксидное		I-й		Сильноагрессивная
Битумно-эпоксидное			Три-четыре слоя	
Оклеечное, усиленное рулонными материалами с защитной стенкой	10^6	I-й	7,5 мм	Сильноагрессивная

Для поля, образованного фундаментами произвольной формы, формула (4) имеет вид:

$$R = \frac{\rho_э}{2\pi r}\left[\frac{K}{N} + 1{,}645\left(1 - \frac{1}{N}\right)\frac{r}{\sqrt{S}}\right], \qquad (5)$$

где r – эквивалентный радиус основания фундамента, м (см. п. 2.I);

$$K = 1 + \frac{\rho_и}{\rho_э} \cdot \frac{\Delta}{r} \quad . \qquad (6)$$

Пример расчета сопротивления растеканию приведен в разделе 4.2.

3.2. Расчет сопротивления растеканию фундаментов при использовании бетонов высокой плотности.

При использовании бетонов различной плотности, как варианта гидроизоляционной защиты, в случае

$$\rho_б / \rho_э > 5$$

принимается коэффициент увеличения сопротивления растеканию, равный I,2 (см. п. 2.I).

Зависимость удельного сопротивления бетона от марки по водонепроницаемости (водопоглощению) приведена на рис. 2.

Сопротивление растеканию железобетонных фундаментов рассчитывается по формулам (I) и (2).

4. КРИТЕРИЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ И ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ ПРОВОДНИКОВ

4.I. Допустимые плотности тока

При определении возможности использования железобетонных фундаментов в качестве заземлителей должна быть выполнена проверка на соответствие требованиям основного критерия – допустимой плотности тока, стекающего с арматуры*. Такая проверка должна быть выполнена для любой среды, в которой предполагается использование железобетонных фундаментов в качестве заземлителей.

Для наиболее распространенных фундаментов из бетона марки 300 с толщиной защитного слоя 30–35 мм и удельным сопротивлением не выше I000 Ом.м плотность тока утечки с арматуры железобетонных фундаментов не должна превышать допустимых значений, указанных в табл. 6 [I5] .

---

* Плотность тока рассчитывается на поверхность, равную половине поверхности вертикальных стержней арматуры, расположенных по внешней части арматурной сетки.

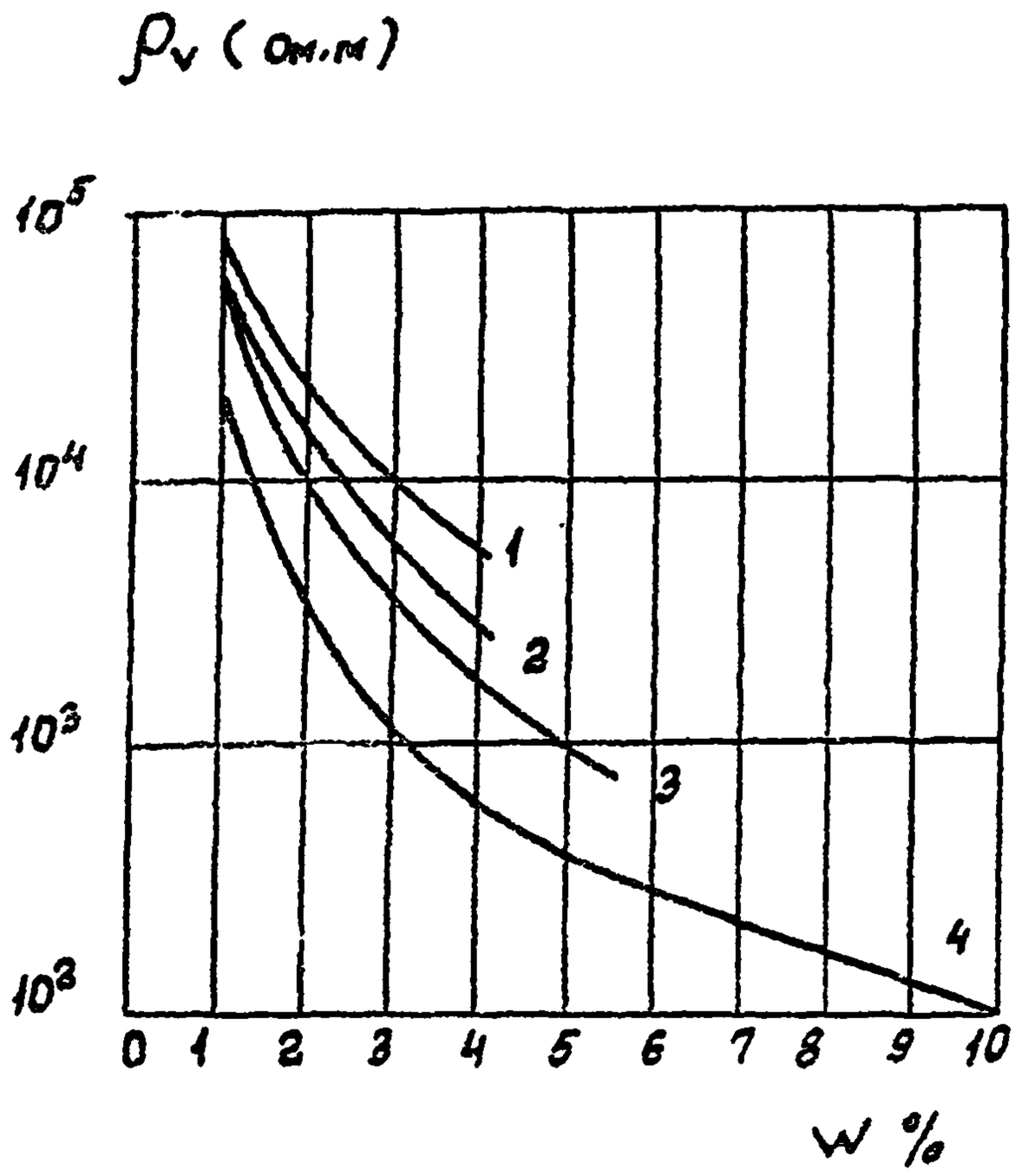

Рис.2 Удельное объемное электросопротивление бетона

1- бетон с водопоглощением менее 4,2% (по массе), марка по водонепроницаемости В8; 2- бетон с водопоглощением 4,7-4,3%, марка по водонепроницаемости В6; 3- бетон с водопоглощением 5,7-4,8%, марка по водонепроницаемости В4; 4- бетон с водопоглощением более 5,8, марка по водонепроницаемости не нормируется. Электросопротивление бетонов с добавками определяется измерением на образцах

Таблица 6

Вид тока	Допустимая плотность тока*, А/м^2
Промышленные частоты при длительном воздействии	1,0
Кратковременный (до 3 с) промышленной частоты	$1{,}0 \cdot 10^3$
Ток молний	$30 \cdot 10^3$

При использовании железобетонных фундаментов в заземляющих устройствах в агрессивных грунтах, значения плотностей тока, стекающего с арматуры, не должны превышать значений, указанных в табл. 6 [7].

Таблица 7

Вид тока	Наличие хлор-ионов в грунтовых водах или водных вытяжках из грунтов, г/л	Допустимые плотности тока утечки с арматуры, А/м^2
Переменный, промышленной частоты	$\leq 0{,}5$	100 при значительном увлажнении бетона; при слабом увлажнении бетона оценка производится по показателям, учитывающим тепловое воздействие тока
	$> 0{,}5$	1,0

4.2. Методика расчета плотности тока, стекающего с арматуры железобетонных фундаментов зданий и сооружений

Максимально возможное значение плотности тока определяется соотношением

$$j = \frac{I_{i\,max}}{n\,S_{Ai}}, \qquad (7)$$

* Плотность тока рассчитывается на поверхность, равную половине поверхности вертикальных стержней арматуры, расположенных по внешней части арматурной сетки.

где $I_{i max}$ – максимальное значение тока, стекающего с i-го фундамента, А;

S_{Ai} – площадь вертикальных арматурных стержней, расположенных по внешней части арматурной сетки, $м^2$;

n – коэффициент, учитывающий, что стекание электрического тока происходит не со всей площади арматурных стержней, расположенных по внешней части арматурной сетки ($n = 0,5$).

Максимально возможное значение тока, стекающего с i-го фундамента, определяется по формуле:

$$I_{imax} = \frac{\varphi_з}{R N} , \qquad (8)$$

где $\varphi_з$ – потенциал заземления, В;

R – сопротивление растеканию фундаментов зданий, Ом;

N – число единичных фундаментов.

Потенциал заземлителя $\varphi_з$ можно определить по формуле:

$$\varphi_з = \frac{U_{пр}}{\alpha} , \qquad (9)$$

где $U_{пр}$ – напряжение прикосновения, В;

α – коэффициент прикосновения;

$$U_{пр} = [U_т] + 1,5[I_т]\rho_1 , \qquad (10)$$

где $[U_т]$ – предельно допустимое напряжение на тело человека при нормальной эксплуатации электроустановок;

$([U_т] = 2 В)$ [8];

$[I_т]$ – предельно допустимый ток, протекающий через тело человека при нормальной эксплуатации электроустановок;

$([I_т] = 0,3 \cdot 10^{-3} А)$ [8];

ρ_1 – удельное электрическое сопротивление поверхностного слоя земли, Ом.м.

Для минимального (по условиям электробезопасности) значения коэффициента прикосновения (α=0,I) составлена табл.8 зависимости потенциала на заземлителе от удельного сопротивления верхнего слоя грунта.

Таблица 8

$\rho_{\text{гр}}$, Ом.м	I0	I00	500	I000	$I0^4$	$I0^5$	$I0^6$	$I0^7$
φ_3, В	20	20	2I,5	24,5	65	470	$4,5.I0^3$	$4,5.I0^4$

Сопротивление растекания R фундаментов здания вычисляется по формулам (2) или (4) и (5).

Площади поверхности арматуры S_{Ai}, с которой происходит стекание электрического тока:

$$S_{Ai} = \pi b d_a l_a , \qquad (II)$$

где b – количество арматурных стержней, расположенных на внешней части арматурной сетки;
d_a – диаметр арматурного стержня, м;
l_a – длина стержня, м.

Примечание:

В методике определяется максимально возможная плотность тока исходя из наибольших значений напряжения прикосновения. Для определения действительных плотностей тока, стекающих с поверхности арматуры, необходимо измерить напряжение прикосновения согласно методике, изложенной в Приложении 2.

4.3. Основной критерий

Возможность использования железобетонных фундаментов в качестве заземлителей определяется сравнением максимального значения плотности тока j, стекающего с арматуры (7), с допустимым значением тока $[j]$ (разд. 4.I).

Если выполняется условие

$$j < [j] , \qquad (I2)$$

то использование железобетонных фундаментов в качестве естественных заземлителей допускается.

Пример расчета плотности тока, стекающего с арматуры фундаментов, и применения основного критерия.

Дано свайное поле со следующими параметрами:

$\sqrt{S}$ = I00 м, N = 68 м, h = I8, d = Iм, $\rho_э = \rho_1$ = I000 м;

среда – среднеагрессивная, d_a = 0,03, b = 20;

покрытие – оклеечное с битумным рулонным материалом;

$\Delta = 4.10^{-3}$м, $R_и = 10^3$ Ом.м^2.

Определяем сопротивление растеканию фундамента по формуле (4):

$$K = 1 + 1,871.10^{-3} \frac{25 \cdot 10^5}{10^2} = 5,677.$$

Подставляя найденное значение К в формулу (4), получим:

$$R = \frac{100}{27.18} \cdot \frac{5,677}{68} \cdot \frac{4,18}{1} + 1,645 \left(1 - \frac{1}{68}\right) \frac{18}{100} =$$

$= 0,574$ Ом.

Максимальное значение тока, стекающего с арматуры, с учетом выполнения требований электробезопасности определяется из соотношения (8) и табл.8 :

$$I_{max} = \frac{20}{0,574 \cdot 68} = 0,512 \text{ А}.$$

Вычислим площадь поверхности арматуры, с которой происходит стекание электрического тока, по формуле (11):

$$S_{Al} = \pi \cdot 20 \cdot 0,03 \cdot 18 = 33,93 \text{ м}^2.$$

Плотность электрического тока, стекающего с арматуры, из (7)

$$j = \frac{0,5}{0,5 \times 34} = 0,0312 \text{ А/м}^2.$$

Вывод – использование фундамента, параметры которого приведены выше в качестве естественного заземлителя, допустимо, т.к.

$[j] = 1,0$ А/м^2, $j = 0,03$ А/м^2,

и соотношение выполняется.

4.4. Способы и рекомендации по снижению плотности тока

Снижение плотности тока, стекающего с арматуры фундаментов, до допустимой величины осуществляется с помощью технических решений.

Прежде всего это соединение металлических частей зданий (арматура железобетонных конструкций, металлические конструкции)

таким образом, чтобы они образовывали непрерывную электрическую цепь по металлу.

Другим возможным техническим решением является отделение анкерных болтов от арматурных стержней железобетонного фундамента прослойкой бетона определенной толщины (рис.3) [9] .

Толщина прослойки рассчитывается по формуле:

$$\delta = 0{,}1 \frac{n_1 d_1 l_1}{n_2 d_2 l_{заз}} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_б} \qquad (13)$$

где n_1 – число металлических электродов (анкерных болтов);

n_2 – число стержней арматурного каркаса;

$\rho_1, \rho_б$ – удельные электрические сопротивления земли и бетона соответственно, Ом.м;

d_1, l_1 – диаметр и длина металлических электродов, м;

d_2 – диаметр стержней арматурного каркаса, м;

$l_{заз}$ – общая длина заземлителя, м;

Δ – толщина защитного слоя бетона, м.

Сопротивление, вносимое прослойкой бетона между анкерными болтами и арматурными стержнями, снижает значение тока, проходящего по колонне, используемой в данном случае как заземляющий проводник и, как следствие, снижает значение плотности тока, стекающего с арматурных стержней в бетон, до допустимой величины.

4.5. Использование напрягаемой арматуры

При выполнении условия (12) допускается использовать в цепях заземления все металлические конструкции, железобетонные конструкции с ненапрягаемой арматурой, а также колонны, сваи, стропильные и подстропильные балки, ригели, плиты покрытия, где применена напрягаемая арматура.

Исключением являются железобетонные конструкции с напрягаемой арматурой (проволочной и прядевой (канатной)), железобетонные конструкции с напрягаемой проволочной арматурой диаметром менее 12 мм, а также плиты перекрытия, подкрановые балки, стропильные и подстропильные фермы с напрягаемой арматурой.

4.6. Конструктивное выполнение фундаментов

Изложено в книге 2.

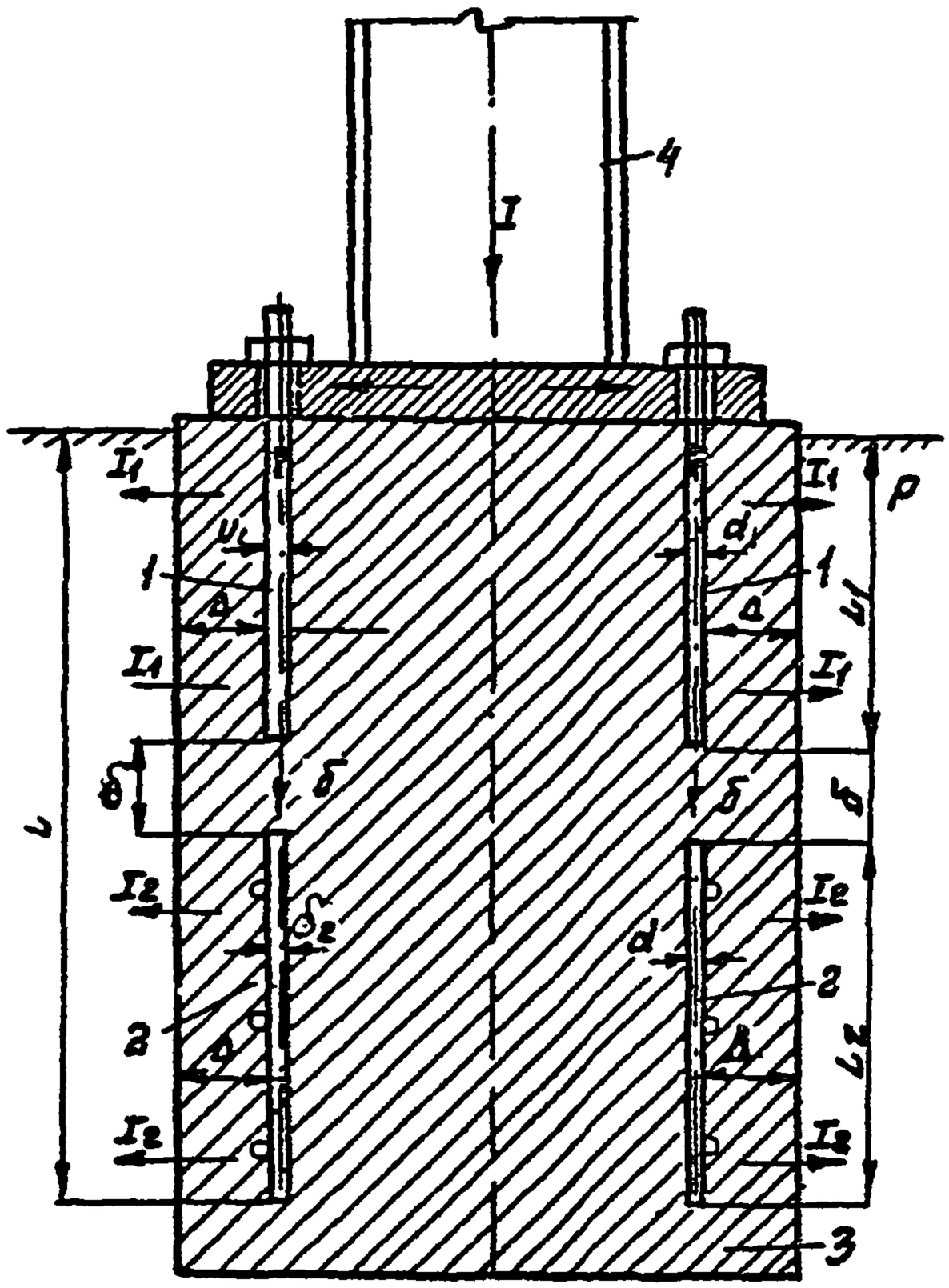

Рис. 3 Железобетонный фундамент с разрывом между анкерным болтом и арматурным стержнем

1 – металлические электроды (анкерные болты);
2 – арматурный каркас;
3 – проводящая структура;
4 – колонна.

5. РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРОТЯЖЕННЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Использование железобетонных фундаментов зданий в качестве заземлителей является мощным средством для отказа от сооружения искусственных заземлителей.

Однако не всегда сопротивление растеканию фундаментов отдельного здания может удовлетворять требуемым нормированным значениям (например, если площадь нулевого цикла здания мала).

Наряду с железобетонными фундаментами промышленных зданий в качестве заземляющих устройств могут успешно использоваться другие типы сооружений и элементов конструкций, к которым относятся эстакады промышленных предприятий, металлические трубопроводы, металлические оболочки кабелей. Указанные типы относятся к числу т.н. протяженных естественных заземляющих устройств, характерной особенностью которых является то, что один размер конструкции (длина) значительно превышает размеры двух других измерений. Эта особенность определяет выбор математического аппарата для расчета параметров указанных заземляющих устройств - теория длинных линий. Основным параметром протяженных заземляющих устройств, определяющим их заземляющие свойства, является входное сопротивление $Z_{вх}$, которое определяется в п. I-7-26 ПУЭ-85 как "сопротивление заземляющего устройства".

5.I. Расчет входного сопротивления эстакады *

Входное сопротивление $Z_{вх}$ эстакады, использующейся в качестве заземляющего устройства, определяется по формуле [I0]:

$$Z_{вх} = Z_в \, cth \gamma L , \qquad (I4)$$

где $Z_в$ - волновое сопротивление эстакады, Ом;
γ - постоянная распространения, км$^{-1}$;
L - длина эстакады, км.

Значения $Z_в$ и γ определяются по формулам:

---

* Под "эстакадой" в дальнейшем имеются в виду все типы эстакад (технологические, кабельные и совмещенные), а также кабельные галереи.

$$Z_B = \sqrt{Z_0 \cdot R_{пер}} \; ; \qquad (I5)$$

$$\gamma = \sqrt{Z_0 / R_{пер}} \; , \qquad (I6)$$

где Z_0 – полное продольное сопротивление эстакады, Ом/км;
$R_{пер}$ – переходное сопротивление, Ом.км.

Переходное сопротивление $R_{пер}$, Ом.км, для условий неагрессивной и слабоагрессивной сред может быть определено по формуле [II] :

$$R_{пер} = (R_0 a + 1{,}5\,\rho_э) \cdot 10^{-3} \; , \qquad (I7)$$

где R_0 – сопротивление одиночного фундамента опоры эстакады, Ом, вычисляемое по формуле (I);
$\rho_э$ – эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли, Ом.м;

$$\rho_э = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha_1 \frac{h}{L}}\right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta_1 \frac{L}{h}}\right), \qquad (I8)$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом.м;
ρ_2 – удельное электрическое сопротивление подстилающего слоя земли, Ом.м;
h_1 – толщина (мощность) верхнего слоя земли, м;
L – длина эстакады, км;
α_1, β_1 – безразмерные коэффициенты;

при $\rho_1 > \rho_2$ $\quad \alpha_1 = 6{,}2$; $\quad \beta_1 = 5{,}7 \cdot 10^{-2}$;
при $\rho_1 < \rho_2$ $\quad \alpha_1 = 3{,}5 \cdot 10^{2}$; $\quad \beta_1 = 0{,}1 \cdot 10^{2}$.

В случае, когда на поверхность фундамента опоры эстакады нанесена гидроизоляция, формула для определения переходного сопротивления имеет вид:

$$R_{пер} = \left(\frac{\rho_э}{2\pi h} \ln \frac{4h}{d} + \frac{\rho_и}{2\pi h} 2\frac{\Delta}{d}\right) a + 1{,}5\rho_э \qquad (19)$$

в случае, когда эстакада имеет свайный фундамент.

и $$R_{пер} = \left(\frac{\rho_и \Delta}{2\pi r^2} + \frac{\rho_э}{2\pi r}\right) a + 1{,}5\rho_э \qquad (20)$$

для фундамента эстакады произвольной формы.

Продольное сопротивление Z_0 зависит от вида эстакады и от количества стальных трубопроводов, проложенных в ней.

Значения продольного сопротивления приводятся в табл.9.

Таблица 9

Вид эстакады	Z_0, Ом/км
Технологическая, по которой проложены I и 2 стальные трубы	I,500
Технологическая, по которой проложены 3 и 4 стальные трубы	
Кабельная	0,75
Технологическая, по которой проложено 5 труб и более	
Кабельная галерея	0,50

Зависимости $Z_{вх}$ (L, $R_{пер}$) для различных значений приведены на рис. 4-6.

Пример расчета входного сопротивления эстакады.

Исходные данные: конвейерная галерея КАТЭК, разрез Березовский, I-й участок, галерея между станциями перегрузок I и 2.

L = 3,65 км – длина эстакады;
a = 24 м – расстояние между опорами;
h = 26 м – глубина заложения фундамента;
D = 2,6 м – наибольший горизонтальный размер фундамента.

<u>Расчет:</u>

I. Определяется $\rho_э$ исходя из структуры земли и справочных данных об удельном электрическом сопротивлении каждого

Приложение

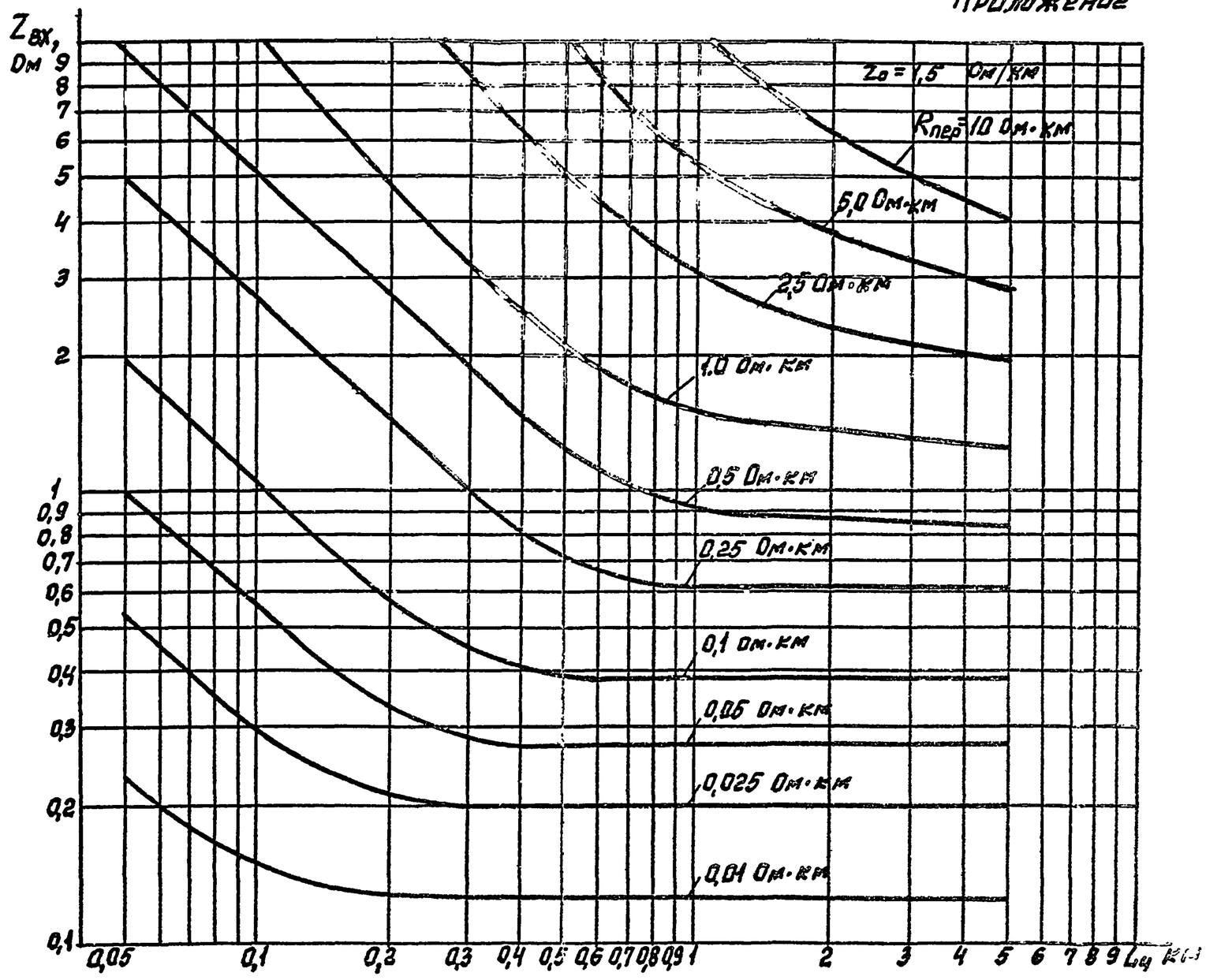

Рис. 4 Входное сопротивление технологической эстакады, по которой проложено не более 2 стальных труб.

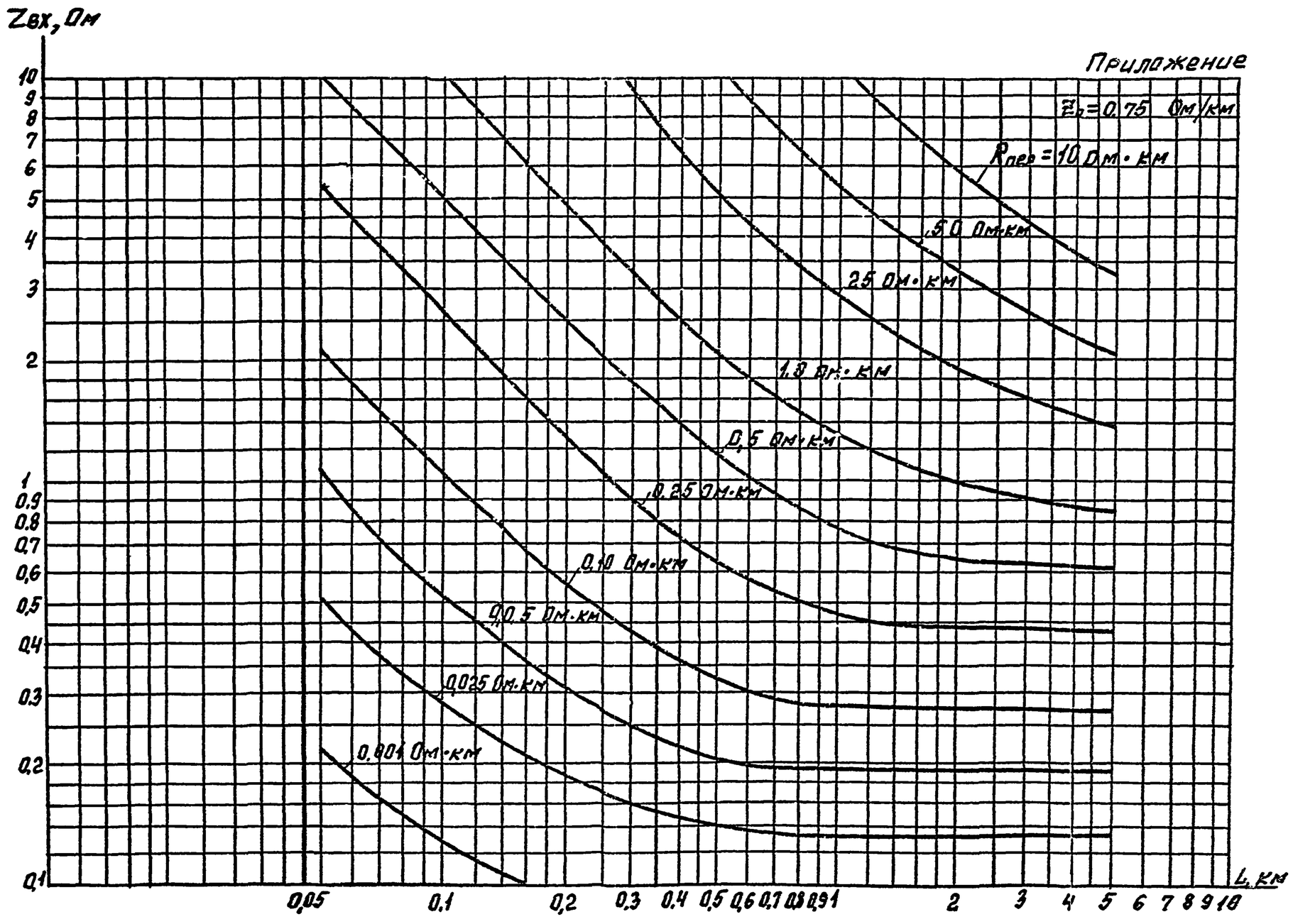

Рис. 5 Входное сопротивление технологической эстакады при числе стальных труб 3 и 4; Входное сопротивление кабельной эстакады

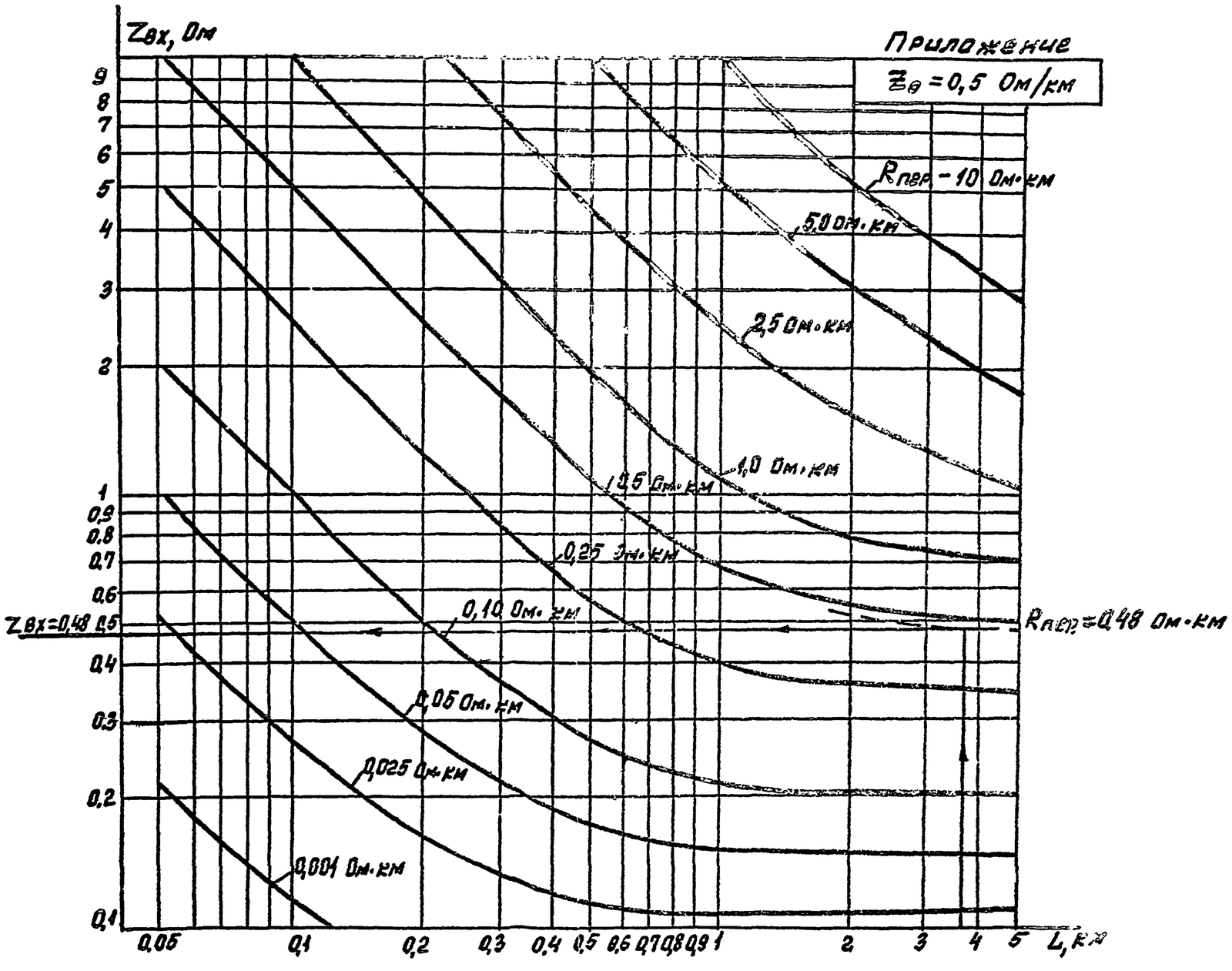

Рис.6 Входное сопротивление технологической установки при числе стальных труб 5 и более; входное сопротивление галереи

слоя земли или из экспериментальных данных. Можно также воспользоваться формулой (I5). По этим данным принимаем $\rho_э =$ I00 Ом.м.

2. Определяется R_0 по формуле (I).

Поперечное сечение фундамента считаем квадратом. Находим значение r :

$$2\pi r = \frac{4D}{\sqrt{2}}; \qquad r = \frac{\sqrt{2}D}{\pi} = 1{,}17 \text{ м};$$

$$R_0 = \frac{\rho_э}{2\pi h} \ln \frac{\sqrt{h^2+r^2}+h}{\sqrt{h^2+r^2}-h} = 12{,}7 \text{ Ом}.$$

3. Определяется $R_{пер}$ по формуле (I7):

$$R_{пер} = (12{,}7 \cdot 24 + 1{,}5 \cdot 100) \cdot 10^{-3} = 0{,}45 \text{ Ом·км}.$$

4. Входное сопротивление $Z_{вх}$ определяется следующим образом. В зависимости от количества труб (по Z_0) выбирается семейство кривых. Для конвейерной галереи продольное сопротивление принимается равным $Z_0 = 0{,}5$ Ом/км как у эстакады с количеством труб больше 5 (рис. 6). На оси L откладывается длина эстакады в километрах. Дальнейшее решение показано стрелками на рис. 6.

На оси $Z_{вх}$ считывается искомое входное сопротивление. Для рассматриваемого случая $Z_{вх} = 0{,}48$ Ом.

5.2. Условия применения эстакад в качестве заземляющих устройств

Эстакады в качестве заземляющих устройств могут быть использованы во всех климатических районах СССР, исключая зоны многолетнемерзлых грунтов.

5.2.I. Эстакады всех назначений (технологические, кабельные, совмещенные) выполненные из металлических конструкций могут быть использованы для защитного заземления, молниезащиты и защиты от статического электричества без дополнительных изменений в конструкциях эстакад.

5.2.2. В эстакадах, выполненных из железобетонных конструкций, для целей защиты от статического электричества и молниезащиты должно быть предусмотрено металлическое соединение армату-

ры траверс, балок, опор и фундаментов в следующих местах:

на группах опор в начале и в конце эстакад всех назначений;

на группах опор, предназначенных для отвода тока молнии в технологических эстакадах;

на всех опорах кабельных эстакад, не попадающих в зону молниезащиты соседних объектов и устанавливаемых без солнцезащитных козырьков;

на группах опор и местах использования эстакады в качестве заземлителей для защиты от статического электричества.

В эстакадах, выполненных из железобетонных конструкций и используемых для защитного заземления, также должно быть предусмотрено металлическое соединение арматуры группы опор с арматурой траверс и балок; металлическое соединение арматуры опор и фундаментов не является обязательным; значение переходного сопротивления, определяемое в соответствии с (17), должно быть увеличено в 2 раза.

Расчет количества железобетонных опор в группах, где должны быть выполнены металлические соединения арматуры опор с арматурой траверс и балок, приведен в Приложении 3.

5.2.3. Заземление электроустановок осуществляется путем присоединения их к ближайшим конструкциям металлических эстакад или (в случае выполнения эстакад из сборного железобетона) к закладному элементу ближайшей железобетонной балки, траверсы или опоры.

В месте присоединения закладной элемент должен иметь металлическую связь с арматурой балки, траверсы или опоры, входящей в группу, где выполнены металлические соединения арматуры опор с арматурой траверс и балок в соответствии с п. 5.2.

Заземление электромонтажных конструкций в кабельных и совмещенных эстакадах, выполненных из сборного железобетона, осуществляется путем соединения всех электромонтажных конструкций металлическим проводником с последующей его приваркой к закладному элементу конструкции, имеющему металлическую связь с арматурой балок, траверс и опор, входящих в группу в соответствии с п. 5.2.

В месте присоединения закладной элемент должен иметь металлическую связь с арматурой балки, траверсы или опоры, входя-

щей в группу, где выполнены металлические соединения арматуры опор с арматурой траверс и балок в соответствии с п. 5.2.

5.3. Совместное использование железобетонных фундаментов зданий и протяженных конструкций в качестве заземляющих устройств

Случай совместного использования железобетонных фундаментов зданий и протяженных заземлителей в качестве общего заземляющего устройства показан на рис. 7.

I. Здание имеет сопротивление растеканию R_1 .

2. Здание имеет сопротивление растеканию R .

Входное сопротивление протяженного заземлителя в точке А равно $Z_{вх}$.

В этом случае общее сопротивление растеканию $R_{общ}$ для заземления электроустановки, находящейся в I-м здании, определяется по формуле:

$$R_{общ} = \frac{R_1 Z_{вх}}{R_1 + Z_{вх}} , \qquad (2I)$$

где $Z_{вх}$ вычисляется из соотношения (I2):

$$Z_{вх} = \frac{Z_в \, sh\gamma l + R_2 ch\gamma l}{ch\gamma l + (R_2/Z_в) sh\gamma l} ; \qquad (22)$$

$$Z_{вх} = Z_в \frac{1 + (R_2/Z_в) th\gamma l}{th\gamma l + R_2/Z_в} . \qquad (22')$$

В формулах (22) и (22′) величины $Z_в$, γ и l являются параметрами протяженного заземлителя. Сопротивление R_2 является нагрузкой для схемы замещения протяженного заземлителя.

В случае отсутствия 2-го здания, линия считается разомкнутой, $R_2 = \infty$, и соотношение (22′) переходит в (I4).

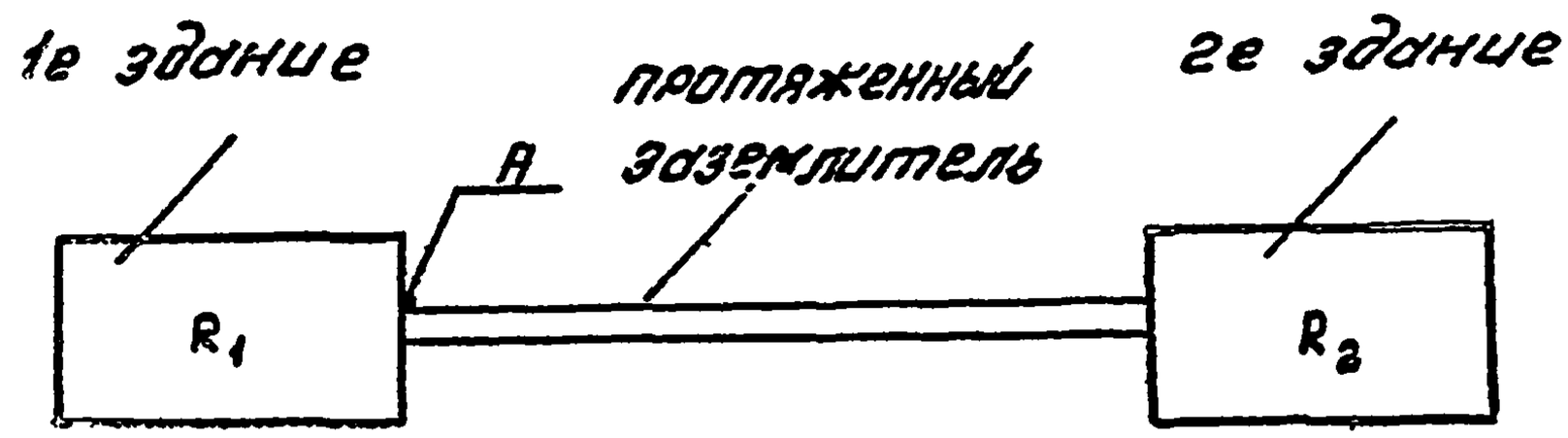

Рис 7 Общий случой объединения естественных заземляющих устройств

Примечание:

Учет сопротивления растеканию R_2 второго здания имеет смысл производить в случае, если длина протяженного заземлителя l удовлетворяет соотношению

$$l < 3/\gamma \qquad (23)$$

6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.I. Выравнивание потенциалов

Арматура железобетонных фундаментов выполняет, кроме прочих, также функции проводников, выравнивающих потенциал.

Условие, при котором не требуется прокладка искусственных выравнивающих проводников вокруг здания, в котором размещена электроустановка выше I кВ с эффективно заземленной нейтралью, в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения заземляемых нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов, имеет вид [II] :

$$I_{к.з.} < (5{,}4 + 7.10^{-3}\,\rho_1)\frac{\sqrt{S}}{\rho_э}\ , \qquad (24)$$

где $I_{к.з.}$ – ток однофазного короткого замыкания, стекающий в землю с фундаментов здания, кА;

ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом.м;

$\rho_э$ – удельное эквивалентное электрическое сопротивление земли, Ом.м;

S – площадь, ограниченная периметром здания, $м^2$.

При соблюдении указанного условия выполняются требования ГОСТ I2.I.038-82 о предельно допустимых уровнях напряжения прикосновения и токов, протекающих через тело человека, при продолжительности воздействия тока не более $t = 0{,}2$ с.

При совместном использовании железобетонных фундаментов здания и эстакады в качестве заземлителя электроустановок напряжением выше I000 В с эффективно заземленной нейтралью условие (24) записывается в виде:

$$I_{кр} \leqslant (5{,}4 + 7\cdot 10^{-3}\rho_1)\frac{\sqrt{S}}{\rho_э}\ , \qquad (24)$$

где $I_{кф}$ – расчетный ток, стекающий в землю с фундаментов здания при однофазном коротком замыкании, кА.

Значение тока $I_{кф}$ определяется по формуле

$$I_{кф} = I_{к.з.} \frac{Z_{вх}}{R_{ф} + |Z_{вх}|}, \qquad (25)$$

где $I_{к.з.}$ – ток, стекающий в землю при однофазном коротком замыкании в электроустановке напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью, кА;

$Z_{вх}$ – входное сопротивление протяженного заземляющего устройства, Ом;

$R_{ф}$ – сопротивление растеканию фундаментов здания, Ом.

6.2. Использование строительных конструкций производственных зданий в качестве единого комплексного заземляющего устройства

Заземляющее устройство, образованное строительным каркасом здания и его железобетонными фундаментами, рекомендуется использовать для защиты от прямых ударов молнии (кроме зданий первой категории по молниезащите), защитного заземления электрооборудования, для защиты от электростатической индукции и вторичных проявлений молний. При этом естественные контакты, образованные сварными и болтовыми соединениями строительных конструкций, являются достаточными для образования токопроводов, магистрали заземления и выравнивания потенциалов.

6.3. Применение искусственных заземляющих устройств

При известном допустимом (нормированном) сопротивлении растеканию заземляющего устройства и известном сопротивлении естественного заземлителя требуемое (дополнительное) сопротивление растеканию искусственных заземлителей, без учета сопротивления линий (или полос) связи и взаимного влияния этих заземлителей, может быть получено по формуле:

$$R_{и} = \frac{R_{е} \cdot R_{н}}{|R_{е} - R_{н}|}, \qquad (26)$$

где $R_{и}$ – сопротивление искусственного заземлителя, необходимое для достижения нормированной величины, Ом;

$R_н$ – нормированное сопротивление заземляющего устройства, Ом;

R_e – сопротивление естественного заземлителя, Ом.

6.4. Определение максимального расстояния между электроустановкой и заземлителем

При расположении электроустановки, например трансформаторной подстанции (ТП), на некотором расстоянии (L) от производственного здания, железобетонные фундаменты этого здания могут быть использованы для заземления ТП. С этой целью вокруг трансформатора выполняется контур заземления из полосы, например 40 х 4, этот контур соединяется с помощью двух полос (40х4) с фундаментами зданий. При известном сопротивлении растеканию здания (Z_2) и известном расстоянии (L) до контура ТП можно вычислить входное сопротивление системы ($Z_{вх}$): контур ТП – связывающие полосы – заземляющее устройство здания. Для различных удельных электрических сопротивлений земли значения $Z_{вх}$ приведены на рис. 8 – 10.

При известном Z_2 и $Z_{вх}$ = С 5 Ом величина L может быть найдена из рис. II.

Для произвольной конструкции входное сопротивление системы (сопротивление растеканию системы с учетом собственного сопротивления заземлителя) может быть определено по формуле:

$$Z_{вх} = Z_в \frac{Z_2 + Z_в \operatorname{th} \gamma L}{Z_2 \operatorname{th} \gamma L + Z_в} \qquad (27)$$

где $Z_в = \sqrt{Z_{ij} Z_{пер}}$ – волновое сопротивление схемы, Ом/км;

Z_2 – входное сопротивление заземляющего устройства (железобетонный фундамент здания), Ом:

$\gamma = \sqrt{Z_{ij} / Z_{пер}}$ – коэффициент распространения тока в схеме, км$^{-1}$;

L – длина горизонтальных проводников, км;

$Z_{пер}$ – переходное сопротивление горизонтальных проводников (поперечное), Ом.км;

Z_{ij} – сопротивление переменному току двух горизонтальных проводников, Ом/км.

Переходное сопротивление $Z_{пер}$, Ом.км, может быть определено по формуле [13] :

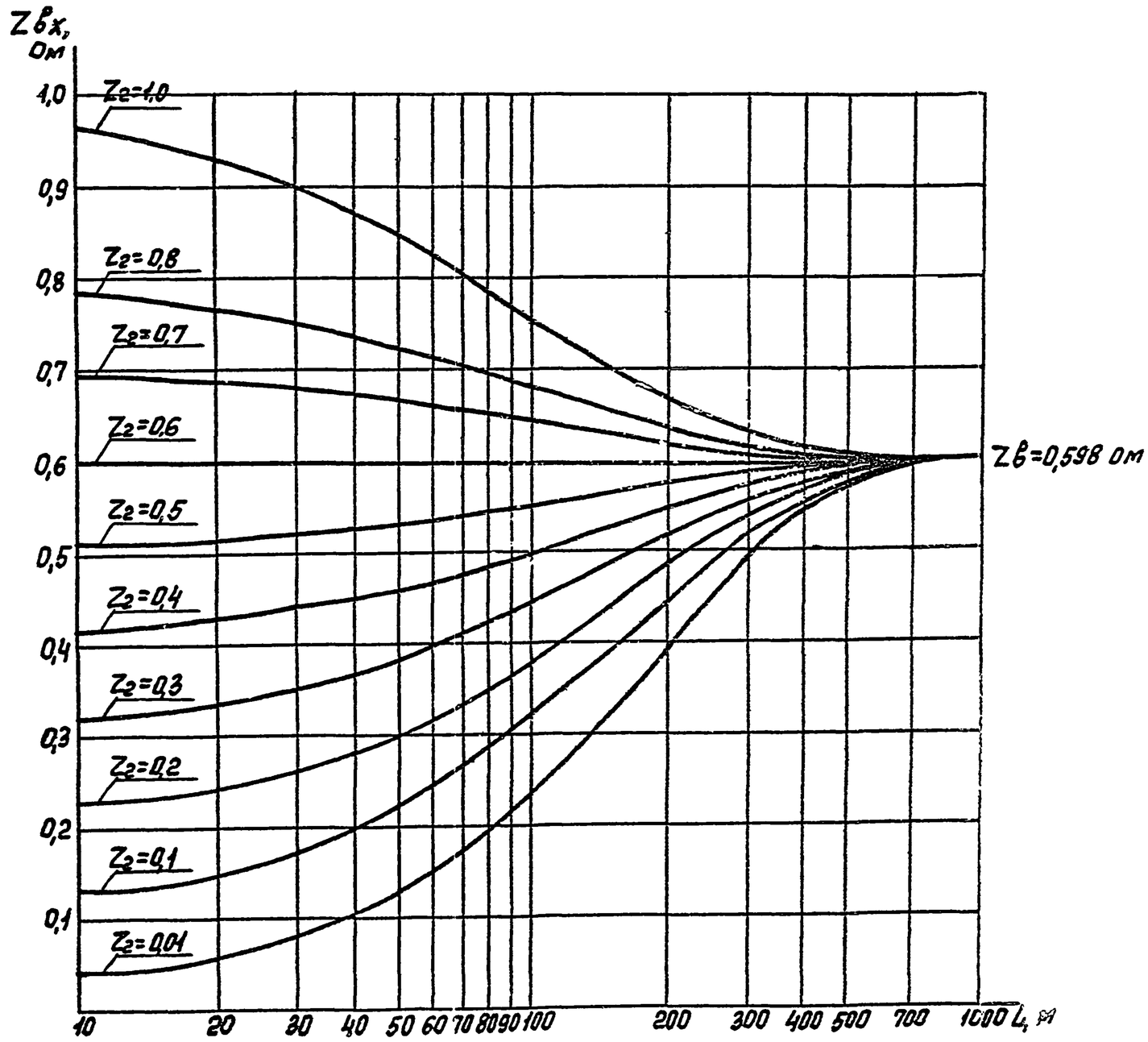

Рис. 8

Значения $Z_{вх}=f(L, Z_2)$ для земли с $\rho=50$ Ом·м

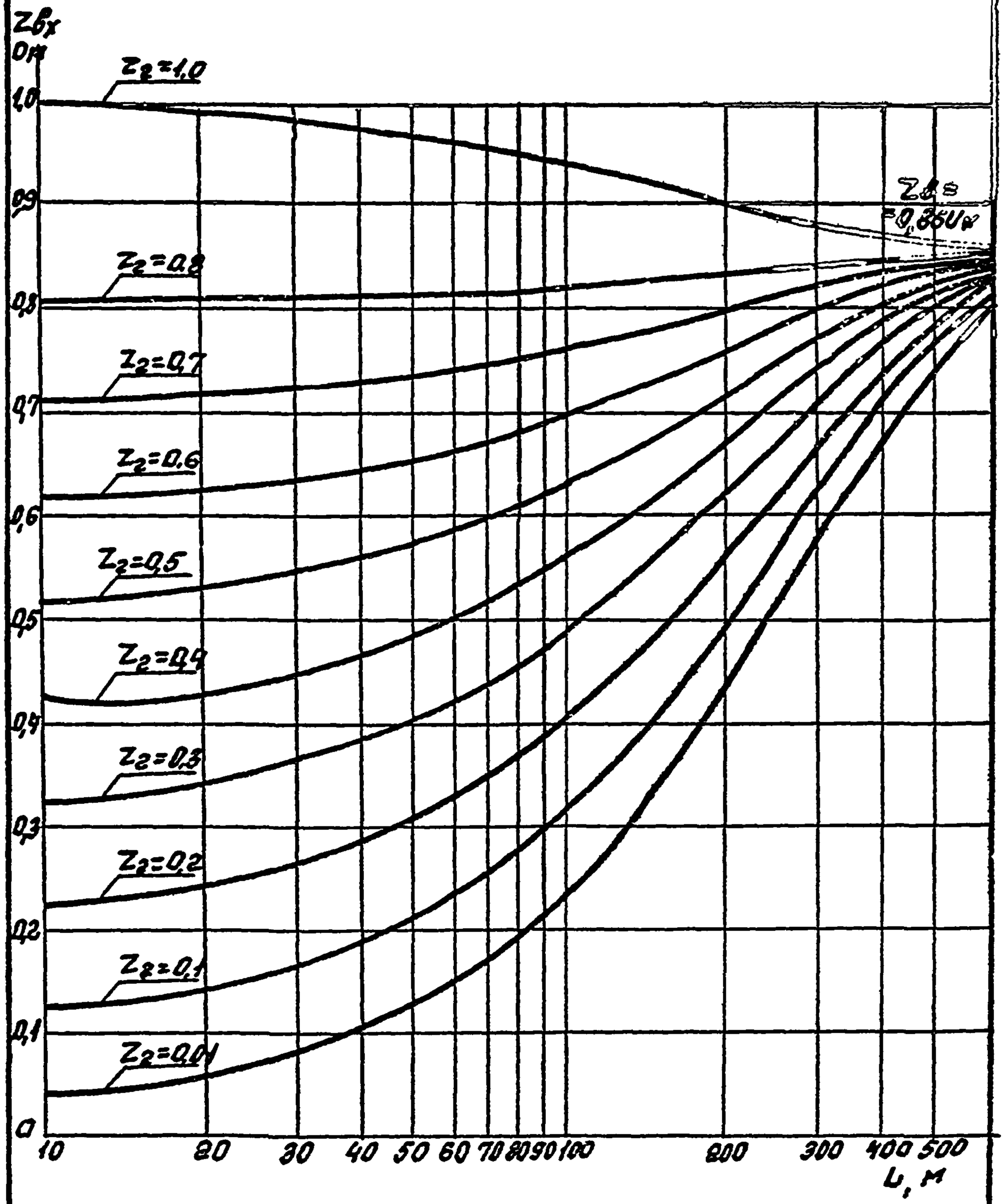

Рис 9. Значения $Z_{вх} = f(L, Z_2)$ для земли с удельным сопротивлением $\rho = 100$ Ом·м

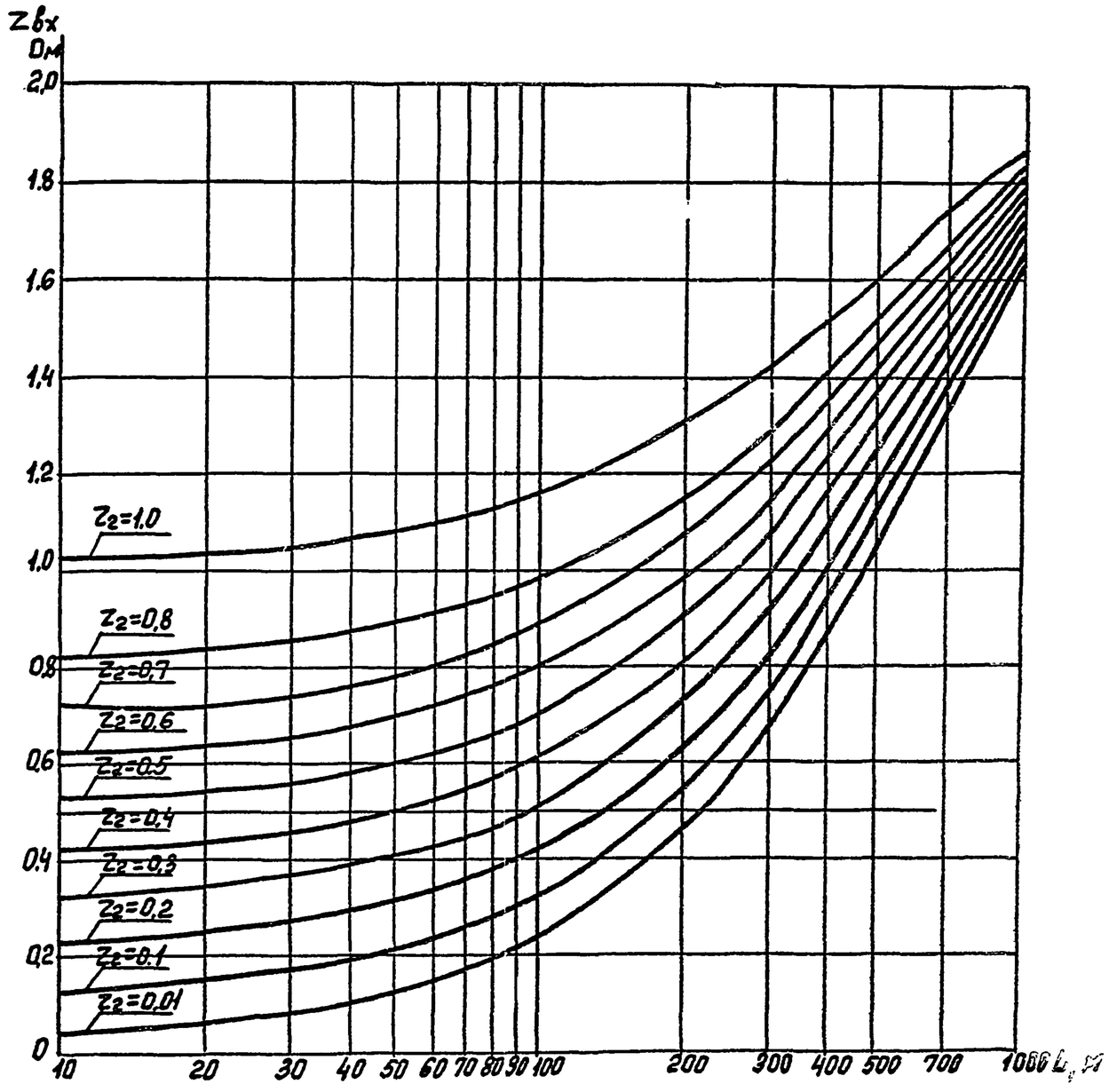

Рис. 10
Значения $Z_{вх} = f(L, Z_2)$ для земли с $\rho = 500$ Ом·м

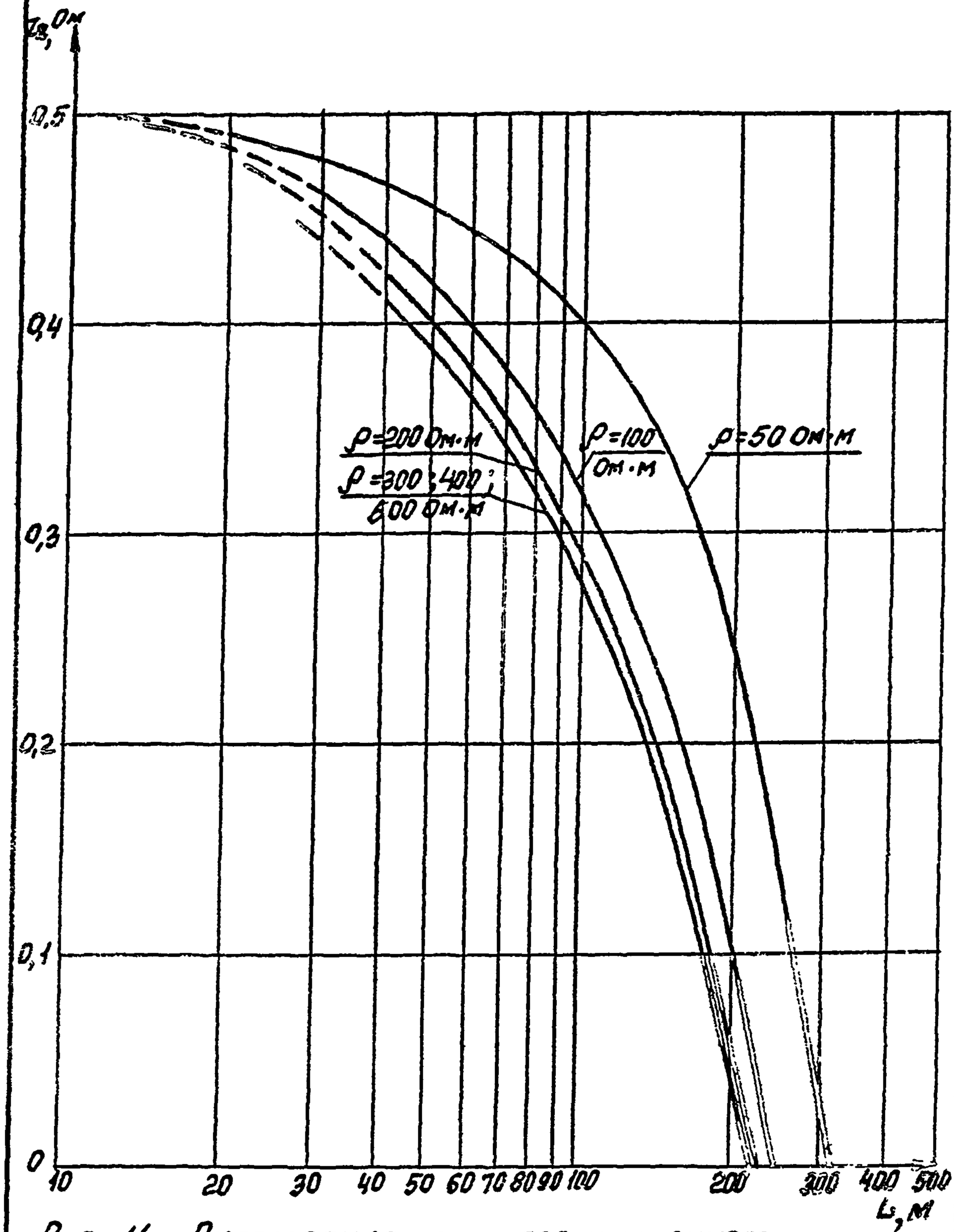

Рис. 11 Расстояния от промышленного здания до ТП в зависимости от Zв

$$Z_{пер} = \frac{\varrho \ln 376/\sqrt{R/\varrho}}{\pi}, \qquad (28)$$

где $R=\frac{P}{2\pi}$ – условный радиус проводника, м;

P – периметр проводника, м.

Сопротивление переменному току двух горизонтальных проводников определяется из формулы:

$$Z_{ij} = \frac{r_0}{2} + 0{,}05 + j\,0{,}144/1{,}83 + 3{,}9\frac{r_0}{2} + \lg\sqrt{\varrho}, \qquad (29)$$

где r_0 – активное сопротивление проводника, Ом/км.

Входное сопротивление Z_e заземляющего устройства определяется по формуле (2).

7. ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Приемо-сдаточные испытания заземляющих устройств проводятся в соответствии с п. I-8-36 гл. I-8 ПУЭ-85.

Эксплуатационный контроль заземляющих устройств осуществляется в соответствии с гл. ЭII-I3 "Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭ)".

Методика измерений сопротивлений заземляющих устройств приводится в Приложении 4.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

Значения конструктивного коэффициента С

Таблица П I

$l = 0,5$ м

$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C
6	I,40	I2	2,66	I8	3,95	24	5,23	36	7,78
I2	I,30	24	2,47	36	3,6I	48	4,75	72	7,02
I8	I,20	36	2,I6	54	3,I2	70	4,08	II0	6,00
24	0,95	48	I,9I	70	2,73	I00	9,54	I40	5,I8
36	0,90	70	I,57	II0	2,20	I20	3,I4	220	4,08
50	0,85	I00	I,35	I40	I,86	I44	2,83	290	3,83
I00	0,67	I90	0,95	290	I,23	I70	2,36	580	2,08
I90	0,56	384	0,77	576	0,86	384	I,52	II52	I,3I
380	0,50	768	0,57	II50	0,65	768	I,0I	-	-
770	0,47	960	0,55	-	-	960	0,90	-	-
I500	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица П 2

$l = I,0$ м

$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C
6	0,75	I2	I,38	I8	2,02	24	2,66	36	3,93
I2	0,76	24	I,33	36	I,90	48	2,47	72	3,58
I8	0,76	36	I,20	54	I,68	72	2,I6	II0	3,I2
24	0,69	48	I,I0	70	I,5I	I00	I,92	I40	2,77
36	0,63	70	0,94	II0	I,26	I20	I,7I	220	2,I9
48	0,60	96	0,85	I40	I,09	I44	I,57	290	I,85
I00	0,52	I90	0,66	290	0,80	I92	I,35	580	I,22
I90	0,48	380	0,56	576	0,63	380	0,94	II50	0,86
380	0,45	770	0,49	II52	0,54	770	0,70	-	-
770	0,44	960	0,48	-	-	960	0,57	-	-
I540	0,45	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица П 3

ℓ = I,4 м

$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C
6	0,56	I2	I,0I	I8	I,47	36	2,82
I2	0,59	24	0,99	36	I,40	72	2,6I
I8	0,58	36	0,92	54	I,25	II0	2,28
24	0,57	48	0,86	72	I,I5	I40	2,02
36	0,54	72	0,76	II0	0,98	2I6	I,65
48	0,52	I00	0,70	I40	0,88	290	I,42
96	0,49	I92	0,59	290	0,69	576	0,99
I92	0,46	384	0,52	576	0,57	II50	0,73
380	0,45	770	0,48	II50	0,50	-	-
768	0,44	960	0,47	-	-	-	-

Таблица П 4

ℓ = 2,5 м

$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C
I2	0,90	24	I,69	I8	I,30	36	2,48
24	0,90	48	I,6I	36	I,26	72	2,3I
36	0,84	72	I,44	54	I,I4	II0	2,04
48	0,77	I00	I,27	72	I,02	I44	I,77
72	0,7I	I20	I,20	II0	0,90	2I6	I,48
I00	0,66	I44	I,I0	I44	0,82	290	I,29
I90	0,56	I90	0,98	290	0,65	580	I,I7
380	0,50	380	0,73	580	0,55	II50	0,98
770	0,46	770	0,59	II50	0,3I	-	-
960	0,46	960	0,57	-	-	-	-

Таблица II 5

$\ell = 5$ м

$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C
6	0,33	I2	0,56	I8	0,76	24	I,00	36	I,45
I2	0,39	24	0,58	36	0,78	48	0,97	72	I,36
I8	0,4I	36	0,58	54	0,75	72	0,92	I08	I,25
24	0,42	48	0,56	72	0,70	96	0,85	I44	I,I3
36	0,43	72	0,54	I08	0,65	I20	0,79	2I6	0,97
48	0,43	96	0,52	I44	0,60	I44	0,75	288	0,86
96	0,44	I92	0,48	288	0,53	I92	0,69	576	0,68
I92	0,43	384	0,46	576	0,48	382	0,58	II52	0,56
384	0,43	768	0,44	II50	0,45	768	0,5I	-	-
768	0,43	960	0,45	-	-	-	-	-	-
I536	0,44	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица II 6

$\ell = I0$ м

$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C	$\sqrt{S}$, м	C
6	0,23	I2	0,36	I8	0,48	24	0,60	36	0,85
I2	0,30	24	0,4I	36	0,62	48	0,63	72	0,85
I8	0,34	36	0,43	54	0,53	72	0,62	I08	0,80
24	0,36	48	0,44	72	0,52	96	0,60	I44	0,75
36	0,38	72	0,44	I08	0,50	I20	0,57	2I6	0,68
48	0,39	96	0,44	I44	0,49	I44	0,56	288	0,64
96	0,4I	I92	0,44	288	0,47	I92	0,54	576	0,55
I92	0,42	384	0,44	576	0,45	384	0,49	II52	0,50
384	0,42	768	0,44	II52	0,44	768	0,47	-	-
768	0,43	960	0,43	-	-	950	0,46	-	-
I536	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица II 7

$\ell = 25$ м

$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C	$\sqrt{S}$,м	C
6	0,I6	I2	0,22	I8	0,27	24	0,33	36	0,43
I2	0,24	24	0,29	36	0,34	48	0,39	72	0,48
I8	0,30	36	0,33	54	0,37	72	0,4I	I08	0,49
24	0,3I	48	0,34	72	0,37	96	0,4I	I44	0,48
36	0,34	72	0,37	I08	0,40	I20	0,43	2I6	0,48
48	0,37	96	0,39	I44	0,4I	I44	0,43	288	0,48
96	0,40	I92	0,4I	288	0,42	I92	0,43	576	0,45
I92	0,4I	384	0,42	576	0,43	384	0,43	II52	0,45
384	0,42	768	0,42	II52	0,43	768	0,43	-	-
768	0,45	960	0,43	-	-	960	0,43	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение 2

Методы измерения напряжения прикосновения

Измерения напряжения прикосновения могут выполняться следующими методами:

методом амперметра - вольтметра с длительным приложением напряжения к испытуемому заземлителю;

методом амперметра - вольтметра с повторно-кратковременным приложением напряжения к испытуемому заземлителю;

методом однофазного короткого замыкания на землю на стороне высокого напряжения (I10 кВ и выше) с осциллографированием тока, протекающего через заземлитель в землю, и напряжения прикосновения в контрольных точках.

Метод амперметра-вольтметра при повторно-кратковременном приложении напряжения до 500 В промышленной частоты (длительность импульсов 0,05-0,I с, длительность пауз 5-I0 с) позволяет получить большую величину измерительного тока при обеспечении электробезопасности производства измерения без специально принимаемых мер.

Метод однофазного короткого замыкания обеспечивает наилучшее приближение к действительным условиям и рекомендуется к

применению в случаях, предусмотренных проектом, а также как контрольный метод при научно-исследовательских работах для проверки результатов измерений методом амперметра-вольтметра, проверки возможности пропорционального пересчета напряжений прикосновений, измеренных при сниженных токах на расчетный ток короткого замыкания, а также для проверки методики расчета напряжений прикосновения.

Измерения методом ОКЗ проводятся по специальной программе, согласованной с энергоуправлением.

Сущность метода амперметра-вольтметра заключается в одновременном измерении величины тока (измерительного), стекающего с заземлителя, и напряжения прикосновения, обусловленного этим током.

Измерительная цепь (рис. I2) состоит из источника питания (ЭДС или тока), токового электрода (Т), потенциального электрода (П) проводов и измерительных приборов.

Напряжение прикосновения измеряется как разность потенциалов между доступными прикосновению заземленными металлическими частями оборудования или конструкций и потенциальным электродом, имитирующим подошвы человека, стоящего на контрольной точке на земле (на полу). Сопротивление тела человека имитируется эквивалентным сопротивлением параллельно включенных вольтметра (V) и резистора (R_2).

При использовании метода амперметра-вольтметра в качестве источника ЭДС могут применяться:

трансформатор собственных нужд;

разделительный трансформатор с вторичным напряжением до 500 В и мощностью до I00 кВ.А, питающийся от трансформатора собственных нужд;

автономный генератор.

В качестве потенциального электрода следует применять металлическую квадратную пластину размером 25 х 25 см. Поверхность земли в контрольных точках должна быть тщательно выровнена (в габаритах потенциального электрода). Землю под потенциальным электродом следует увлажнить на глубину 2-3 см. На потенциальный электрод (пластину) должен быть положен груз с массой не менее 30 кг.

Величина измерительного тока и точность измерения напряже-

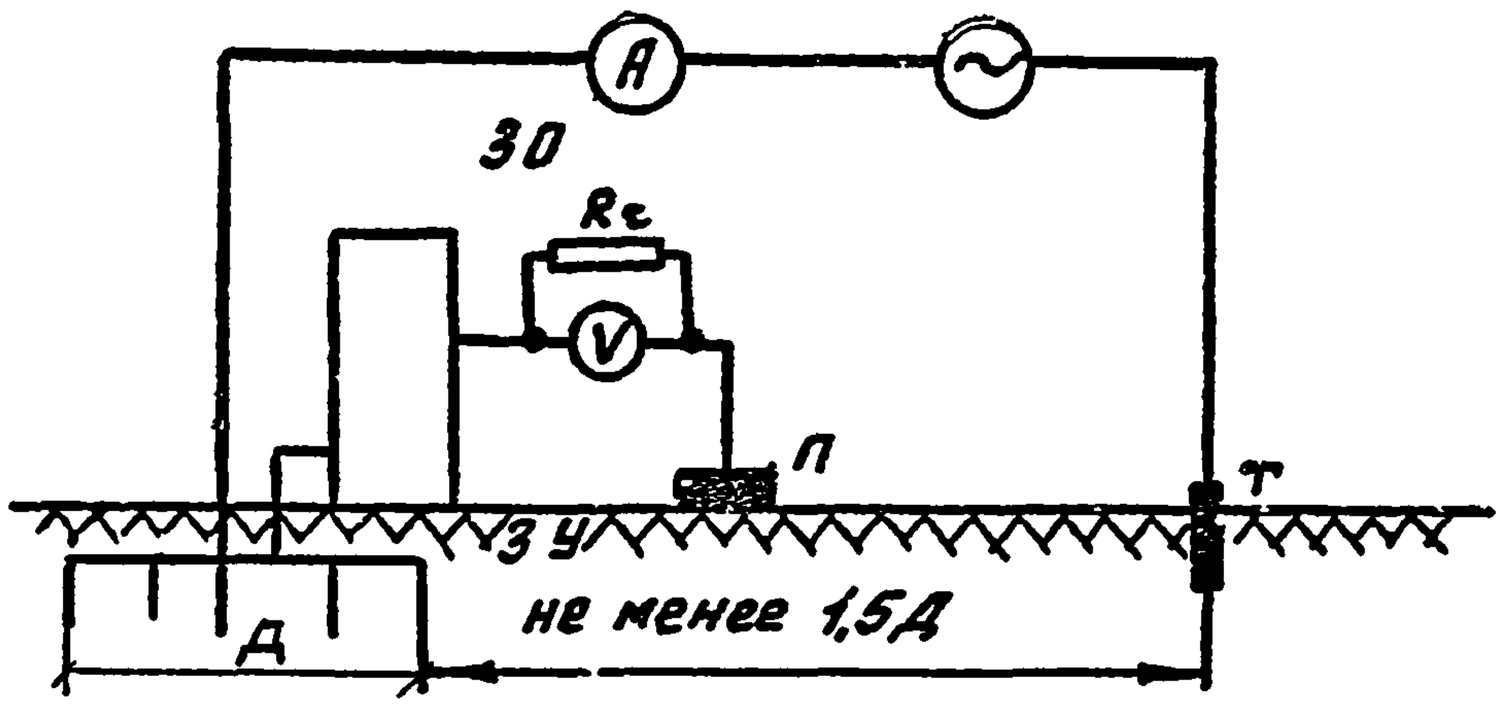

Рис. 12 Принципиальная схема измерения напряжения прикосновения по методу амперметра-вольтметра:

ЗУ — заземляющее устройство;
ЗО — заземленное оборудование;
П — потенциальный электрод;
Т — токовый электрод;
$R_г$ — резистор, имитирующий сопротивление тела человека.

ния прикосновения зависят от сопротивления и расположения токового электрода.

Сопротивление токового электрода, как правило, не должно превышать сопротивления заземлителя более чем в 20 раз.

Расстояние между ближайшей частью заземлителя и токовым электродом должно быть не менее I,5Д(Д – больший линейный размер заземлителя в плане, но не менее 20 м. Если заземлитель имеет внешний замкнутый контур, то Д – большая диагональ). Токовый электрод не должен располагаться вблизи подземных металлических коммуникаций (трубопроводы, кабели с металлической оболочкой и броней) или железобетонных оснований и фундаментов, имеющих металлическую связь с заземлителем или проходящих вблизи заземлителя.

В случае отсутствия заземлителей, которые могли быть использованы в качестве токового электрода, токовый электрод (заземлитель) рекомендуется выполнять в виде нескольких соединенных проводниками вертикальных стержней диаметром I0–I2 мм.

Токовую цепь следует выполнять изолированным проводом, сечение которого выбирают, исходя из ожидаемой величины измерительного тока, но не менее 2,5 мм^2. Падение напряжения не должно превышать I0% от номинального напряжения источника питания. Потенциальная цепь должна выполняться изолированным проводом, выбранным по механической прочности.

Эквивалентное сопротивление включенных параллельно вольтметра и резистора не должно выходить за пределы I $\pm$ 0,05 кОм.

Амперметр, трансформатор тока и вольтметр должны иметь класс точности не менее 2,5.

Измеренные значения напряжения прикосновения должны быть приведены к расчетному току замыкания на землю и к сезонным условиям, при которых напряжение прикосновения имеет наибольшую величину по формуле:

$$U_{пр} = U_{изм} \frac{I_{к.з.расч}}{I_{к.з.изм}} \cdot \frac{1000 + R_{ст.изм.ср}}{1000 + R_{ст.мин.}},$$

где $U_{изм}$ – измеренное значение напряжения прикосновения при токе в измерительной цепи, равном $I_{изм}$;

$I_{кз расч.}$ - расчетный для заземляющего устройства ток короткого замыкания;

$R_{ст.изм.ср.}$ - среднее значение сопротивления потенциального электрода, измеренных по схеме рис. 13 в момент измерения напряжения прикосновения;

$R_{ст.мин.}$ - минимальное значение сопротивления потенциального электрода.

Сопротивление потенциального электрода измеряется с помощью мегомметра со шкалой от 100 Ом в 4-6 точках измерения напряжения прикосновения при существующей при этих измерениях влажности грунта (при сухом грунте во время измерения $U_{пр}$ производится увлажнение грунта под потенциальным электродом на глубину 2-3 см).

Для пересчета используется среднее из измеренных значений $R_{ст.изм.}$

Минимальное значение сопротивления потенциального электрода $R_{ст.мин}$ определяется по схеме рис. 13 в одной из точек после измерения $U_{пр}$ и $R_{ст.изм}$ при искусственно увлажненном на глубину 20-30 см грунте.

При отсутствии возможности увлажнения грунта на глубину 20-30 см $R_{ст.мин}$ принимается по табл. П 8.

Таблица П 8

Грунт в месте измерений	ρ, Ом·м
Бетон, травяной покров на глинистом грунте без травы	250
Песок, песчано-глинистая смесь, очень мелкий, загрязненный почвой щебень, травяной покров на песке	1200
Щебень, загрязненный почвой, метлахская плитка	1000

Если при измерениях $R_{ст.изм}$ получилось значение, меньшее указанного в таблице, то $R_{ст.мин}$ принимается равным $R_{ст.изм.}$

Если во время измерения напряжений прикосновения грунт увлажнен на глубину 30-40 см и более, то вместо поправочного коэффициента $\frac{1000 + R_{ст.изм.ср.}}{1000 + R_{ст.мин.}}$ принимается коэффициент, равный 1,5.

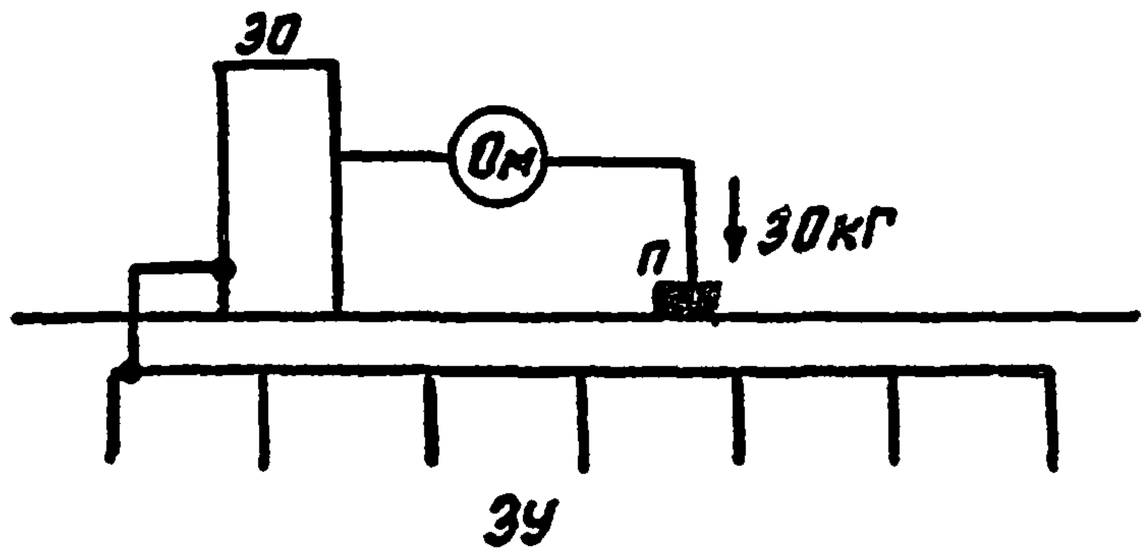

Рис. 13 Схема измерения сопротивления потенциального электрода, имитирующего стопы ног человека

ЗО – заземляемое оборудование;
ЗУ – заземляющее устройство;
П – потенциальный электрод;
Ом – мегаомметр напряжением 100-1000 В

Приложение 3

Расчет количества железобетонных опор в группе, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс, балок и фундаментов в эстакадах

I. Количество железобетонных опор N, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс, балок и фундаментов для целей молниезащиты и защиты от статического электричества, определяется из соотношения:

$$N \geqslant \frac{L'}{a}, \qquad (I\ II)$$

где a – шаг эстакады, м;
L' – длина участка железобетонной эстакады, арматура опор которого должна иметь указанные выше металлические соединения.

Значение L' определяется из графиков на рис.

Задаваясь значением $Z_{вх} < [R]$ ($[R]$ – нормируемое сопротивление заземляющего устройства, в качестве которого используется эстакада, и удовлетворяющее требованиям пп. 2.12б, 2.20, 2.27, 2.33 Инструкции СН 305-77, а также п. II.2.I "Правил защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности") и зная продольное Z_0 и переходное $R_{пер}$ сопротивления эстакады, получим L'.

2. Количество железобетонных опор в группе, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс и балок, в эстакадах, используемых для защитного заземления, определяется из соотношения (I II).

Значение L' определяется аналогично, исходя из величины входного сопротивления, которое должно удовлетворять требованиям гл. I-7 ПУЭ-76 к сопротивлению заземляющих устройств, и величин переходного $R_{пер}$ и продольного Z_0 сопротивлений.

При отсутствии металлического соединения арматуры опор и арматуры фундаментов значение переходного сопротивления $R_{пер}$, определяемого по формуле (I3), должно быть увеличено в два раза.

Приложение 4

Методика измерения сопротивлений заземляющих устройств

Сопротивление заземляющего устройства (сопротивление растеканию, входное сопротивление) измеряется методом амперметра-вольметра по схеме, изображенной на рис.14.

Измерительные электроды размещаются по однолучевой схеме: токовый электрод (Т) на расстоянии $l_{зт}$ от испытуемого заземляющего устройства и потенциальный электрод устанавливаются поочередно на расстояниях $0,1 l_{зт}$, $0.2 l_{зт}$, $0,9 l_{зт}$.

Измерения проводятся при установке потенциального электрода в каждой из указанных точек.

По данным измерений строится кривая распределения потенциалов, примерный вид которой показан на рис. 15. Точка перегиба 0 кривой определяет потенциал, который равен потенциалу $\varphi_з$ заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющего устройства $R_з$ вычисляется из соотношения

$$R_з = \frac{\varphi_з}{I_з}$$

В ряде случаев измерительный прибор может иметь 4 зажима для токовой и потенциальной цепи и проградуирован непосредственно в Ом (например, МС-08), тогда точка перегиба 0 кривой определяет значение сопротивления заземляющего устройства. Выбор расстояния $l_{зт}$ до токового электрода зависит от вида заземляющего устройства.

Для искусственных заземлителей и железобетонных фундаментов зданий

$$l_{зт} = (2-3)Д$$

где Д – наибольшая диагональ заземляющего устройства или фундаментного поля (при сложной конструкции фундамента);

$l_{зт}$ – расстояние между максимально удаленными точками фундамента.

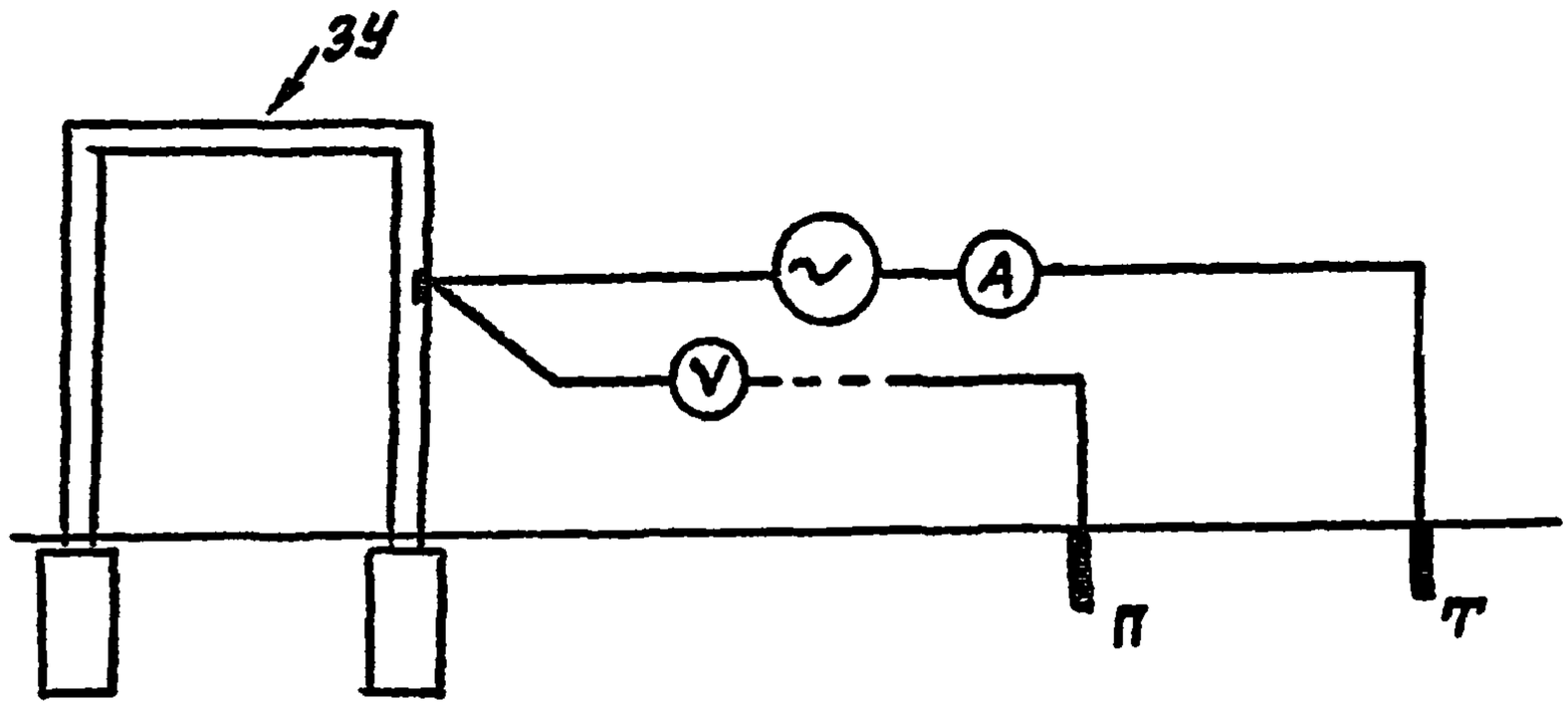

Рис. 14. Принципиальная схема измерения сопротивления заземляющего устройства

ЗУ – заземляющее устройство

П – потенциальный электрод

Т – токовый электрод

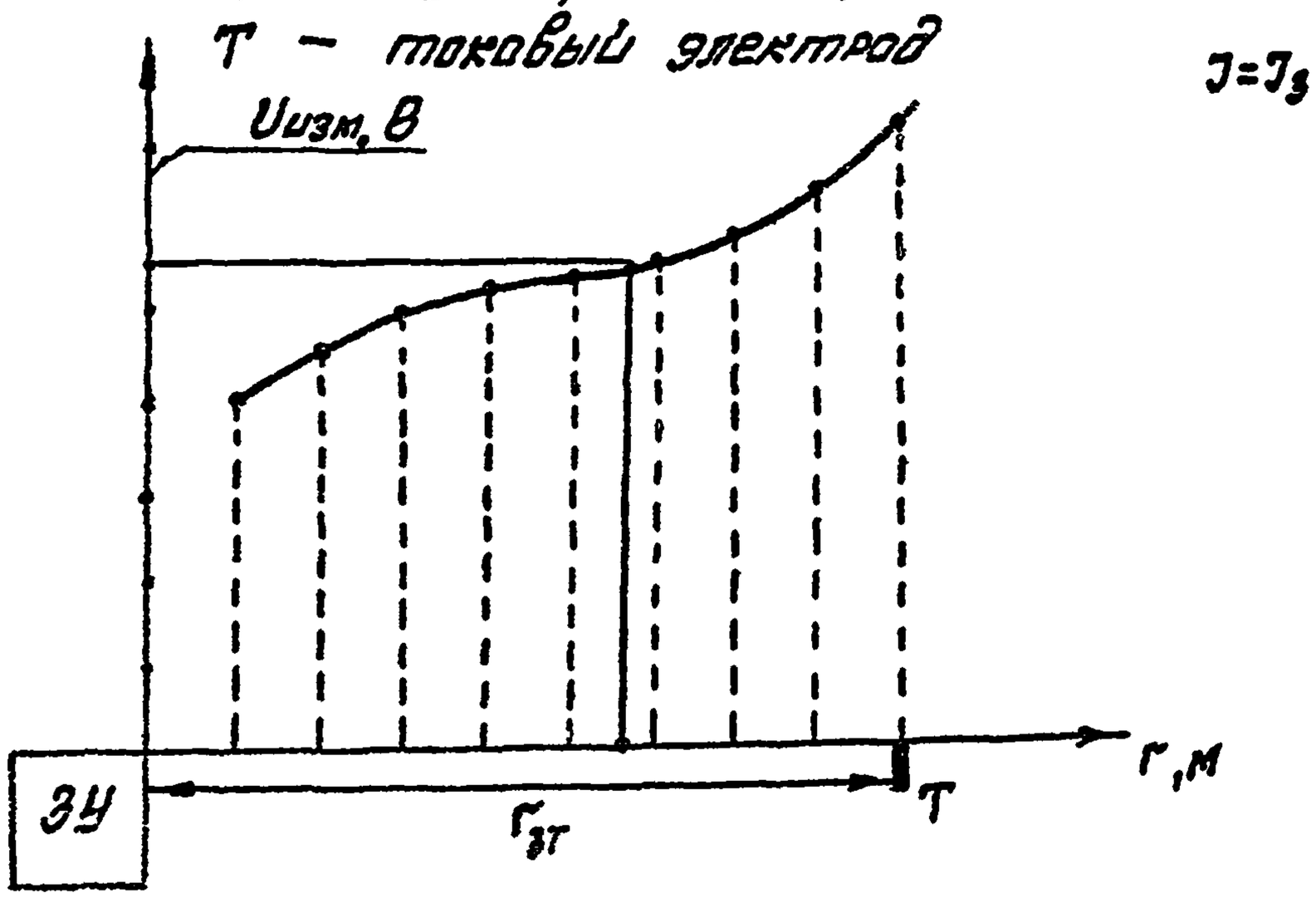

Рис. 15. Пример распределения потенциалов в зависимости от положения потенциального электрода

Для протяженных заземлителей $r_{зт} \approx 3h$ (см.(I)), и направление, на котором располагается потенциальный электрод, перпендикулярно продольной оси заземлителя.

Если кривая распределения потенциалов не имеет явно выраженной точки перегиба, то измерения следует повторить при увеличении в I,5–2 раза расстояния до токового электрода.

Требования к источнику питания и измерительным приборам аналогичны требованиям при измерении напряжения прикосновения (приложение 2).

Если сопротивление измерялось в сезон, отличный от предполагаемого сезона его наибольших значений, то измеренную величину $R_з$ или $Z_{вх}$ умножают на сезонный коэффициент сопротивления заземлителя K_c

Приложение 5

ОСНОВНЫЕ ДИРЕКТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РАЗРЕШАЮЩИЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ФУНДАМЕНТЫ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ

ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ
Электробезопасность.Защитное заземление, зануление

п.1.4.стандарта требует в качестве заземляющих устройств электроустановок в первую очередь использовать естественные заземлители.

При использовании железобетонных фундаментов промышленных зданий и сооружений в качестве естественных заземлителей и обеспечении допустимых напряжений прикосновения не требуется сооружение искусственных заземлителей, прокладки выравнивающих полос снаружи зданий и выполнения магистральных проводников заземления внутри здания.

ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК (ПУЭ)

Рекомендуют использовать в качестве естественных заземлителей металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений. §1.7.35, 1.7.55 п. 2, 1.7.70.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников могут быть использованы металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т.п.),арматура железобетонных строительных конструкций и фундаментов § 1.7.73 п. п. 2.3.

ДОКУМЕНТЫ ГОССТРОЯ СССР И ГЛАВГОСЭНЕРГОНАДЗОРА СССР

Письмо государственного комитета СССР по делам строительства № ДП-3505-1 от 1 июля 1981г.

В целях повсеместного применения нового технического решения Госстрой СССР дал указание подведомственным организациям, проектирующим и изготовляющим железобетонные фундаменты и строительные конструкции производственных зданий, а также строительно-монтажным организациям,использовать в качестве заземлителей промышленных электроустановок железобетонные фунда-

менты, взамен сооружения искусственных заземлителей, выравнивающих полосы контуров заземления внутри зданий, руководствуясь при этом документами Главэлектромонтажа Минмонтажспецстроя СССР, согласованными с Госстроем СССР.

Письмо Главгосэнергонадзора Минэнерго СССР № I7-6/4-Т от 20 марта I98Iг.

На основании исследований, проведенных ВНИИПроектэлектромонтажом Минмонтажспецстроя СССР, определены условия использования железобетонных фундаментов промышленных зданий в качестве заземлителей.

Соединение арматуры железобетонных фундаментов с металлическими колоннами и с арматурой железобетонных колонн выполняется в соответствии с "Унифицированным заданием строительным проектным организациям по использованию металлических и железобетонных конструкций зданий в качестве заземляющих устройств", разработанным институтами Минмонтажспецстроя и Госстроя СССР и Госэнергонадзором.

При использовании железобетонных фундаментов в качестве заземлителей не требуется выполнение заземляющих контуров (магистралей заземления) внутри здания. Нулевые точки обмоток трансформаторов и корпуса электрооборудования должны быть присоединены заземляющими проводниками к металлическим колоннам, установленным на железобетонных фундаментах или к специальным закладным изделиям, установленным на железобетонных колоннах и приваренным к арматуре колонн.

Письмо Главгосэнергонадзора Минэнерго СССР № 94-6/34-ЭТ от I2.II.I990г.

В письме Главгосэнергонадзор рекомендует промышленным предприятиям и организациям в качестве естественных заземлителей использовать железобетонные фундаменты зданий и сооружений, в том числе имеющие защитные гидроизоляционные покрытия, в неагрессивных, слабо- и сильноагрессивных средах; при этом необходимость приварки анкерных болтов стальных колонн (арматурных стержней железобетонных колонн) к арматурным стержням

железобетонных фундаментов определяется допустимой плотностью тока в приарматурном слое бетона, в письме приводятся допустимые плотности тока, стекающего в землю с естественного заземлителя.

В письме приводится формула для оценки наибольшего допустимого тока протекающего по естественному заземлителю.

Далее в письме приводятся рекомендации по использованию изделий в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников.

ДОКУМЕНТЫ ГЛАВЭЛЕКТРОМОНТАЖА МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЯ СССР

Технический циркуляр Главэлектромонтажа МмСС СССР
№ 9-6-186/78 от 29 декабря 1978г.

Циркуляр предписывает всем проектным организациям при проектировании использовать в широких масштабах железобетонные и металлические конструкции в качестве заземляющих устройств.

Циркуляр дает возможность определить величину сопротивления растеканию зданий, содержит требования к конструкциям и их соединениям.

"УНИФИЦИРОВАННОЕ ЗАДАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОЕКТНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ"

Задание согласовано Госэнергонадзором Минэнерго СССР и Госстроем СССР. В "Задании" приведены требования к строительным организациям, которые обязаны выполнять дополнительные мероприятия по обеспечению создания непрерывной электрической цепи в металлических или железобетонных конструкциях, оговорены способы ее достижения и методы сварки. В "Задании" приведены чертежи выполнения непрерывной электрической цепи для ступенчатого фундамента на естественном основании для стальных колонн, ступенчатого фундамента на свайном основании, монолитного фундамента, железобетонных колонн, а также чертежи примеров соединения железобетонных фундаментов с колоннами и укладки молниеприемной сетки.

Технический циркуляр Главэлектромонтажа ММСС СССР
№ 9-2-223/84 от 21 августа 1984г.

"ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭСТАКАД ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ"

Рекомендуют всем проектным организациям повсеместно использовать эстакады всех видов в качестве заземляющих устройств для целей защитного заземления, молниезащиты и защиты от статического электричестьа.

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Рюденберг Р. Эксплуатационные режимы электроэнергетических систем и установок - Л., Энергия, 1981 г. 174 с.

2. Карякин Р.Н. Сопротивление растеканию контуров заземления тяговых подстанций переменного тока - Электричество, 1966 г. № 3., с. 64-66.

3. Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения) - М., Стройиздат, 1978г., с.175.

4. Карякин Р.Н., Добрынин В.Е. Сопротивление кабельной эстакады, используемой в качестве заземлителя. Электричество. 1984, № 2, с.63-66.

5. Карякин Р.Н., Солнцев В.И. "Расчет сопротивления заземлителей, образованных железобетонными фундаментами - Электричество, 1981 г., № 8, с. 42-44.

6. Метод расчета заземляющих свойств железобетонных фундаментов в агрессивных средах: Отчет ВНИИПЭМ; руководитель работы Р.Н.Карякин. Шифр работы 601031; № ГР 01830067822, М., 1984 г. 14 с.

7. Карякин Р.Н. В возможности использования в качестве заземлителей железобетонных фундаментов, защищенных от воздействия агрессивных сред. Промышленная энергетика. 1982. № 10, с.50-54.

8. ГОСТ 12.1.038-82 "ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов".

9. Авторское свидетельство № 1115143 СССР. Бюл.изобретений № 35, 1984 г. с.162.

10. Ю.М. Куприянович, Б.А.Бильке и др. "Об использовании силовых бронированных кабелей в качестве естественных заземлителей". "Исследование и разработка в области технологии электромонтажного производства и промышленной энергетики". Сборник научных трудов ВНИИПЭМ, М., Энергоатомиздат, 1984 г., с.82-85.

11. Карякин Р.Н. и др. Об использовании эстакад промышленных предприятий в качестве заземляющих устройств. Сборник научных трудов ВНИИПЭМ. 1987. с.72-77.

12. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., Высшая школа, 1962 г. 792 с.

13. Карякин Р.Н. Солнцев В.И. Использование железобетонных фундаментов производственных зданий в качестве заземлителей. Энергоатомиздат. М.1988 г. с.128.

14. Меньшов Б.Г.,Солнцев В.И. Достимое Допустимое расстояние между трансформаторной подстанцией и зданием, позволяющее отказаться от выполнения заземляющего устройства - Промышленная энергетика 1982 г., № 10, с.54-56.

15. Бернаций А.Ф., Целебровской Ю.В., Чунчин В.А. Электрические свойства бетона. - М.Энергия, 1980г. 220 с.

16. Карякин Р.Н. Солнцев В.И. Заземляющие устройства промышленных электроустановок. Справочник Энергоатомиздата. М.,1989. с.190.

17. Правила устройства электроустановок, 6-е издание. Энергоатомиздат. М. 1987. 646 с.