

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

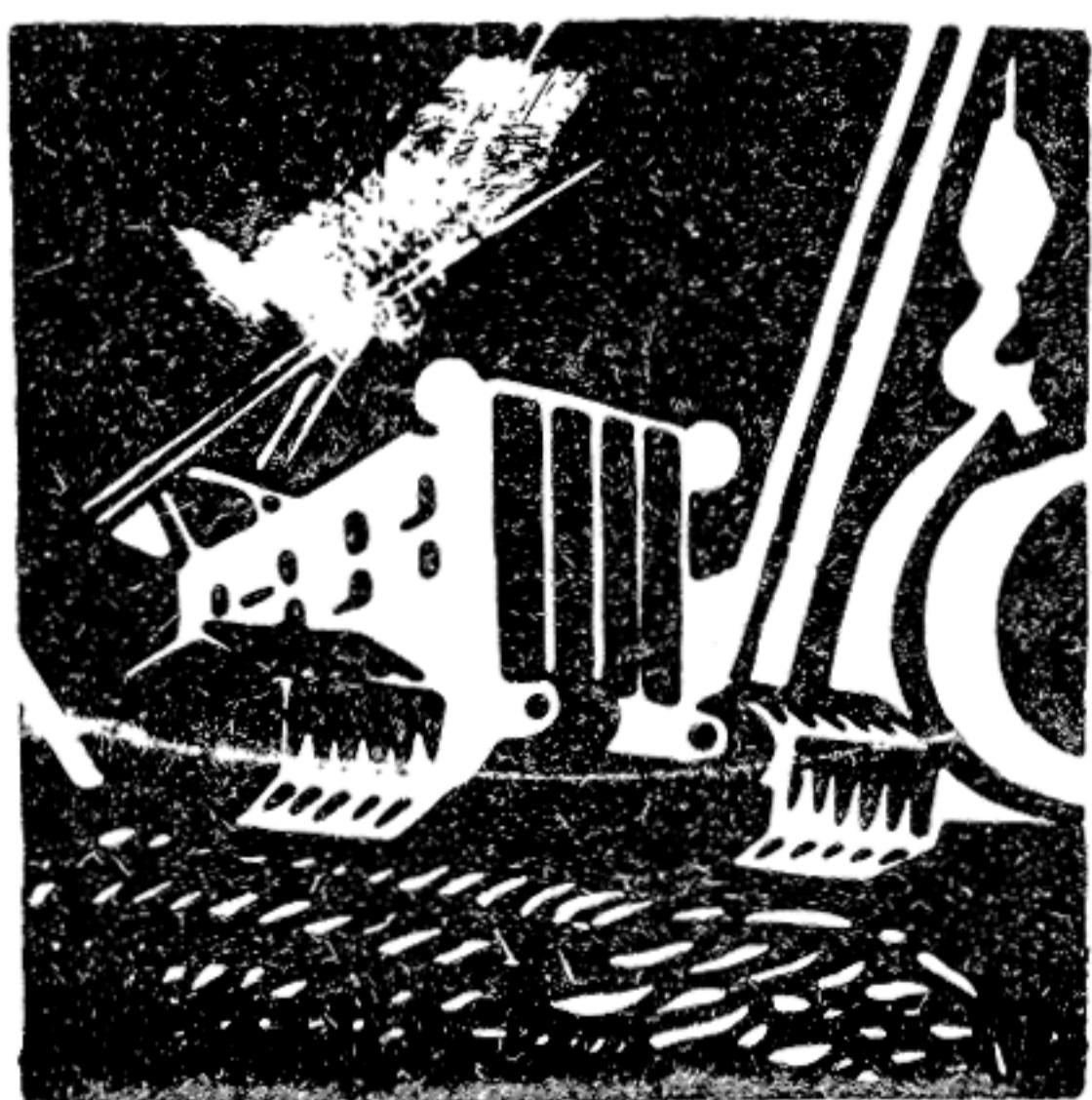
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
ВНИИСТ

ИНСТРУКЦИЯ

ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ
ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ

ВСН 2-71-76

Миннефтегазстрой



Москва 1976

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

ВНИИСТ

ИНСТРУКЦИЯ

ПО РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ
ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ

ВСН 2-71-76

Миннефтегазстрой

Москва 1976

УДК 620.197.53

В настоящей Инструкции рассмотрены вопросы расчета параметров катодной и протекторной защиты подземных и наземных (с засыпкой) трубопроводов в северных районах и условиях вечномерзлых грунтов. Приведены методики расчета различных конструкций анодных заземлений: поверхностных и глубинных, с учетом влияния слоистой структуры грунта и экранирующего влияния вечной мерзлоты. Впервые предложена методика расчета защиты от коррозии с помощью протяженных протекторов. Указанная методика включает определение мест установки и подключения протяженных протекторов, а также расчет их размеров, необходимых для выбора типа протекторов.

Инструкция разработана канд.техн.наук В.В.Притулой под руководством канд.техн.наук В.И.Глазкова. В составлении Инструкции принимали участие Р.В.Кудинова, М.Л.Долганов, Н.И.Агеева, Е.Г.Волков, Н.И.Тесов.

Замечания и предложения направлять по адресу:
Москва, 105058, Окружной проезд, 19, ВНИИСТ.

Министерство строительства предприятий неф- тяной и газовой промышленности	Ведомственные строительные нормы	ВСН 2-71-76 Миннефтегазстрой
	Инструкция по рас- чету параметров электрохимической защиты подземных трубопроводов в се- верных районах	Разработана впервые

I. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

I.1. Настоящая Инструкция предназначена для использования при проектировании и строительстве электрохимической защиты от почвенной коррозии подземных и наземных (с засыпкой) трубопроводов в районах распространения вечномерзлых грунтов, а также в северных районах страны при условии промерзания грунта на глубине укладки трубопроводов.

I.2. Электрохимическую защиту от почвенной коррозии в районах распространения вечной мерзлоты и при промерзании грунта на глубине укладки следует применять на всех участках трубопроводов при подземной прокладке и наземной прокладке с засыпкой грунтом.

I.3. Особенности физико-химических свойств мерзлых грунтов и структурное влияние слоя вечной мерзлоты требуют специальных расчетов параметров электрохимической защиты подземных трубопроводов от коррозии в указанных условиях.

I.4. Задачей расчета параметров электрохимической защиты подземных трубопроводов в северных районах является:

- а) выбор типа средств электрохимической защиты;
- б) определение номинальных характеристик защитных средств;
- в) установление мест размещения защитных установок и протяженности зон защиты;
- г) расчет сопротивления растеканию заземляющих электродов с учетом литологической структуры грунта.

Внесена ВНИИСТом	Утверждена Миннефтегазстроем 30 июля 1976 г., Мингазпромом 29 апреля 1976 г., Миннефтепромом 9 февраля 1976 г.	Срок введения 1 января 1977 г. Срок действия до 1 января 1981 г.
---------------------	---	---

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Вечной мерзлотой называют земные недра, в течение десятилетий и более длительного срока непрерывно пребывающие в мерзлом состоянии и являющиеся подземной разновидностью наземного оледенения.

2.2. Северными районами страны могут быть названы территории, на которых среднемесячная температура грунта на глубине 160 см в один из месяцев года понижается не более чем до 0°C (по данным "Климатического атласа СССР", т. I. М., Главное управление гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР, 1960).

2.3. Условно в первом приближении южной границей северных районов можно считать 60-ю параллель в европейской части и 55-ю параллель в западносибирской части СССР.

2.4. Проект электрохимической защиты подземных трубопроводов в вечномерзлых грунтах и северных районах подлежит корректировке через год после начала эксплуатации трубопровода с учетом реальных температур контактирующего с ним грунта.

2.5. Электрохимическая защита подземных и наземных (с засыпкой) трубопроводов от почвенной коррозии не должна вызывать опасность коррозионного разрушения соседних сооружений и создавать условия эксплуатации, опасные для обслуживающего персонала.

2.6. Основными факторами, определяющими выбор системы электрохимической защиты и расчет параметров защитных установок, являются:

- а) характеристика природных условий района прокладки трубопровода;
- б) литологический состав и физико-химические свойства грунтов вдоль трассы трубопровода;
- в) способ прокладки трубопровода и данные о чередовании участков с различной прокладкой;
- г) электрические параметры трубопровода;
- д) температурный режим транспортировки продукта по трубопроводу;
- е) допустимый диапазон изменения параметров защитных установок.

2.7. В соответствии с коррозионными условиями территорию распространения вечномерзлых грунтов в пределах Советского Союза можно районировать на шесть основных регионов (рис. I): Большевемельскую тундру (I), Западную Сибирь (II), Среднюю Сибирь (III), Восточную Сибирь (IV), Забайкалье (V) и Якутско-Алданскую область (VI).

2.8. Выделенные районы распространения вечномерзлых грунтов классифицированы по принципу общности основных почвенно-климатических условий, определяющих динамику коррозионных процессов.

2.9. Доминирующими индивидуальными особенностями классифицированных районов распространения вечномерзлых грунтов являются:

- а) Большевемельская тундра – наличие хорошо промерзающего кочковатого тундрового слоя при большой роли микрорельефа в сезонных процессах, происходящих в грунте;
- б) Западная Сибирь – почти повсеместное распространение торфяного слоя и заболоченных участков;
- в) Средняя Сибирь – резкая аэробологическая и термическая континентальность в сочетании с пересеченым рельефом в центральной части и болотами в восточном районе;
- г) Восточная Сибирь – наиболее мощный слой вечной мерзлоты и тонкий слой сезоноактивного грунта; наиболее ярко выраженное промерзание сезонноталого слоя двумя фронтами; наиболее низкие температуры воздуха;
- д) Забайкалье – значительный дефицит влажности и большое испарение;
- е) Якутско-Алданская область – наиболее резко выраженная континентальность района.

2.10. Полные характеристики коррозионных условий основных районов распространения вечномерзлых грунтов изложены в "Классификации условий применения электрохимической защиты от коррозии в районах вечной мерзлоты" (М., ВНИИСТ, 1970).

2.11. Величина защитной разности потенциалов, необходимой для обеспечения надежной эксплуатации, зависит от фазовых превращений электролита и структурного состояния грунта, которые определяются температурой воздуха, относительной влажностью грунта и его минерализацией, а также глубиной заложения трубопровода.

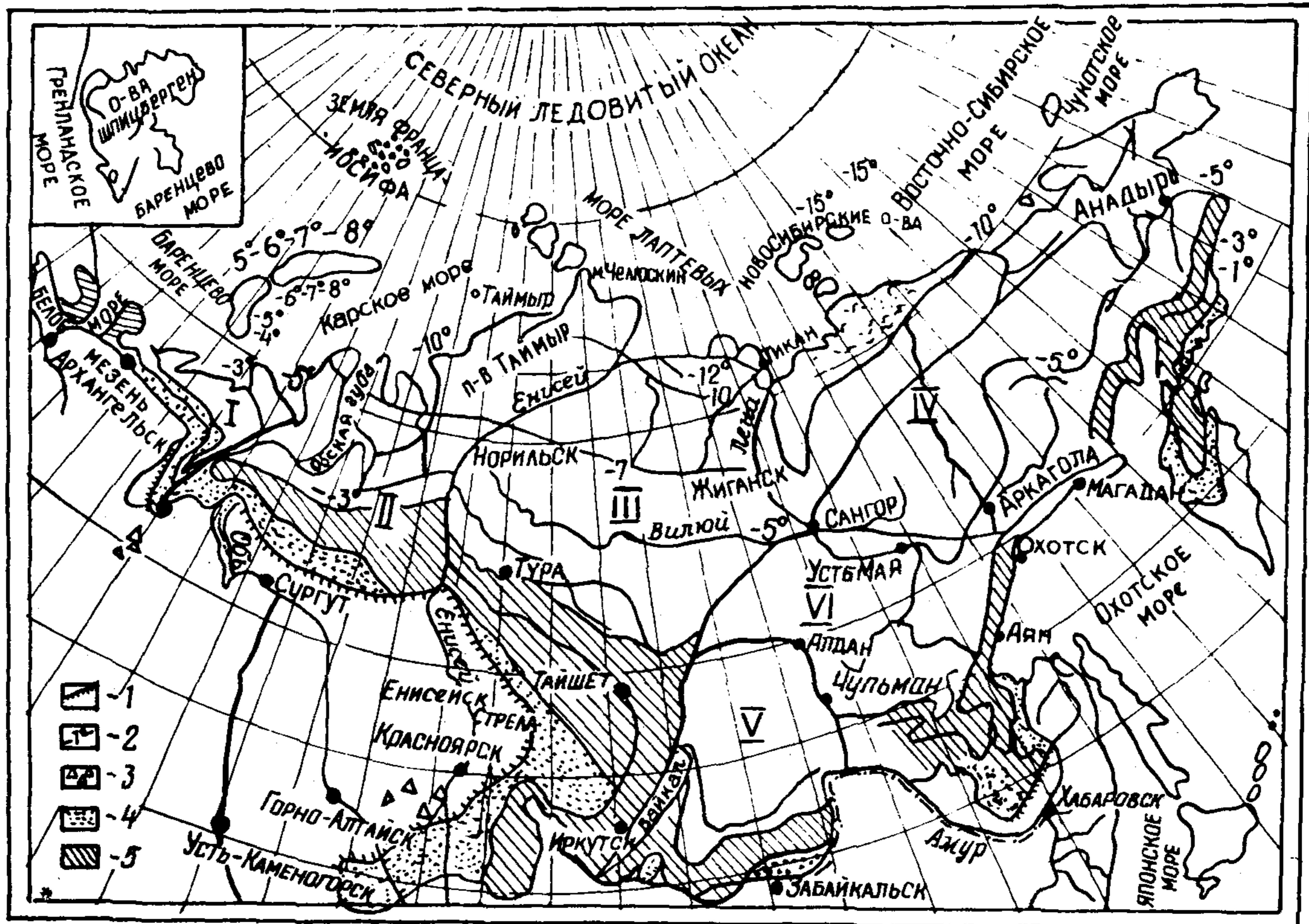


Рис. I. Схема районов вечной мерзлоты с изолиниями температуры грунтов
у границы зоны нулевых годовых амплитуд:

1-ижная граница области распространения вечномерзлых грунтов; 2-изотер-
ма на глубине 10 м; 3-отдельные пункты обнаруженных вечномерзлых грунтов;
4-зона отдельных островов вечномерзлых грунтов мощностью до 15 м; 5-зона
островного распространения вечномерзлых грунтов мощностью от 15 до 60 м

2.12. Минимальный защитный потенциал с учетом реальной температуры грунта (в диапазоне положительных температур), окружающего трубопровод, следует определять по графику (рис.2). В первом приближении минимальный защитный потенциал U_{M_t} можно рассчитать по формулам:

$$U_{M_t} = U_{M_{18}} (1 + \beta_{U_t} \Delta t) \quad \text{для диапазона температур (I)} \\ \text{грунта } 0-18^{\circ}\text{C},$$

где $U_{M_{18}}$ — минимальный защитный потенциал при температуре 18°C ($U_{M_{18}} = -0,85$ В по медносульфатному алектроду сравнения);

$$\Delta t = t_2 - 18;$$

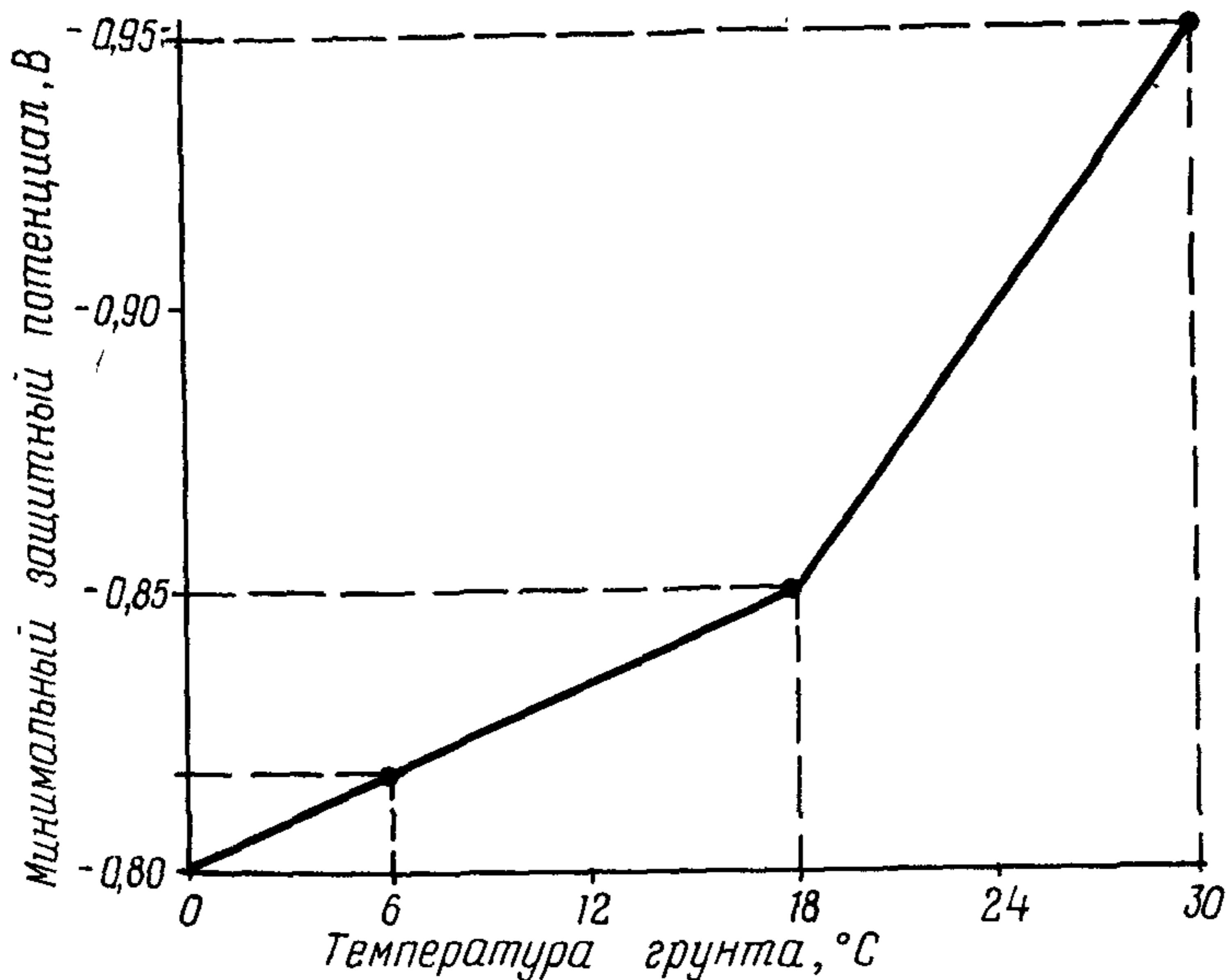


Рис.2. Зависимость минимального защитного потенциала трубопровода от реальной температуры окружающего грунта

t_2 – текущая температура грунта, $^{\circ}\text{C}$;
 β_{U_1} – температурный коэффициент потенциала, $\text{I}/^{\circ}\text{C}$; $\beta_{U_1} =$
 $= 0,003$ (при медносульфатном электроде сравнения)
и

$$U_{M_t} = U_{M_{18}} (1 + \beta_{U_1} \Delta t) \quad \text{для диапазона температур грунта } 18-30^{\circ}\text{C}, \quad (2)$$

где β_{U_2} – температурный коэффициент потенциала, $\text{I}/^{\circ}\text{C}$; $\beta_{U_2} =$
 $= 0,01$ (при медносульфатном электроде сравнения),

2.13. При пересчете по отношению к медносульфатному электроду сравнения величин защитного потенциала, измеренных при различных электродах сравнения, следует учитывать температуру окружающего воздуха в момент измерения. Температурная поправка к собственному потенциалу различных неполяризующихся электродов сравнения приведена в табл. I.

Таблица I

Температурная поправка различных неполяризующихся электродов сравнения (по отношению к температуре 18°C)

Тип электрода	Собственный потенциал при $t = 20^{\circ}\text{C}$ (относительно водородного электрода), В	Температурная поправка, $\text{B}/^{\circ}\text{C}$
Медносульфатный, насыщенный	+0,3	+0,00094
Хлорсеребряный, 0,1 н	+0,29	-0,00065
Каломельный, 1 н	+0,28	-0,00024
Каломельный, насыщенный	+0,24	-0,00076
Кадмийсульфатный, насыщенный	-0,43	-0,0005

2.14. Естественную разность потенциалов "сооружение-земля" следует определять для расчетов при крайних значениях температуры эксплуатации трубопровода – наиболее высокой и наиболее низкой.

3. ВЫБОР СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ

3.1. В северных районах и условиях вечной мерзлоты обязательной электрозащите подлежат все подземные и наземные (с засыпкой) магистральные трубопроводы диаметром более 500 мм, работающие под давлением более 20 кгс/см². Для трубопроводов с другими параметрами и других назначений следует применять электрозащиту, исходя из требований надежности и реальных скоростей коррозии.

3.2. Оптимальным средством электрозащиты являются протяженные ("ленточные") протекторы. При необходимости они могут быть заменены литыми протекторами в групповой установке.

3.3. Протекторную защиту можно осуществлять на любых участках трубопроводов, в первую очередь при оттаивании грунта вокруг трубопровода в зимнее время ("горячие" участки).

3.4. Катодную защиту можно применять при полном промерзании грунта вокруг трубопровода в зимний период ("холодные" участки).

3.5. При выборе участков применения катодной защиты целесообразно учитывать в равной степени температурный режим окружающего трубопровод грунта и наличие источников электроэнергии. В случае необходимости катодную защиту можно заменить на "холодных" участках электрохимической защитой с помощью протяженных протекторов.

3.6. При проектировании допускается сочетание на одном "горячем" участке одновременно катодной и протекторной защиты. В этом случае необходимо предусмотреть возможность отключения протекторов на летний период с тем, чтобы защита от почвенной коррозии в это время осуществлялась катодными станциями.

3.7. Конструкцию анодного заземления в установке катодной защиты следует выбирать, исходя из физико-химических характеристик грунта и условий заложения трубопровода.

3.8. В условиях вечномерзлых грунтов можно применять анодные заземления четырех типов: поверхностное, свайное, мерзлотное и глубинное.

3.9. Поверхностные заземления можно изготавливать из стандартных электродов или отрезков труб, размещенных горизонтально в сезонноталом слое небольшой мощности (до 3 м).

3.10. Свайные заземления изготавливают из отрезков труб длиной не менее 10 м. Их можно применять при мощности сезонноталого слоя более 5 м.

3.11. Мерзлотные заземления представляют собой искусственные талые полости ("талики") в толще слоя вечномерзлых грунтов с введенными в них стандартными электродами из малорастворимых материалов.

3.12. Глубинное заземление из стандартных электродов следует размещать под слоем вечномерзлых грунтов в пластах наибольшей проводимости.

3.13. Тип применяемого анодного заземления следует выбирать только на основании сравнительного технико-экономического расчета различных вариантов.

3.14. Источники тока в установках катодной защиты должны отвечать следующим специальным требованиям, учитывающим условия их работы:

- а) обеспечивать надежность работы в условиях нерегулярного технического осмотра и профилактического обслуживания;
- б) бесперебойно подавать постоянный ток в систему защиты в условиях низких температур и цикличности включения нагрузки;
- в) иметь автоматизированную систему контроля работы и дистанционную сигнализацию о выходе из строя.

3.15. Выбор источников тока для установок катодной защиты следует осуществлять на основании результатов расчета следующих параметров:

- а) диапазона изменения защитного тока;
- б) диапазона допустимых изменений защитных потенциалов;
- в) сопротивления растеканию анодного заземления;
- г) места установки анодного заземления.

3.16. При чередовании подземных и наземных (с засыпкой) участков трубопровода с надземными необходимо предусмотреть возможное влияние на систему катодной защиты железобетонных или металлических опор надземного участка, а также необходимость защиты от коррозии самого трубопровода в местах электрического

контакта его с этими опорами. Установки катодной защиты на подземных участках трубопровода, непосредственно примыкающих к надземным участкам, должны иметь запас мощности не менее 40% от расчетной величины.

3.17. Короткие надземные участки должны быть учтены в общей системе защиты от почвенной коррозии как подземные. При надземной прокладке короткие подземные участки трубопроводов следует защищать наложенным током с соблюдением всех требований настоящей Инструкции.

4. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

4.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРУБОПРОВОДА

4.1.1. К электрическим параметрам трубопровода относятся:

- а) продольное электрическое сопротивление γ_t , Ом/м (прил.3);
- б) переходное сопротивление R_t , Ом·м;
- в) входное сопротивление Z_t , Ом;
- г) постоянная затухания тока α_t , 1/м;
- д) естественная разность потенциалов "сооружение-земля" U_e , В.

4.1.2. Продольное электрическое сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$\gamma_t = \frac{\rho_{t,c} [1 - \beta \rho (20 - t)]}{\pi (D_t - \delta) \delta^2}, \quad (3)$$

где $\rho_{t,c}$ – удельное сопротивление трубной стали

$$(\approx 0,245 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}});$$

$\beta \rho$ – температурный коэффициент сопротивления стали, $0,006 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

t – температура транспортируемого продукта, $^{\circ}\text{C}$;

D_t – диаметр трубопровода, мм;

δ – толщина стенки трубопровода, мм.

4.1.3. Переходное сопротивление трубопровода при наличии подстилающего слоя вечномерзлых грунтов можно рассчитать по формуле

$$R_t = R_{u3} + \frac{\rho_{st}}{\pi} \sum_{i=1}^{R_{\infty}} K_o (\alpha_t, R_i), \quad (4)$$

где R_{uz} – сопротивление изоляции, Ом·м;
 ρ_{zt} – удельное сопротивление грунта при температуре эксплуатации трубопровода, Ом·м;
 $K_0(\alpha_r, R_i)$ – функция Бесселя второго рода нулевого порядка;
 R_i – расстояние между трубопроводом и i -й точкой земли, м.

4.I.4. В первом приближении функция Бесселя Ко (V) может быть заменена:

$$K_0(V) = \ln \frac{1.12}{V} \quad (\text{для } V \leq 0,5)$$

или

$$K_0(V) = e^{-V} \sqrt{\frac{\pi}{2V}} \quad (\text{для } V > 0,5).$$

4.I.5. С учетом замены функции Бесселя переходное сопротивление трубопровода при наличии подстилающего слоя вечномерзлых грунтов можно рассчитать по формуле

$$R_T = R_{uz} + \frac{\rho_{zt}}{\pi} \left[\sum_{n=1}^A \ln \frac{35,5}{\alpha_r \sqrt{D_r n H}} + \sum_{n=A}^{\infty} \sqrt{\frac{31,6 \pi}{24 \sqrt{D_r n H}}} e^{-0,03 \alpha_r \sqrt{D_r n H}} \right], \quad (5)$$

где H – глубина заложения трубопровода, м;
 A – предел слагаемых ряда по n .

4.I.6. При условии изменения величин:

$$\alpha_r = 10^{-3} + 10^{-5} 1/m; D_r \leq 2500 \text{ мм}; H \leq 3 \text{ м}$$

величину переходного сопротивления трубопровода при наличии подстилающего слоя вечномерзлых грунтов можно приближенно определить по формуле

$$R_T = R_{uz} + 0,4 \rho_{zt}. \quad (6)$$

4.I.7. Фактическую величину удельного сопротивления талого грунта с учетом его реальной температуры определяют по формуле:

$$\rho_{zt} = \frac{40 \rho_{18}}{22,0 + t_2} \quad (\text{для } t_2 \geq 0^\circ\text{C}), \quad (7)$$

где ρ_{18} – удельное сопротивление грунта при 18°C , Ом·м.

4.1.8. Удельное сопротивление мерзлого грунта с учетом его реальной температуры в первом приближении можно оценить по графикам (рис.3 и 4).

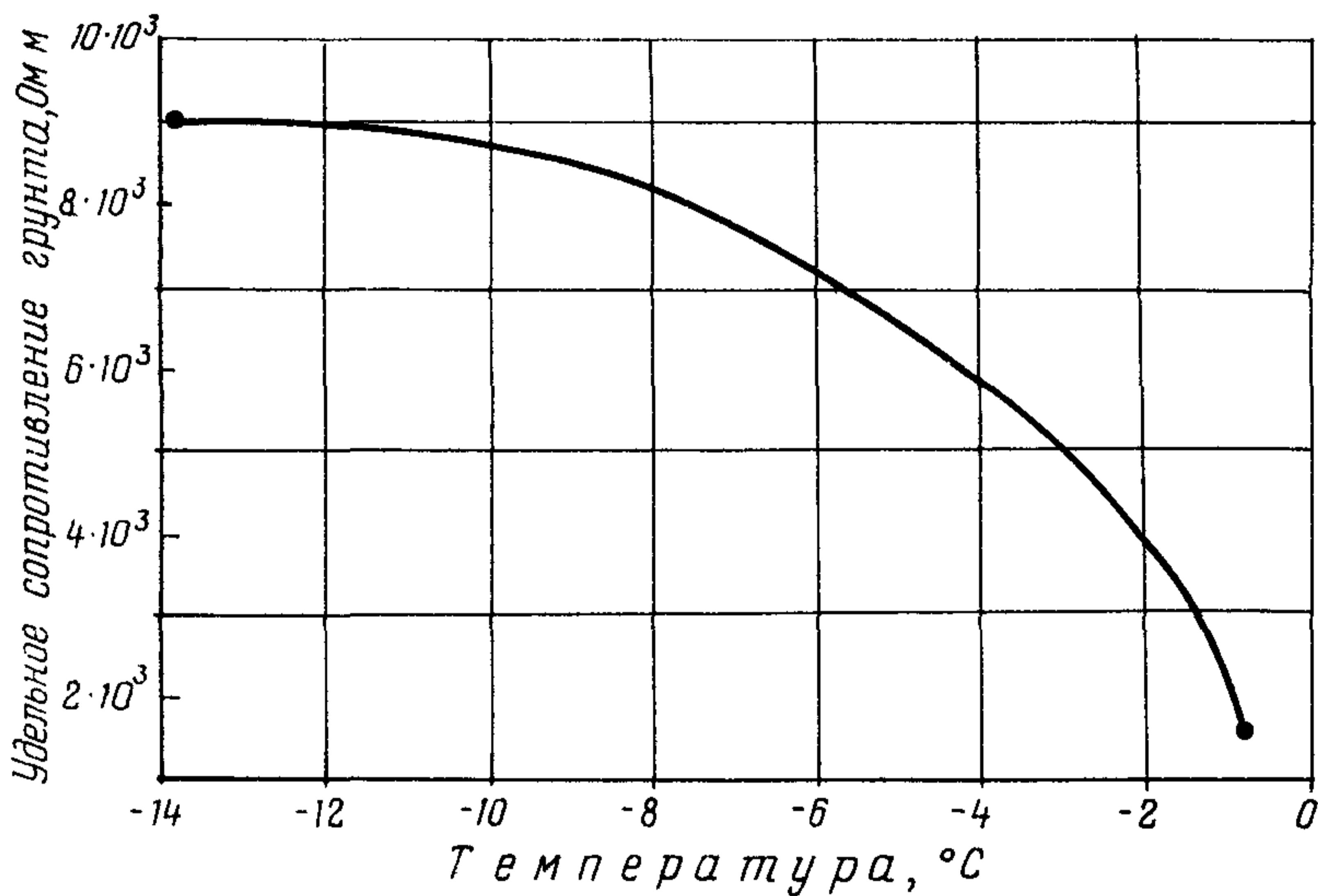


Рис.3. Зависимость сопротивления грунта (мерзлой супеси) от температуры (по данным А.Т.Акимова)

4.1.9. Среднюю величину удельного сопротивления грунта по трассе трубопровода определяют по формуле

$$\bar{\rho}_{zt} = \frac{L^2}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{l}{\sqrt{\rho_{it}}} \right)^2}, \quad (8)$$

где $\bar{\rho}_{zt}$ — средняя величина удельного сопротивления грунта, Ом·м;
 L — общая длина рассматриваемого участка трассы трубопровода, м;
 n — число отдельных участков трассы с различным удельным сопротивлением грунта;

- l - длина i -го участка трассы, м;
 ρ_{it} - удельное сопротивление грунта i -го участка трассы, Ом·м;
 i - порядковый номер участка трассы трубопровода.

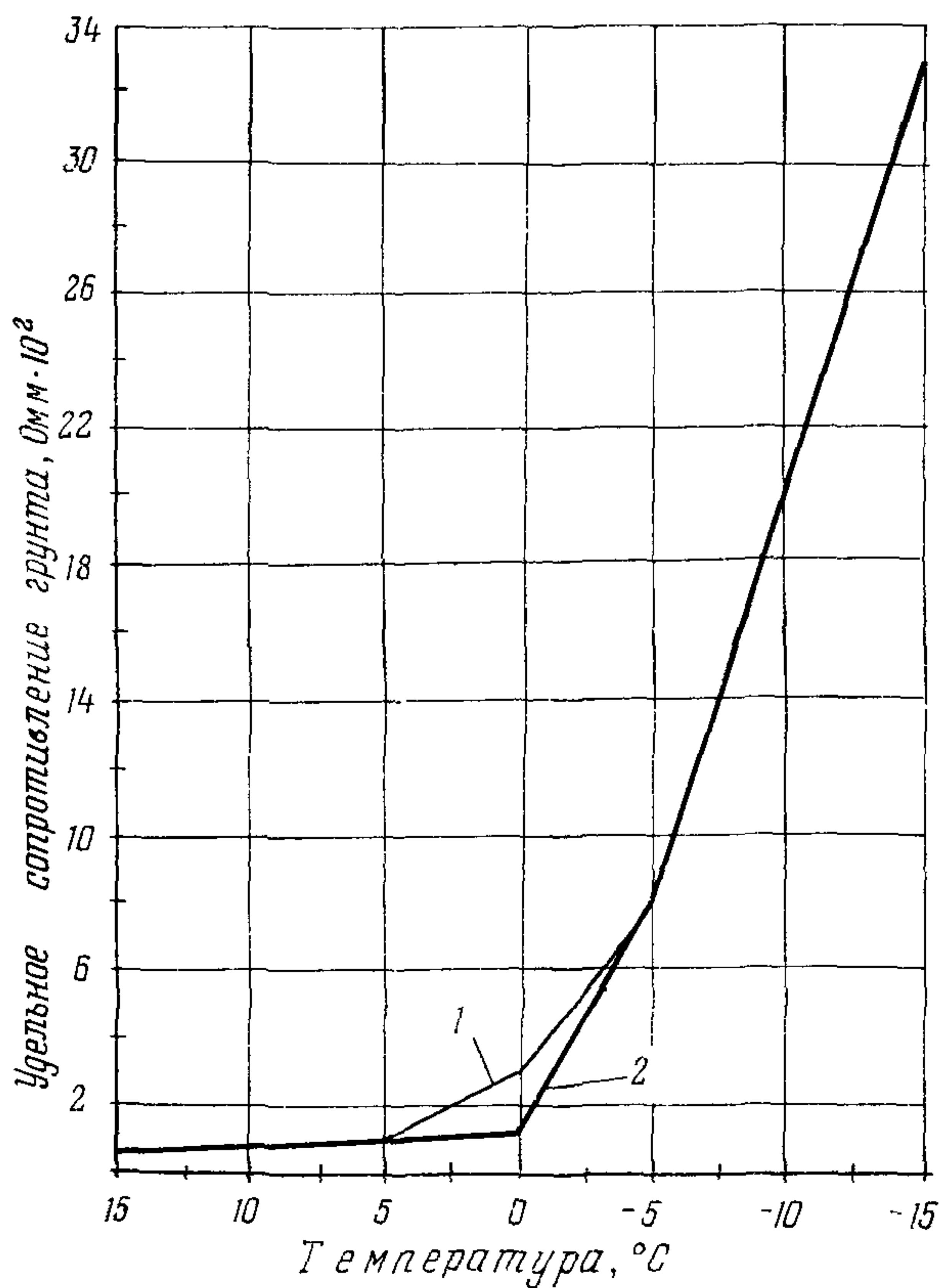


Рис.4. Зависимость сопротивления грунта (тощей глины, содержащей 15,2% влаги) от температуры:
1-лед; 2-вода

4.1.10. Постоянную затухания тока вдоль сооружения определяют по формуле

$$\alpha_t = \sqrt{\frac{z_t}{R_t}} . \quad (9)$$

4.1.11. Входное сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$Z_t = \frac{1}{2} \sqrt{z_t R_t} . \quad (10)$$

4.1.12. При различных электрических параметрах левого Z_l и правого Z_n (от точки присоединения катодной установки) плеч трубопровода его входное сопротивление Z_t определяют по формуле

$$Z_t = \frac{Z_n Z_l}{Z_n + Z_l} . \quad (II)$$

4.2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТРУБОПРОВОДА

4.2.1. Подземные и наземные (с засыпкой) трубопроводы находятся в температурном взаимодействии с окружающим грунтом.

4.2.2. При транспортировке "горячего" продукта по подземному трубопроводу происходит разогрев окружающего грунта, что создает "рубашку" талого грунта вокруг трубопровода при общем его промерзании в зимнее время. В летний период такие условия эксплуатации трубопровода вызывают местное понижение верхней границы слоя вечномерзлых грунтов.

4.2.3. При синхронном изменении температуры продукта в трубе и температуры наружного воздуха в зимнее время происходит усиленное промерзание грунта вокруг трубопровода (в первую очередь на подземных участках надземных трубопроводов). Это вызывает изменение сроков начала и конца оттаивания и промерзания при смене времен года.

4.2.4. Для учета влияния температурного режима транспортировки продукта по трубопроводу на параметры электрозащиты следует установить:

- а) срок эксплуатации трубопровода, годы;
- б) температуру перекачиваемого продукта, °С;
- в) диаметр зоны протаивания, м;
- г) среднюю температуру грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода, °С;
- д) расчетную величину удельного сопротивления грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода, Ом·м.

4.2.5. Величину диаметра зоны протаивания можно определять по графикам (рис.5 и 6 , по данным ВНИИгаза).

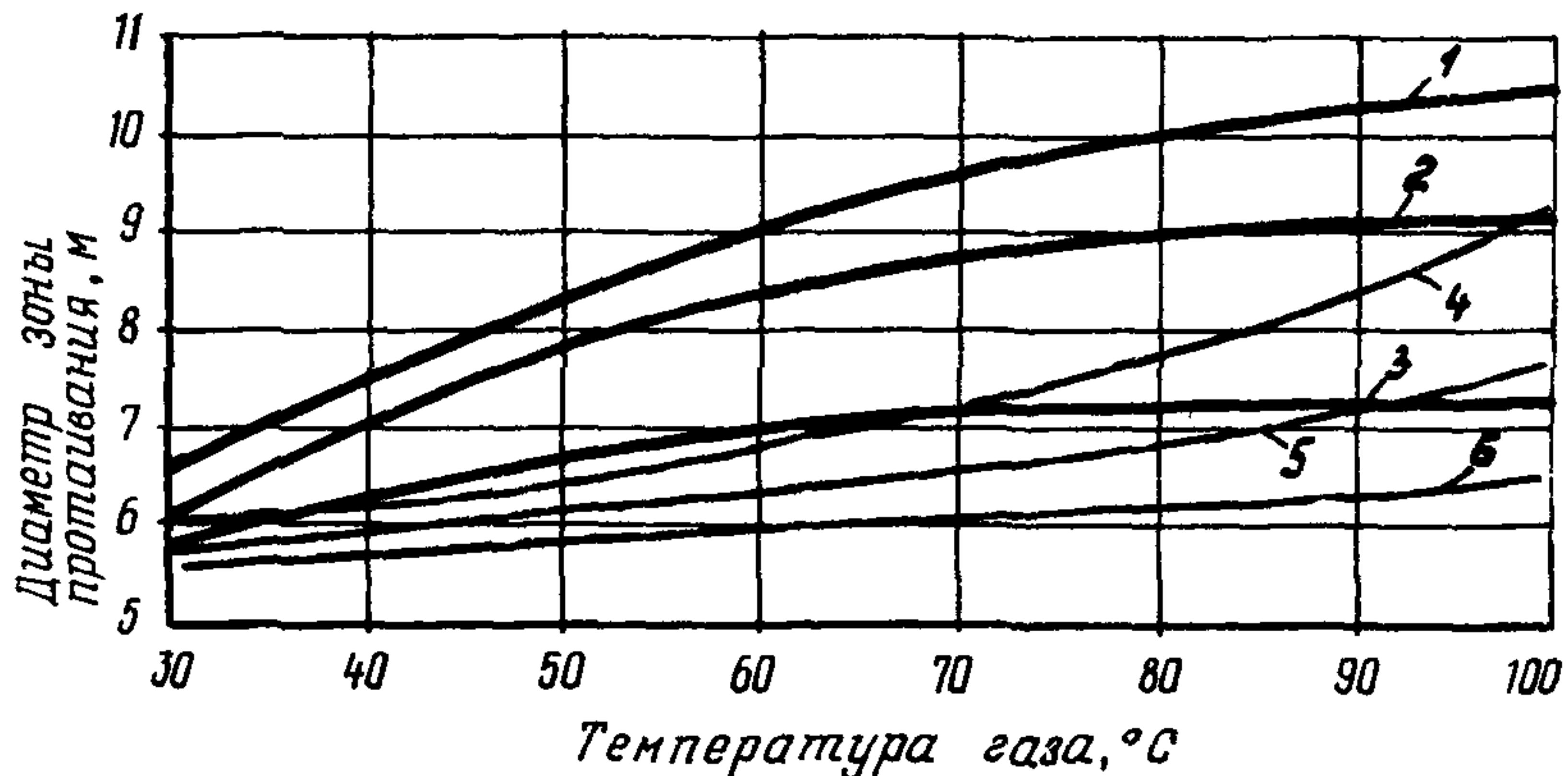


Рис.5. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе на первый год эксплуатации:

1-мерзлый грунт, диаметр трубы 1020-1420 мм;
2-талый грунт, диаметр трубы 1420 мм;
3-талый грунт, диаметр трубы 1020 мм;
4-мерзлый грунт, диаметр трубы 1020-1420 мм;
5-талый грунт, диаметр трубы 1420 мм;
6-талый грунт, диаметр трубы 1020 мм

} на январь
} на апрель

4.2.6. Среднюю температуру грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода на отдельных его участках можно определять по формуле

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{4}, \quad (I2)$$

где t_{2c} – средняя температура грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода, $^{\circ}\text{C}$;
 t_1 – температура продукта в начале участка зоны протаивания, $^{\circ}\text{C}$;
 t_2 – температура продукта в конце участка зоны протаивания, $^{\circ}\text{C}$.

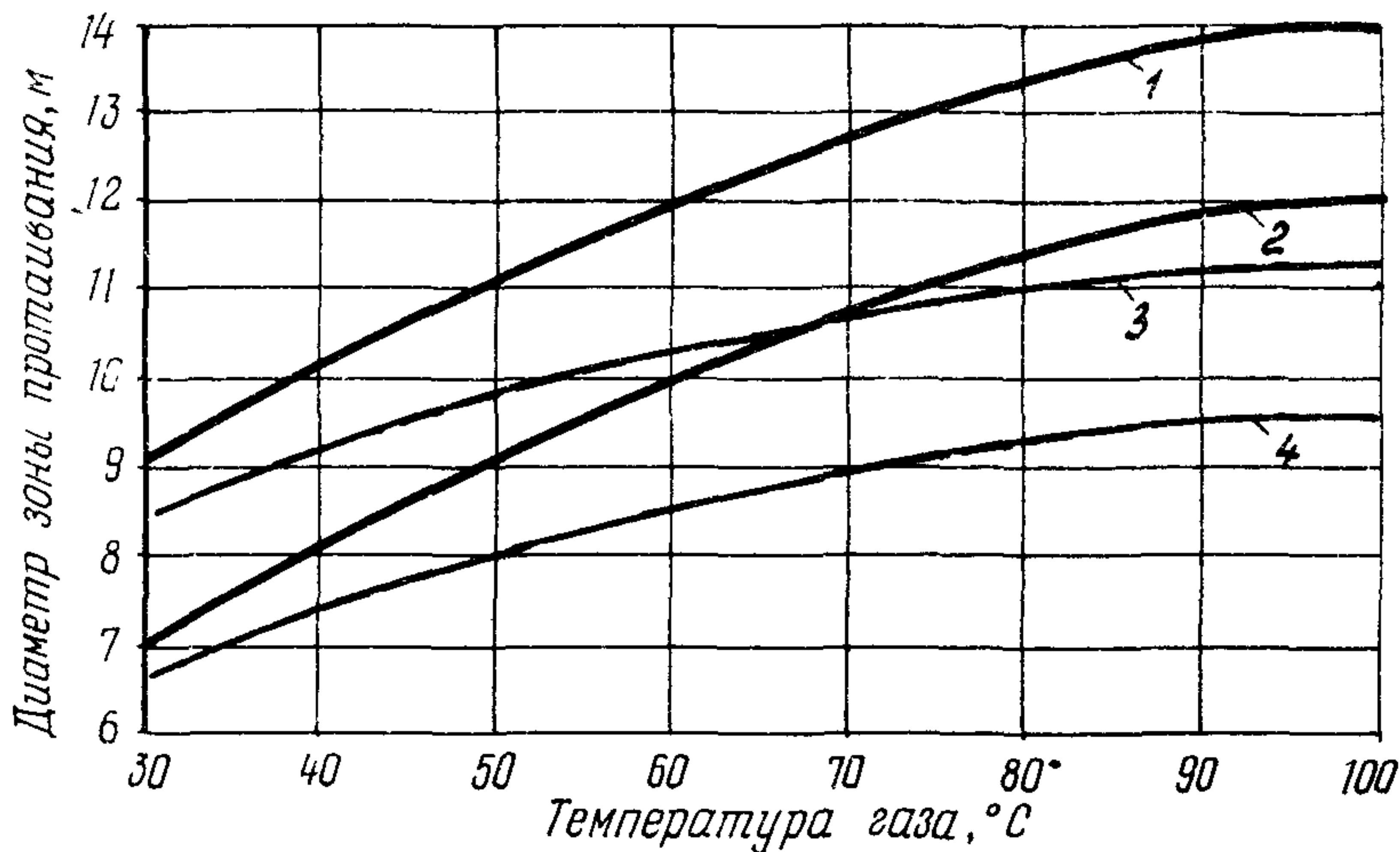


Рис.6. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе через три года эксплуатации:

1-мерзлый грунт, диаметр трубы 1420 мм; 2-мерзлый грунт, диаметр трубы 1020 мм; 3-talый грунт, диаметр трубы 1420 мм;
4-talый грунт, диаметр трубы 1020 мм

4.3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

4.3.1. При расчете параметров катодной защиты должны быть определены следующие величины:

- распределение защитных потенциалов вдоль трубопровода;
- защитный ток установок катодной защиты;
- протяженность защитной зоны одной установки катодной защиты;

- г) сопротивление анодного заземления;
- д) мощность установок катодной защиты.

4.3.2. Распределение защитных потенциалов вдоль трубопровода может быть определено по формуле

$$U_t = U_e + U_o e^{-\alpha_t x}, \quad (I3)$$

где U_t – защитный потенциал в точке трубопровода с координатой X, B ;

U_o – наложенный потенциал в точке дренажа, В;

x – текущая координата, м.

При наличии подстилающего слоя вечномерзлых грунтов в первом приближении для условий, указанных в п.4.1.6, распределение потенциалов вдоль трубопровода можно определить по формуле

$$U_t = U_e + 0,2 J \rho_{st} \alpha_t e^{-\alpha_t x}, \quad (I4)$$

где J – принятая величина защитного тока установки катодной защиты, А.

4.3.3. При условии снижения сопротивления изоляции трубопровода до величины не более 300 Ом·м на участках с подстилающим слоем вечномерзлых грунтов наложенный потенциал трубопровода в точке дренажа возрастает в 1,2-1,4 раза по сравнению с монослоистым грунтом того же удельного сопротивления (для постоянных значений диаметра трубопровода, защитного тока установки катодной защиты и длины защитной зоны одной установки).

4.3.4. Величину защитного тока установки катодной защиты на выбранных участках трубопровода можно определить по формуле

$$J = \frac{2,4 e^{\alpha_t L} (U_m - U_e)}{\alpha_t R_t}. \quad (I5)$$

4.3.5. При условии снижения сопротивления изоляции трубопровода до величины не более 300 Ом·м на участках с подстилающим слоем вечномерзлых грунтов необходимый защитный ток установки катодной защиты возрастает в 1,5-2,2 раза по сравнению с монослоистым грунтом того же удельного сопротивления (для постоянных значений диаметра трубопровода, длины защитной зоны установки катодной защиты и минимального защитного потенциала в конце защитной зоны).

4.3.6. Максимально допустимую величину защитного тока установки катодной защиты можно определить по формуле

$$I_g = \frac{U_{T_{\max}} - U_e}{0,2 \rho_{st} \alpha_t}, \quad (I6)$$

где I_g – максимально допустимая величина защитного тока установки катодной защиты, А;

$U_{T_{\max}}$ – максимально допустимый защитный потенциал, В.

4.3.7. При условии снижения сопротивления изоляции трубопровода до величины не более 300 Ом·м на участках с подстилающим слоем вечномерзлых грунтов максимально допустимая величина защитного тока установки катодной защиты снижается в 1,2–1,4 раза по сравнению с монослоистым грунтом того же удельного сопротивления (для постоянных значений диаметра трубопровода и максимально допустимого защитного потенциала).

4.3.8. Протяженность защитной зоны одной установки катодной защиты можно определить по формуле

$$L_3 = \frac{\ln J + \ln \frac{\alpha_t R_t}{2,4(U_{M_t} - U_e)}}{10^3 \alpha_t}, \quad (I7)$$

где L_3 – протяженность защитной зоны, км.

4.3.9. При условии снижения сопротивления изоляции трубопровода до величины не более 300 Ом·м на участках с подстилающим слоем вечномерзлых грунтов протяженность защитной зоны одиночной установки катодной защиты сокращается на 20–30% по сравнению с монослоистым грунтом того же удельного сопротивления (для постоянных значений диаметра трубопровода, необходимого защитного тока установки катодной защиты и минимального защитного потенциала в конце защитной зоны).

4.3.10. Взаимное влияние смежных установок катодной защиты может быть учтено с помощью метода суперпозиции. В этом случае во всех расчетных формулах величину $U_{M_t} - U_e$ следует сократить вдвое.

4.3.11. Без учета влияния слоистости среды и промерзания верхнего слоя грунта сопротивление поверхностного анодного заземления в первом приближении можно определять по обычным формулам, применяемым в практике катодной защиты.

4.3.12. Для расчета сопротивления поверхностного анодного заземления в двухслойной среде при промерзании сверху следует использовать данные о сопротивлении растеканию стандартных электродов (3-метровой длины), приведенные на рис.7-9.

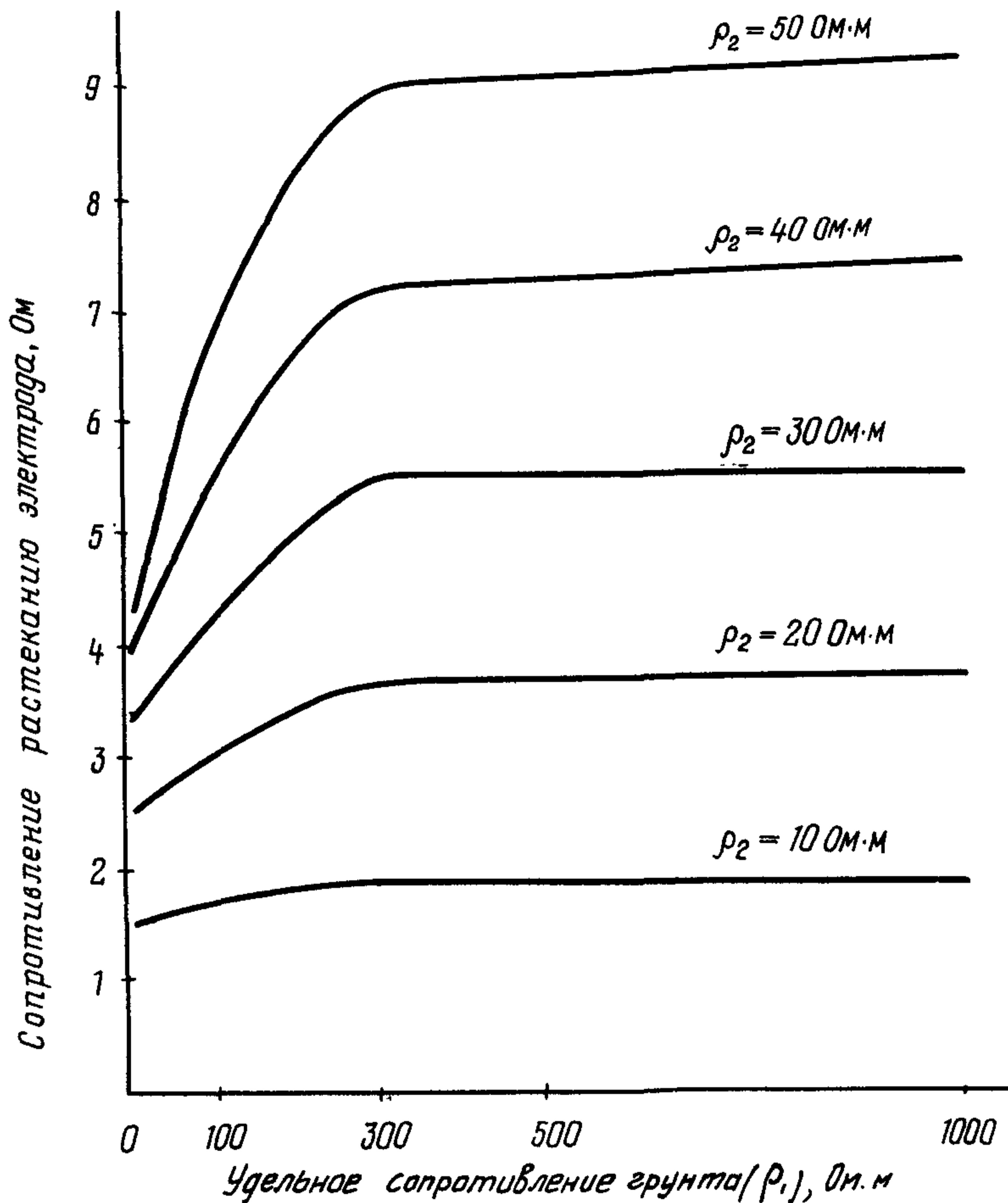


Рис.7. Зависимость сопротивления растеканию анодного заземления от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания H , равной 2 м:

ρ_1 — удельное сопротивление промерзающего покровного слоя грунта; ρ_2 — удельное сопротивление талого подстилающего слоя грунта

4.3.13. Уточненный расчет сопротивления растеканию одиночного вертикального электрода с учетом слоистой структуры грунта в условиях промерзания его сверху (рис.10) можно выполнять на электронно-вычислительной машине класса "Мир-І" по прилагаемой программе (прил.І,2).

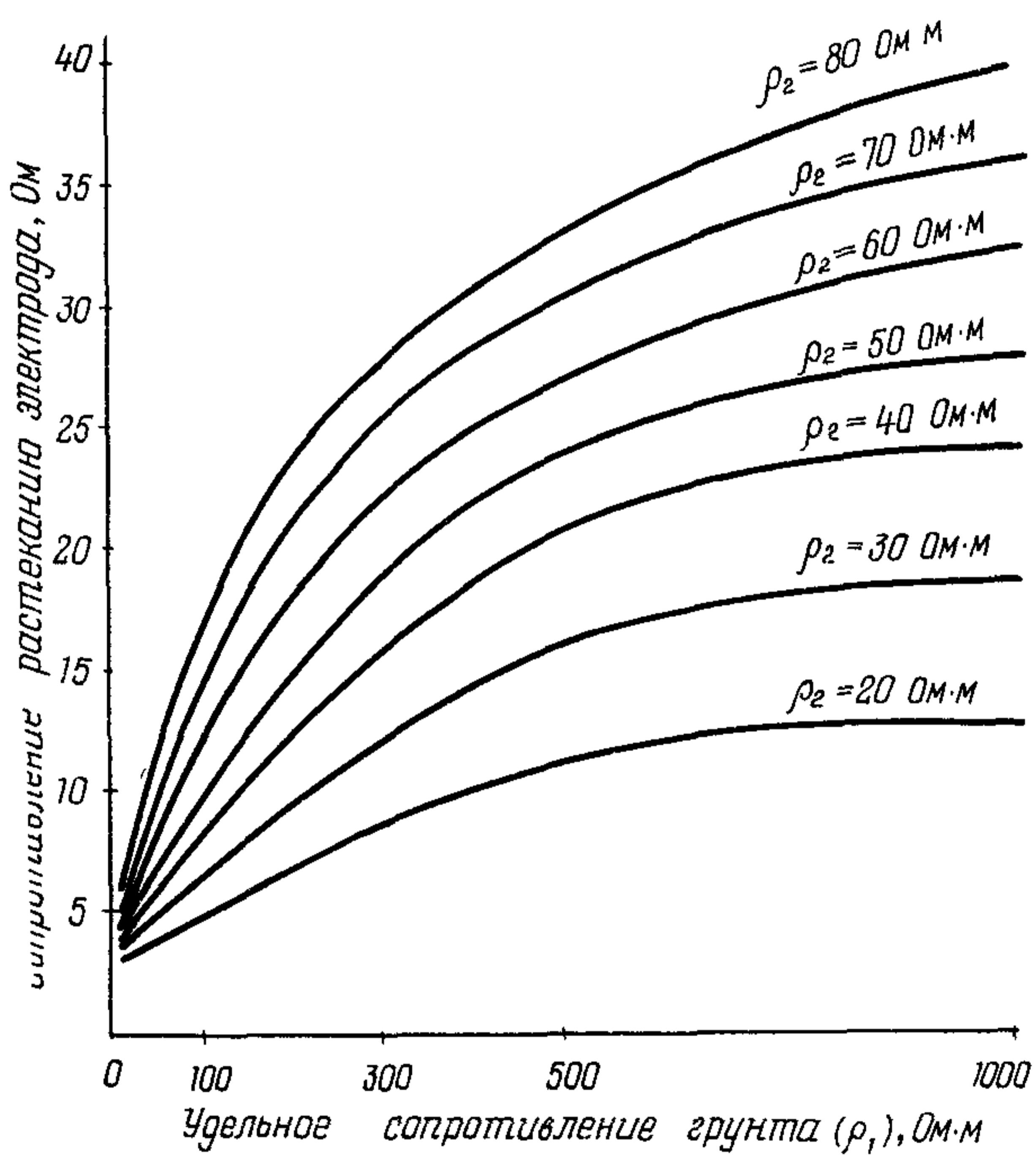


Рис.8. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 3 м

4.3.14. Сопротивление одной сваи без активатора для свайного анодного заземления в первом приближении без учета экранирующего влияния границы раздела талой и мерзлой сред можно определить по формуле

$$R_c = 0,16 \rho_{it} K \frac{\ln \frac{4H_m}{d_c} \ln \frac{2(l_c - H_m)}{d_c} \sqrt{\frac{3l_c + H_m}{l_c + 3H_m}}}{(l_c - H_m) \ln \frac{4H_m}{d_c} + KH_m \ln \frac{2(l_c - H_m)}{d_c} \sqrt{\frac{3l_c + H_m}{l_c + 3H_m}}}, \quad (I8)$$

где R_c – сопротивление свай без активатора, Ом;
 ρ_{it} – удельное сопротивление талого грунта при реальной температуре эксплуатации заземления, Ом·м;
 H_m – мощность слоя сезонноталого грунта, м;
 l_c – длина свай, м;
 d_c – диаметр свай, м;
 K – коэффициент преломления,
 $K = \frac{\rho_{2t}}{\rho_{it}}$,
 ρ_{2t} – удельное сопротивление мерзлого грунта при реальной температуре эксплуатации заземления, Ом·м.

4.3.15. Сопротивление одной сваи с солевой обработкой грунта вокруг нее в первом приближении без учета экранирующего влияния границы раздела талой и мерзлой сред можно определить по формуле

$$R_c = 0,16 \rho_{it} K \frac{\left(\frac{10}{K \rho_{it}} + \ln \frac{1,3l_c - H_m}{10d_c} \sqrt{\frac{3,3l_c + H_m}{0,7l_c + 3H_m}} \right) \ln \frac{4H_m}{d_c}}{(3l_c - 2H_m) \ln \frac{4H_m}{d_c} + KH_m \ln \frac{1,3l_c + H_m}{10d_c} \sqrt{\frac{3,3l_c + H_m}{0,7l_c + 3H_m}} + \frac{10H_m}{\rho_1}}. \quad (I9)$$

4.3.16. Сопротивление мерзлотного заземления можно определить по формуле

$$R_M = \frac{\rho_m}{\pi} \left(\frac{1}{8h_t} + \frac{1}{2d_t} \right) + R_{AT}, \quad (20)$$

где ρ_m – удельное сопротивление вечномерзлого грунта, Ом·м;
 h_t – глубина заложения геометрического центра талика, м;
 d_t – диаметр талика, м;
 R_{AT} – сопротивление растеканию токоввода в талик без учета влияния вечномерзлого грунта, Ом.

4.3.17. Сопротивление одиночного электрода глубинного анодного заземления, установленного под слоем вечномерзлого грунта, можно рассчитать по формуле

$$R_{gr} = \frac{\rho_{ct}}{2\pi l} \ln \frac{2l}{d} \sqrt{\frac{2t + \frac{e}{2}}{2t - \frac{e}{2}}}, \quad (21)$$

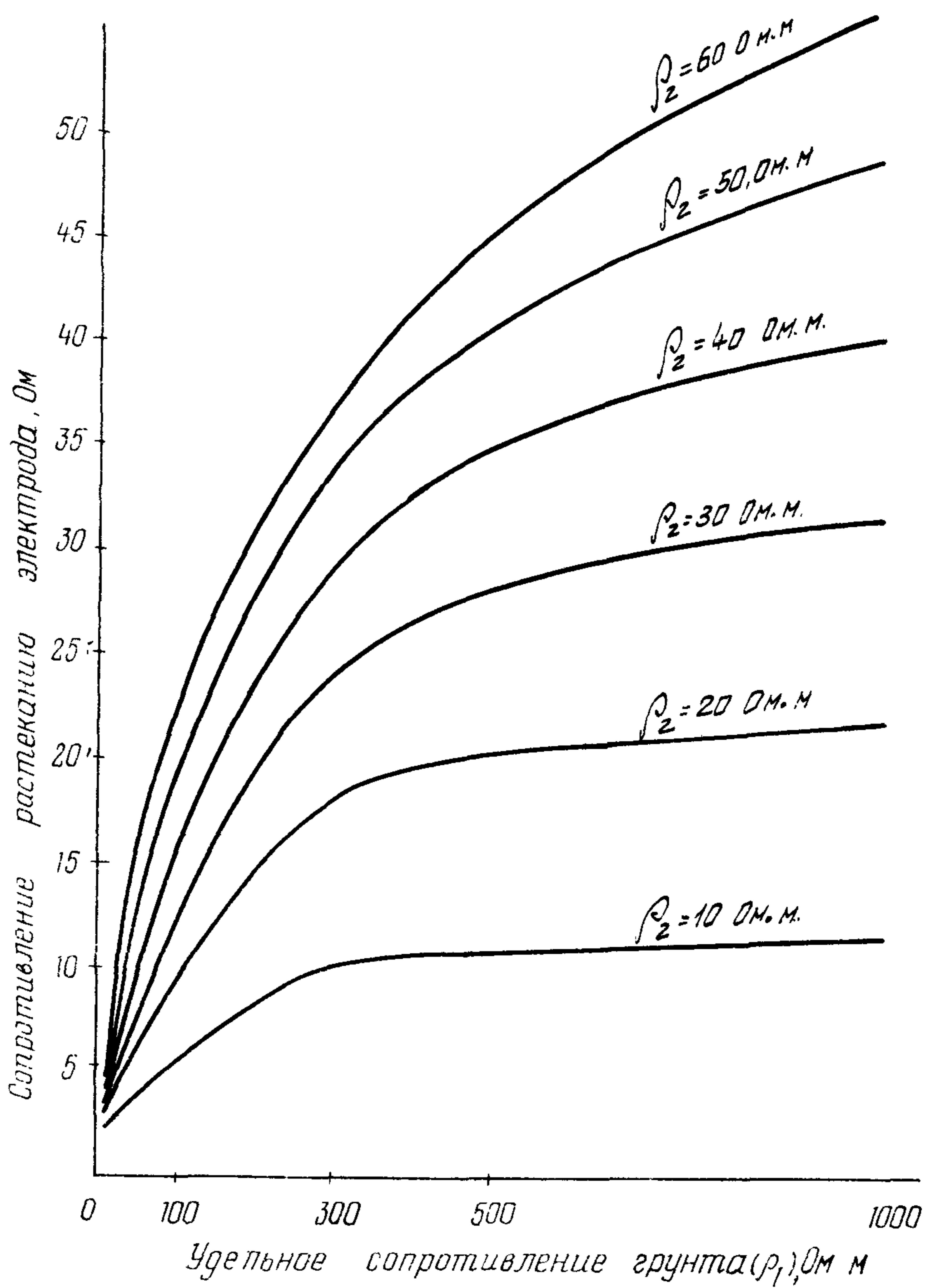


Рис.9. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 4 м

где R_{er} – сопротивление растеканию одиночного электрода без учета влияния остальных электродов, Ом; ρ_{ct} – приведенное значение удельного сопротивления грунта с учетом влияния слоя вечной мерзлоты, Ом·м; l – длина электрода, м; d – диаметр электрода, м; t – глубина заложения центра электрода, м.

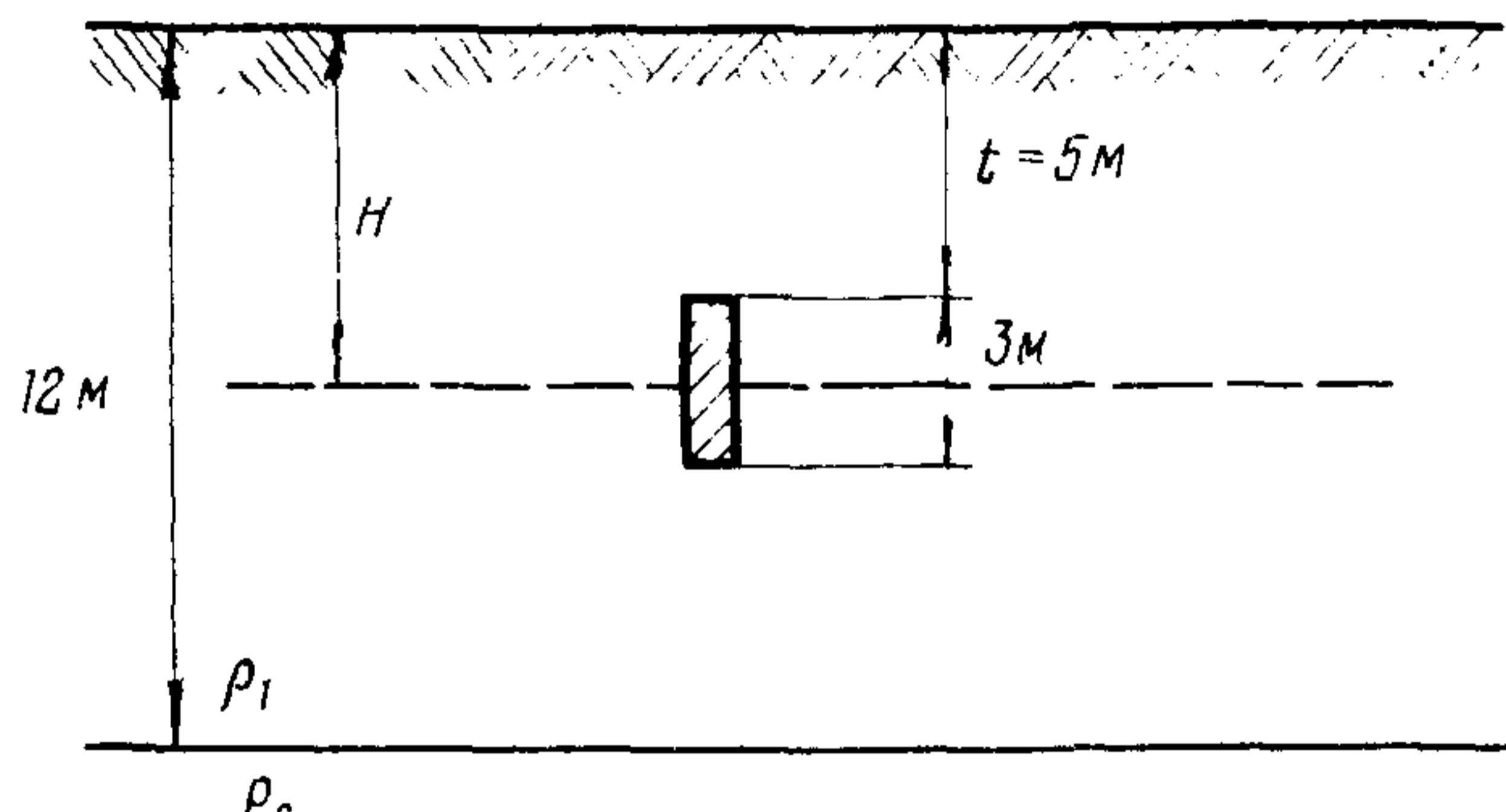


Рис.10. Расчетная схема для определения сопротивления растеканию одиночного вертикального электрода в двухслойной среде с учетом промерзания грунта

4.3.18. Приведенное значение удельного сопротивления грунта с учетом влияния слоя вечной мерзлоты можно рассчитать по формулам:

$$\rho_{ct} = 0,1 K_3 \frac{t}{h_M} \rho_A \quad (\text{для летнего периода}); \quad (22)$$

$$\rho_{ct} = 0,7 K_3 \frac{t}{h_M} \rho_A \quad (\text{для зимнего периода}), \quad (23)$$

где h_M – мощность слоя вечномерзлого грунта, м; ρ_A – удельное сопротивление слоя грунта, в котором установлен электрод глубинного анодного заземления, Ом·м; K_3 – коэффициент экранирования слоя вечной мерзлоты;

$$K_3 = \ln \frac{240h_M}{2h_A - y + \sqrt{h_M/h_M - h_A}}, \quad (24)$$

h_A – расстояние от центра анодного заземления до подошвы слоя вечномерзлого грунта, м.

4.3.19. Сопротивление глубинного анодного заземления под слоем вечной мерзлоты с учетом сопротивления растеканию составляющих его анодров можно рассчитать по обычной методике для монослоистого грунта.

4.3.20. Сопротивление растеканию поверхностного анодного заземления с учетом экранирующего влияния слоя вечномерзлого грунта в первом приближении можно рассчитать по обычным формулам, используя величину эквивалентного удельного сопротивления монослоистого грунта, определяемую по формуле

$$\rho_3 = 1,6 \rho_{CAT} K_{31} y \left[\frac{1}{h_{CA}} - \frac{\rho_{CAT}}{h_M(\rho_M + \rho_{CAT})} \right], \quad (25)$$

где

- ρ_3 – эквивалентное удельное сопротивление монослоистого грунта, Ом·м;
- ρ_{CAT} – удельное сопротивление слоя сезонноталого грунта, Ом·м;
- y – расстояние между анодным заземлением и трубопроводом, м;
- h_{CA} – мощность слоя сезонноталого грунта, м;
- K_{31} – коэффициент экранирования слоя вечной мерзлоты;

$$K_{31} = \ln \frac{240h_M}{2h_{CA} - y + \sqrt{h_M/h_M - h_{CA}}}. \quad (26)$$

4.3.21. Необходимую мощность установок катодной защиты рассчитывают с коэффициентом запаса 1,2 на неравномерность распределения тока по окружности трубы по обычной методике с учетом известных значений защитного тока и сопротивления анодного заземления, а также возможного изменения продольного сопротивления соединительных проводов и кабелей при сезонном изменении температуры воздуха и грунта.

4.4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ

4.4.1. При осуществлении протекторной защиты могут быть три случая расчета ее параметров:

- а) при установке литых протекторов для работы в сезонноталом слое грунта в летнее время;
- б) при установке литых протекторов для круглогодичной работы, в том числе в условиях зоны протаивания грунта вокруг трубопровода на "горячих" участках в зимнее время;
- в) при установке протяженных протекторов для круглогодичной работы.

4.4.2. При установке литых протекторов для работы в сезонноталом слое грунта в летнее время следует применять групповое размещение электродов.

4.4.3. Параметры протекторной защиты для работы в сезонноталом слое грунта следует рассчитывать по обычной методике, используя в качестве расчетного параметра эквивалентное удельное сопротивление монослойного грунта [формула (25)], учитываящее экранирующее влияние подстилающего слоя вечномерзлого грунта.

4.4.4. При установке литых протекторов для круглогодичной работы, в том числе в условиях зоны протаивания вокруг трубопровода на "горячих" участках в зимнее время, допустимо использовать одиночные электроды, размещая их в пределах талого грунта.

4.4.5. В грунтах с удельным сопротивлением до 25 Ом·м в качестве одиночных электродов могут быть использованы протекторы ПМ 10/2-Мл16, обеспечивающие защитный ток не менее 100mA. Для обеспечения защитного тока в тех же пределах в грунтах с удельным сопротивлением 25-100 Ом·м необходимо устанавливать группы из трех протекторов указанного типа.

4.4.6. При расчете параметров протекторных установок в зоне протаивания вокруг трубопровода должны быть определены следующие параметры:

- а) электрические характеристики зоны протаивания;
- б) электрические характеристики протектора;

- в) длина защитной зоны одной протекторной установки;
 г) общее количество протекторов, необходимое для защиты выбранного участка.

4.4.7. Электрические характеристики зоны протаивания определяются средней величиной удельного сопротивления объема протаявшего грунта, которую следует рассчитывать по формуле

$$R_{cp} = \frac{4\rho_e t}{\pi (D_n^2 - D_t^2)}, \quad (27)$$

где R_{cp} - средняя величина удельного сопротивления объема протаявшего грунта, Ом/м;
 D_n - диаметр зоны протаивания, м.

4.4.8. Диапазон изменения средней величины удельного сопротивления объема протаявшего грунта с сопротивлением 50-200 Ом.м приведен в табл.2.

Таблица 2
Средняя величина удельного сопротивления объема протаявшего грунта

Диаметр трубопровода, мм		
800-1000	1000-1500	1500-2500
R_{cp} , Ом/м		
0,04-3,2	0,04-7,6	0,05-8,5

4.4.9. Длина защитной зоны протекторной установки зависит от эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод-оттайший грунт", который определяют по формуле

$$\alpha_3 = \sqrt{\frac{\tau_t + R_{cp}}{R_{T3}}}, \quad (28)$$

где α_3 - эквивалентный коэффициент затухания тока системы "трубопровод-оттайший грунт", А/м;
 R_{T3} - эквивалентное переходное сопротивление трубопровода, Ом.м;

$$R_{T3} = R_{u3} + \frac{\rho_m}{\pi} \ln \frac{f_{12}}{\alpha_3 \sqrt{D_n h_t}}, \quad (29)$$

h_t - глубина заложения трубопровода, м.

4.4.10. Диапазон изменения эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод-оттайший грунт" для тру-

бопроводов с сопротивлением изоляционного покрытия 100-10000 Ом·м приведен в табл.3.

Таблица 3

Эквивалентный коэффициент затухания тока
системы "трубопровод-оттаявший грунт"

Диаметр трубопровода, мм		
800-1000	1000-1500	1500-2500
$\alpha_s, \text{1/m}$		
0,002-0,57	0,002-0,275	0,002-0,135

4.4.11. Длина защитной зоны одной протекторной установки зависит в большей степени от эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод-оттаявший грунт" и мало изменяется при реальных колебаниях удельного сопротивления грунта в процессе работы протектора.

4.4.12. При больших значениях эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод-оттаявший грунт" длина защитной зоны протектора значительно зависит от диаметра зоны протаивания. При малых значениях эквивалентного коэффициента затухания эта зависимость практически не заметна.

4.4.13. Для расчета протекторной защиты следует принять минимально необходимую величину защитного тока и проверить возможность ее обеспечения по переходному сопротивлению протектора с учетом изменения сопротивления грунта при промерзании.

4.4.14. Сопротивление растеканию протектора можно рассчитать по формуле

$$R_n = \frac{\rho_{zt}}{2\pi l_a} \left(\ln \frac{2l_a}{d_a} + \frac{\rho_a}{\rho_{zt}} \ln \frac{d_a}{d_n} \right), \quad (30)$$

где R_n – сопротивление растеканию протектора, Ом;
 ρ_a – удельное сопротивление активатора, Ом·м;
 l_a – длина столба активатора, м;
 d_a – диаметр столба активатора, м;
 d_n – диаметр протектора, м.

4.4.15. Если сопротивление растеканию **одиночного** протектора не позволяет получить от него принятую величину защитного тока, количество протекторов в установке может быть увеличено до обеспечения необходимых параметров защиты.

4.4.16. Длину защитной зоны одной протекторной установки можно рассчитать по формуле

$$l_3 = \frac{2}{\alpha_3} \ln \frac{\frac{U_{np}}{U_{nt}} - \frac{I_n \rho_{2t}}{2\pi D_n}}{\frac{U_{nt}}{2} - \frac{I_n \rho_{2t}}{2\pi l_3}}, \quad (31)$$

где l_3 — длина защитной зоны одной протекторной установки, м;

U_{np} — наложенный потенциал протектора, В;

I_n — ток протекторной установки, А.

4.4.17. Эквивалентное переходное сопротивление трубопровода и длину защитной зоны одной протекторной установки следует определять, решая трансцендентные уравнения выражений (29) и (31) графоаналитическим способом. Для этого, задавая несколько (не менее трех) значений l_3 , или α_3 , в правой части выражений, определяют соответствующие им значения l'_3 и α'_3 , в левой части. После этого строят график изменения функций $l'_3 = f(l_3)$ и $\alpha'_3 = f(\alpha_3)$ в системе координат с равновеликими шкалами и проводят биссектрису из начала координат. Точка пересечения биссектрисы с графиком функции дает решение рассматриваемого уравнения.

4.4.18. Протяженные протекторы для круглогодичной работы следует устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением 50–500 Ом·м, в первую очередь при отсутствии источников энергоснабжения.

4.4.19. Рассчитывать защиту протяженными протекторами следует, исходя из обязательного срока их службы без замены не менее 10 лет.

4.4.20. Срок службы протяженного магниевого протектора рассчитывают по формуле

$$T_p = \frac{0,25 G_m \gamma_p \gamma_n}{j_{cp}}, \quad (32)$$

где T_p — срок службы протектора, лет;

G_m — удельный вес материала протектора, кг/м;

γ_p — коэффициент полезного действия протектора;

$$\gamma_p \approx 0,45 \div 0,55;$$

γ_n — коэффициент использования протектора;

$$\gamma_n \approx 0,75 \div 0,85;$$

j_{cp} – средняя линейная плотность тока протектора за период работы, А/м;

$$j_{cp} = \frac{J_{ph} + J_{pk}}{2 l_n}; \quad (33)$$

l_n – длина работающего участка протектора между точками подключения, м;

J_{ph} – ток протектора в начальный период защиты, А;

J_{pk} – ток протектора в конечный период защиты, А.

4.4.21. Величину тока протектора определяют по формуле

$$J_n = \frac{\Delta U_{pt}}{Z_t + Z_n}, \quad (34)$$

где ΔU_{pt} – действующая разность потенциалов между протектором и трубопроводом, В;

Z_n – входное сопротивление протектора, Ом.

4.4.22. Наложенный потенциал трубопровода в точке подключения перемычки определяют по формуле

$$U_{th} = \frac{J_n R_t}{l_n}, \quad (35)$$

где U_{th} – наложенный потенциал трубопровода, В.

4.4.23. Для обеспечения надежной защиты величина наложенного потенциала трубопровода в точке подключения протектора должна быть по абсолютной величине не менее минус 0,35 В.

4.4.24. Входное сопротивление протяженного протектора на начальный и конечный периоды защиты определяют по формуле

$$Z_n = 0,5 \sqrt{z_n R_{np}} \operatorname{ct} h \alpha_n \frac{l_n}{2}, \quad (36)$$

где α_n – коэффициент затухания тока в протекторе, 1/м;

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{z_n}{R_{np}}};$$

R_{np} – переходное сопротивление протяженного протектора, Ом·м;

z_n – продольное сопротивление протяженного протектора, Ом/м.

4.4.25. Переходное сопротивление протяженного протектора можно рассчитать по формулам:

$$R_{np} = \frac{\rho_2 t}{\pi} \ln \frac{a^2}{\sqrt{\alpha_n h_n D_t h_r}} \quad (\text{для } a \geq 6 \text{ м}); \quad (37)$$

$$R_n = \frac{\rho_{st}}{2\pi} \ln \frac{\alpha^4 + (4\alpha^2 - D_r^2)(h_r^2 - 0,25\alpha D_r)}{d_n h_n D_r h_r} \quad (\text{для } \alpha \geq 0,5 \div 6 \text{ м}), \quad (38)$$

где α – расстояние между протектором и трубопроводом, м;
 h_n – глубина заложения протектора, м.

4.4.26. Продольное сопротивление протяженного протектора на начальный и конечный период защиты можно рассчитать по формулам:

$$\gamma_n = \frac{\rho_{mt}}{0,785(d_n^2 - d_c^2)} \quad (\text{на начальный период}); \quad (39)$$

$$\gamma_n = \frac{\rho_{ct}}{0,785 d_c^2} \quad (\text{на конечный период}), \quad (40)$$

где ρ_{mt} – удельное сопротивление магния при температуре эксплуатации протектора, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

d_c – диаметр стального сердечника протектора, мм;

ρ_{ct} – удельное сопротивление стали при температуре эксплуатации протектора, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

4.4.27. Расстояние между точками подключения протяженного протектора к трубопроводу определяют на конечный период защиты по формуле

$$l_n = \frac{0,56 d_c \sqrt{R_{tm}}}{\sqrt{\rho_{ct}}} , \quad (41)$$

где R_{tm} – минимально допустимое при эксплуатации защиты переходное сопротивление трубопровода, $\text{Ом} \cdot \text{м}^2$.

4.4.28. Минимально допустимое при эксплуатации защиты переходное сопротивление трубопровода следует определять на конечный период ее работы по формуле

$$R_{tm} = \frac{\pi D_r \rho_{st}}{3,3 \frac{2\alpha - D_r}{2\alpha + D_r} - 1} . \quad (42)$$

Зависимость минимально допустимого при эксплуатации защиты переходного сопротивления трубопровода от удельного сопротивления грунта между трубопроводом и протектором для различных диаметров трубы представлена на рис. II.

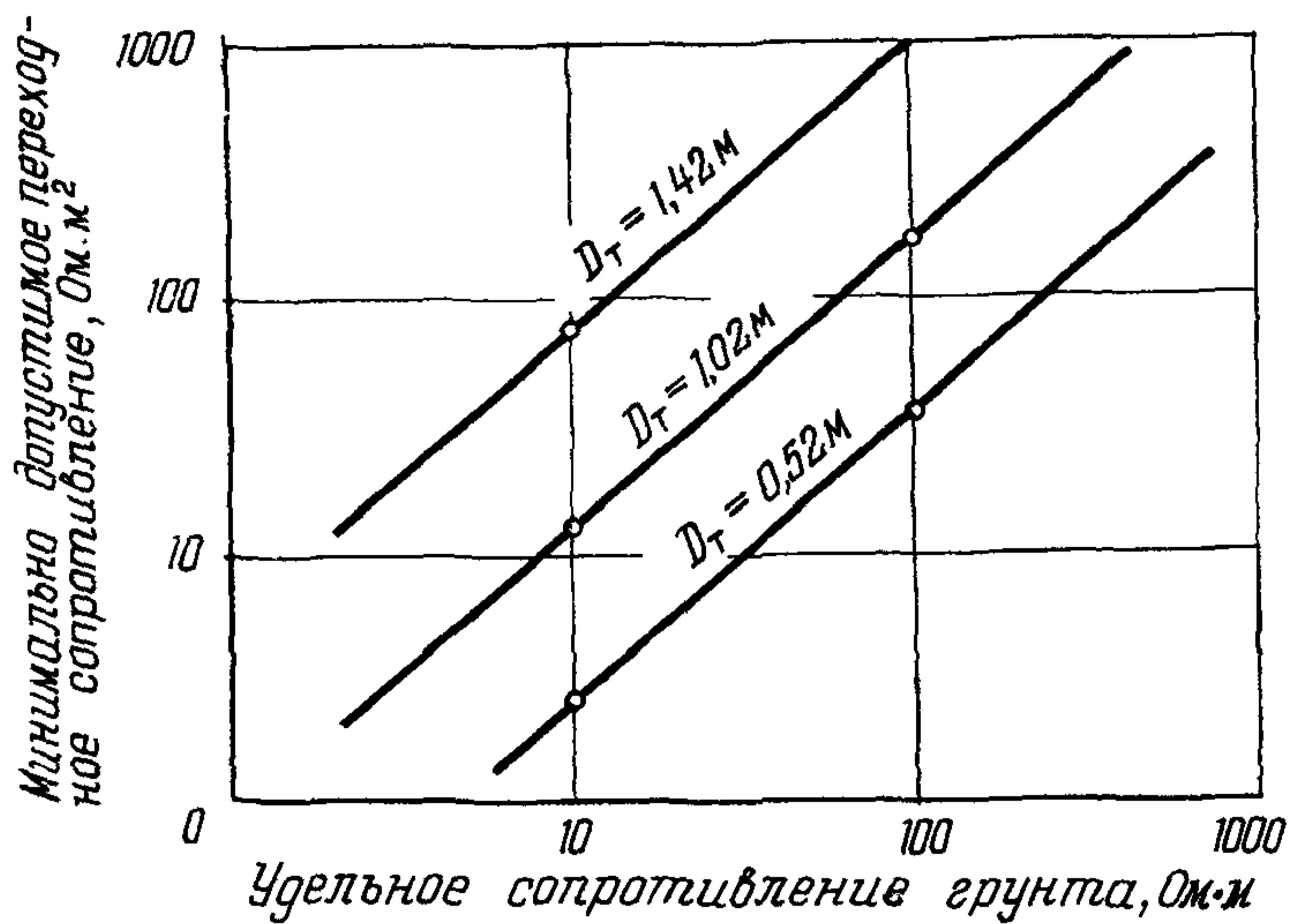


Рис. II. Номограмма для определения допустимых условий применения протяжённых протекторов

4.4.29. Для нормальной эксплуатации защиты расстояние между протяженным протектором и трубопроводом должно удовлетворять соотношению

$$a \geq 5D_T. \quad (43)$$

4.4.30. Протяженные протекторы целесообразно устанавливать в грунтах с удельным сопротивлением не менее 50 Ом·м, что позволяет продлить срок их службы без использования дополнительных нагрузочных сопротивлений.

5. ВЫБОР ПРОТЯЖЕННЫХ ПРОТЕКТОРОВ

5.1. Выбор протяженных протекторов осуществляют, исходя из минимальных требований их размеров, необходимых для обеспечения непрерывной работы без замены по поддержанию требуемого уровня защиты трубопровода.

5.2. Основной критерий для расчета необходимых размеров протяженных протекторов – средняя минимальная рабочая величина плотности защитного тока, которую можно определить по формуле

$$j_{3M} = 0,175 \left(\frac{1}{R_{TH}} + \frac{1}{R_{TK}} \right), \quad (44)$$

где j_{3M} – минимально допустимая плотность защитного тока, A/m^2 ;
 R_{TH} – переходное сопротивление трубопровода в начальный период работы, $\Omega \cdot m^2$;
 R_{TK} – переходное сопротивление трубопровода в конечный период работы, $\Omega \cdot m^2$.

5.3. Необходимую плотность тока протяженного протектора можно определить по формуле

$$j_n = \mathcal{K}_D j_{3M}, \quad (45)$$

где j_n – необходимая плотность тока протяженного протектора, A/m .

5.4. Минимально необходимый удельный вес материала протяженного магниевого протектора можно рассчитать по формуле

$$G_{pm} = \frac{40 j_n}{\gamma_n \gamma_m}, \quad (46)$$

где G_{pm} – минимально необходимый удельный вес материала протектора, kg/m .

5.5. Требуемую площадь сечения материала протяженного протектора определяют по формуле

$$S_m = \frac{10 G_{pm}}{\gamma_m}, \quad (47)$$

где S_m – площадь сечения материала протектора, cm^2 ;
 γ_m – плотность материала протектора, g/cm^3 .

5.6. Минимально допустимый диаметр протяженного протектора можно определить по формуле

$$d_{pm} = \sqrt{1,27 S_m + 0,01 d_c^2}, \quad (48)$$

где d_{pm} – минимально допустимый диаметр протектора, см.

5.7. Необходимый диаметр стального сердечника протяженного протектора следует рассчитывать по формуле

$$d_c = \frac{2l_{pm} \sqrt{\rho_{ct}}}{\sqrt{R_{tm}}}, \quad (49)$$

где l_{pm} – минимально допустимое расстояние между точками подключения протяженного протектора через 10 лет после начала его работы, м.

5.8. Фактические параметры выбранного протяженного протектора: диаметр и размеры стального сердечника должны быть не менее величин, определенных расчетом.

5.9. Действительную массу выбранного протяженного протектора можно определить по формуле

$$G_n = 0,08 [d_c^2 (\gamma_c - \gamma_m) + d_n^2 \gamma_m], \quad (50)$$

где G_n – действительная масса протяженного протектора, кг/м;

γ_c – плотность стали сердечника протяженного протектора, г/см³.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ГРУНТА

При расчете анодного заземления с учетом неоднородной структуры грунта неоднородную структуру приводят к слоистой, затем слоистую структуру грунта путем расчетов приводят к эквивалентной однородной структуре.

Удельное сопротивление однородного эквивалентного грунта ρ_{ϑ} определяют по формуле

$$\rho_{\vartheta} = \frac{F_k}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\rho_i} (F_i - F_{i-1})},$$

где

$$F_i = \sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{r_0} \right)^2};$$

$$v_i = \sqrt{0,5[(q^2 + H_i^2 + r_0^2) - \sqrt{(q^2 + H_i^2 + r_0^2) - 4q^2 r_0^2}]};$$

$$q = \sqrt{2r(r+\delta)};$$

$$r = \sqrt{\frac{s}{\pi}};$$

$$z_0 = \sqrt{r^2 + \delta^2};$$

$$H_i = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_i;$$

$$s = \frac{\pi \delta D N}{2};$$

$$\delta = t + l,$$

- где ρ_i - удельное сопротивление i -го слоя грунта, Ом·м;
 l - длина электрода анодного заземления, м;
 t - расстояние от верхнего конца вертикального электрода до поверхности грунта, глубина закладки горизонтального электрода, м;
 N - количество электродов, шт.;
 D - расстояние между электродами, м.

Количество электродов определяют по формуле

$$N = \frac{S_1}{S_3},$$

где

$$S_1 = \frac{I}{j};$$

$$S_3 = 2\pi r_l l,$$

- где I - ток катодной защиты, А;
 j - плотность тока на поверхности электрода, А/м²;
 r_l - радиус электрода, м.

Параметры анодного заземления определяют по формулам, приведенным в основном тексте Инструкции.

Падение напряжения на анодном заземлении определяют по формуле

$$U_A = R_A I, В.$$

Затраты мощности, кВт:

$$P = I U / 100.$$

Температура электрода анодного заземления в рабочем режиме:

$$t = t_0 + \frac{U^2}{2\lambda\rho},$$

- где λ - условная удельная теплопроводность грунта, Вт/м·К⁰;
 t_0 - начальная температура окружающего электрод грунта, °С.

Допустимую плотность тока на поверхности анода определяют по рис. I2.

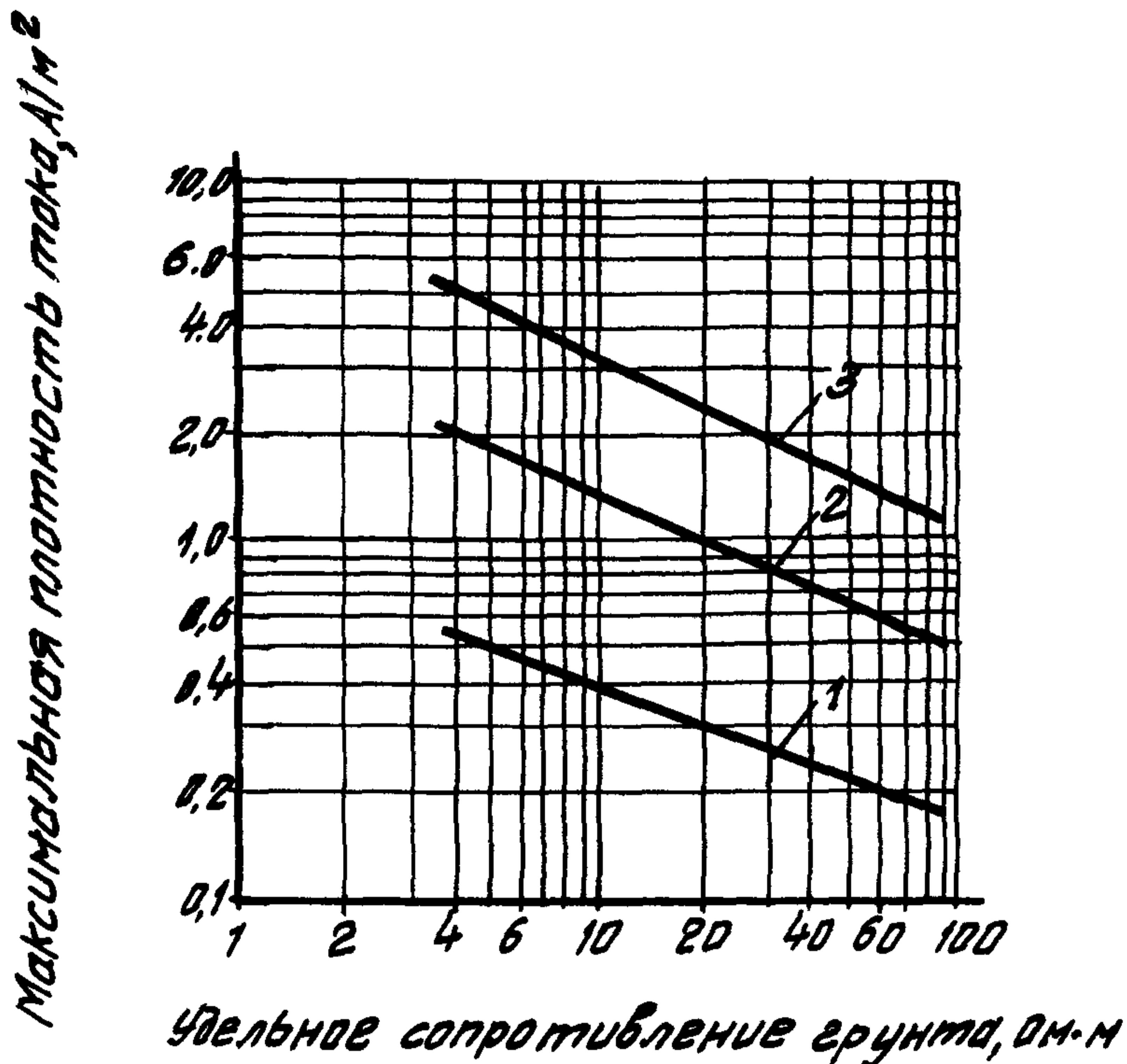


Рис. I2. Зависимость максимально допустимой плотности тока на поверхности анода от влажности W :

I- $W = 5\%$; 2- $W = 15\%$; 3- $W = 30\%$

Анодные заземления рассчитывают на ЭВМ. Программа для расчета анодных заземлений выполнена с учетом 5-слойной структуры грунта.

Приложение 2

Таблица 4

ПРОГРАММА ДЛЯ РАСЧЕТА АНОДНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ,
ВЫПОЛНЕННАЯ НА ЭВМ "МИР-1"

```
"9.1."ДЛ"J=1"Ш"1"Д0"10"Вып"(S3=2*3.14159*R0*L;S1=I0/J;N=S1/S3;I3
=I0/N;B1=T+L;S2=(3.14159*B1*(D*(N)))/2;Z3=S/3.14159;Z4=V(B3-B1+2);
Z6=V(Z3);Z5=V(2*Z6*(Z6+B1+2));H11=H1;H12=H1+H2;H13=H1+H2+H3;H14=H
1+H2+H3+H4;H15=10000;Z11=(Z5+2+H11+2+Z4+2);Z12=(Z5+2+H12+2+Z4+2);
Z13=(Z5+2+H13+2+Z4+2);Z14=(Z5+2+H14+2+Z4+2);Z15=(Z5+2+H15+2+Z4+2)
;Y1=(4*Z5+2*Z4+2);V11=V(.5*(Z11-V(Z11+2-Y1)));V12=V(.5*(Z12-V(Z12+2-Y1)));
V13=V(.5*(Z13-V(Z13+2-Y1)));V14=V(.5*(Z14-V(Z14+2-Y1)));
V15=V(.5*(Z15-V(Z15+2-Y1)));FI1=V(1-V11/34);FI2=V(1-V12/34);FI3=V
(1-V13/34);FI4=V(1-V14/34);FI5=V(1-V15/34);"EC"FK=H11"TO"(R31=R1)
;"EC"FK=H12"TO"(R31=FI2/(FI1/R1+(FI2-FI1)/R2));"EC"FK=H13"TO"(R31
=F13/(V11/R1+(F12-FI1)/R2+(F13-FI2)/R3));"EC"FK=H14"TO"(R31=FI4/(
FI1/R1+(FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4));"EC"FS=H12"TO"(R3
2=(1-FI2)/((FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R5));
"EC"FS=H13"TO"(R32=(1-FI3)/((FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R
5));"EC"FS=H14"TO"(R32=(1-FI4)/((FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R5));"EC"F
S=H15"TO"(R32=R5);A=(.75*L+T)/FK;B=(.25*L+T)/FK;C=L/FK/4;K=(R32-R
31)/(R31+R32);RY=LN(L+2*A/R0+2/B);RX=R31/12.56636/L;Z=1/(1+.02*N)
;RZ=0;"ДЛ"М=1"Ш"1"Д0"20"Вып"(RZ=RZ+K+M*LN((1+C/M)+2*(1+A/M)*(1-B/
M)/(1-C/M)+2/(1-A/M)/(1+B/M)));RS=RX*(RY+RZ);RN=RS/N/3;UN=RN*I0;P
N=I0*UN/1000;TN=UN+2/(2*R31*L);ФN=8760*PN*K3*ПЭ;"Вып""ТА"1,J,N,R
N,UN,PN,TN,ФN)"ГДЕ"
```

Условные обозначения, принятые в программе .

- I₀* - ток катодной защиты, А ;
- J* - плотность тока на поверхности электрода, А/м²;
- S₃* - площадь поверхности электрода, м²;
- R₀* - радиус электрода, м;
- L* - длина электрода, м;
- N* - количество электродов, шт.;
- I₃* - ток электрода, А ;
- R₃* - сопротивление анодного заземления, Ом;
- U_N* - падение напряжения на анодном заземлении, В ;
- P_N* - затраты мощности на анодное заземление, кВт ;
- T_N* - температура электрода анодного заземления, °С ;
- Ф_N* - ставка электроэнергии при расчетных затратах мощности, р.

Приложение 3

ТАБЛИЦЫ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДОЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Условные обозначения:

R_1 – удельное сопротивление стали, $\Omega \cdot \text{мм}^2/\text{м};$

D_1 – диаметр трубы, м;

R – продольное сопротивление трубы, $\Omega/\text{м};$

δ – толщина стенки, мм.

Пример.

$$R_1 = .3 = 0,3$$

$$D_1 = .146 = 0,146$$

$$R = .11368 \cdot 10^{-3} = 0,11368 \cdot 10^{-3}$$

$R_1 = 0.125$

Таблица 5

$\delta =$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$D[1] = .146; R = .51159_{10}^{-4}$	$R = .44166_{10}^{-4}$	$R = .38925_{10}^{-4}$	$R = .34852_{10}^{-4}$	$R = .31598_{10}^{-4}$	$R = .28938_{10}^{-4}$	$R = .26724_{10}^{-4}$	$R = .24895_{10}^{-4}$	$R = .23254_{10}^{-4}$	
$D[1] = .152; R = .49057_{10}^{-4}$	$R = .42338_{10}^{-4}$	$R = .37303_{10}^{-4}$	$R = .33391_{10}^{-4}$	$R = .30262_{10}^{-4}$	$R = .27707_{10}^{-4}$	$R = .25579_{10}^{-4}$	$R = .23781_{10}^{-4}$	$R = .22242_{10}^{-4}$	
$D[1] = .159; R = .46813_{10}^{-4}$	$R = .40388_{10}^{-4}$	$R = .35574_{10}^{-4}$	$R = .31832_{10}^{-4}$	$R = .28841_{10}^{-4}$	$R = .26396_{10}^{-4}$	$R = .24361_{10}^{-4}$	$R = .22641_{10}^{-4}$	$R = .21169_{10}^{-4}$	
$D[1] = .168; R = .44211_{10}^{-4}$	$R = .38131_{10}^{-4}$	$R = .33572_{10}^{-4}$	$R = .3003_{10}^{-4}$	$R = .27198_{10}^{-4}$	$R = .24883_{10}^{-4}$	$R = .22956_{10}^{-4}$	$R = .21327_{10}^{-4}$	$R = .19932_{10}^{-4}$	
$D[1] = .18; R = .41162_{10}^{-4}$	$R = .35485_{10}^{-4}$	$R = .3123_{10}^{-4}$	$R = .27922_{10}^{-4}$	$R = .25278_{10}^{-4}$	$R = .23116_{10}^{-4}$	$R = .21315_{10}^{-4}$	$R = .19794_{10}^{-4}$	$R = .1849_{10}^{-4}$	
$D[1] = .194; R = .38096_{10}^{-4}$	$R = .32829_{10}^{-4}$	$R = .2888_{10}^{-4}$	$R = .25809_{10}^{-4}$	$R = .23355_{10}^{-4}$	$R = .21348_{10}^{-4}$	$R = .19676_{10}^{-4}$	$R = .18263_{10}^{-4}$	$R = .17052_{10}^{-4}$	
$D[1] = .219; R = .93626_{10}^{-4}$	$R = .28958_{10}^{-4}$	$R = .25458_{10}^{-4}$	$R = .22737_{10}^{-4}$	$R = .20561_{10}^{-4}$	$R = .18782_{10}^{-4}$	$R = .173_{10}^{-4}$	$R = .16046_{10}^{-4}$	$R = .14973_{10}^{-4}$	
$D[1] = .245; R = .29967_{10}^{-4}$	$R = .25793_{10}^{-4}$	$R = .22665_{10}^{-4}$	$R = .20291_{10}^{-4}$	$R = .18286_{10}^{-4}$	$R = .16695_{10}^{-4}$	$R = .15369_{10}^{-4}$	$R = .14248_{10}^{-4}$	$R = .13288_{10}^{-4}$	
$D[1] = .273; R = .26824_{10}^{-4}$	$R = .23078_{10}^{-4}$	$R = .2027_{10}^{-4}$	$R = .18086_{10}^{-4}$	$R = .16339_{10}^{-4}$	$R = .14911_{10}^{-4}$	$R = .1372_{10}^{-4}$	$R = .12714_{10}^{-4}$	$R = .11851_{10}^{-4}$	
$D[1] = .299; R = .24444_{10}^{-4}$	$R = .21024_{10}^{-4}$	$R = .18459_{10}^{-4}$	$R = .16465_{10}^{-4}$	$R = .14869_{10}^{-4}$	$R = .13564_{10}^{-4}$	$R = .12478_{10}^{-4}$	$R = .11559_{10}^{-4}$	$R = .1077_{10}^{-4}$	
$D[1] = .325; R = .22452_{10}^{-4}$	$R = .19305_{10}^{-4}$	$R = .16946_{10}^{-4}$	$R = .1511_{10}^{-4}$	$R = .13642_{10}^{-4}$	$R = .12442_{10}^{-4}$	$R = .11441_{10}^{-4}$	$R = .10595_{10}^{-4}$	$R = .98698_{10}^{-5}$	
$D[1] = .351; R = .2076_{10}^{-4}$	$R = .17847_{10}^{-4}$	$R = .15661_{10}^{-4}$	$R = .13962_{10}^{-4}$	$R = .12602_{10}^{-4}$	$R = .1149_{10}^{-4}$	$R = .10565_{10}^{-4}$	$R = .97804_{10}^{-5}$	$R = .91093_{10}^{-5}$	
$D[1] = .377; R = .19306_{10}^{-4}$	$R = .16592_{10}^{-4}$	$R = .14557_{10}^{-4}$	$R = .12975_{10}^{-4}$	$R = .11709_{10}^{-4}$	$R = .10675_{10}^{-4}$	$R = .98117_{10}^{-5}$	$R = .90817_{10}^{-5}$	$R = .84565_{10}^{-5}$	
$D[1] = .426; R = .17053_{10}^{-4}$	$R = .14651_{10}^{-4}$	$R = .12851_{10}^{-4}$	$R = .1145_{10}^{-4}$	$R = .1033_{10}^{-4}$	$R = .94142_{10}^{-5}$	$R = .86505_{10}^{-5}$	$R = .80042_{10}^{-5}$	$R = .74511_{10}^{-5}$	
$D[1] = .477; R = .15206_{10}^{-4}$	$R = .13062_{10}^{-4}$	$R = .11453_{10}^{-4}$	$R = .10202_{10}^{-4}$	$R = .92024_{10}^{-5}$	$R = .8384_{10}^{-5}$	$R = .77019_{10}^{-5}$	$R = .71247_{10}^{-5}$	$R = .66296_{10}^{-5}$	
$D[1] = .529; R = .13694_{10}^{-4}$	$R = .11761_{10}^{-4}$	$R = .1031_{10}^{-4}$	$R = .9183_{10}^{-5}$	$R = .82801_{10}^{-5}$	$R = .75423_{10}^{-5}$	$R = .69269_{10}^{-5}$	$R = .64063_{10}^{-5}$	$R = .59605_{10}^{-5}$	
$D[1] = .62; R = .11665_{10}^{-4}$	$R = .10014_{10}^{-4}$	$R = .87776_{10}^{-5}$	$R = .78147_{10}^{-5}$	$R = .70448_{10}^{-5}$	$R = .64148_{10}^{-5}$	$R = .58897_{10}^{-5}$	$R = .54459_{10}^{-5}$	$R = .5065_{10}^{-5}$	
$D[1] = .72; R = .10031_{10}^{-4}$	$R = .86096_{10}^{-5}$	$R = .75448_{10}^{-5}$	$R = .67157_{10}^{-5}$	$R = .60527_{10}^{-5}$	$R = .55102_{10}^{-5}$	$R = .5058_{10}^{-5}$	$R = .46756_{10}^{-5}$	$R = .43476_{10}^{-5}$	
$D[1] = .82; R = .87988_{10}^{-5}$	$R = .75511_{10}^{-5}$	$R = .66153_{10}^{-5}$	$R = .58874_{10}^{-5}$	$R = .53053_{10}^{-5}$	$R = .4829_{10}^{-5}$	$R = .4432_{10}^{-5}$	$R = .40962_{10}^{-5}$	$R = .38082_{10}^{-5}$	
$D[1] = .92; R = .78365_{10}^{-5}$	$R = .67241_{10}^{-5}$	$R = .589_{10}^{-5}$	$R = .52412_{10}^{-5}$	$R = .47224_{10}^{-5}$	$R = .42978_{10}^{-5}$	$R = .39439_{10}^{-5}$	$R = .36447_{10}^{-5}$	$R = .3388_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.02; R = .70632_{10}^{-5}$	$R = .60603_{10}^{-5}$	$R = .5308_{10}^{-5}$	$R = .47229_{10}^{-5}$	$R = .42547_{10}^{-5}$	$R = .38718_{10}^{-5}$	$R = .35526_{10}^{-5}$	$R = .32826_{10}^{-5}$	$R = .30511_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.22; R = .58998_{10}^{-5}$	$R = .50611_{10}^{-5}$	$R = .4432_{10}^{-5}$	$R = .39428_{10}^{-5}$	$R = .35515_{10}^{-5}$	$R = .32312_{10}^{-5}$	$R = .29644_{10}^{-5}$	$R = .27387_{10}^{-5}$	$R = .25452_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.42; R = .50652_{10}^{-5}$	$R = .43446_{10}^{-5}$	$R = .38043_{10}^{-5}$	$R = .33839_{10}^{-5}$	$R = .30477_{10}^{-5}$	$R = .27726_{10}^{-5}$	$R = .25433_{10}^{-5}$	$R = .23494_{10}^{-5}$	$R = .21831_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.62; R = .44375_{10}^{-5}$	$R = .38059_{10}^{-5}$	$R = .33323_{10}^{-5}$	$R = .29638_{10}^{-5}$	$R = .26691_{10}^{-5}$	$R = .2428_{10}^{-5}$	$R = .2227_{10}^{-5}$	$R = .2057_{10}^{-5}$	$R = .19112_{10}^{-5}$	

Таблица 6

<u>"3AME"</u> (R1=.15;"HA"1)"KOH"	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$D[I] = .146; R = .56844_{10}^{-4}$	$R = .49074_{10}^{-4}$	$R = .4325_{10}^{-4}$	$R = .98724_{10}^{-4}$	$R = .35109_{10}^{-4}$	$R = .32159_{10}^{-4}$	$R = .29694_{10}^{-4}$	$R = .27616_{10}^{-4}$	$R = .25838_{10}^{-4}$	
$D[I] = .152; R = .54507_{10}^{-4}$	$R = .47042_{10}^{-4}$	$R = .41447_{10}^{-4}$	$R = .37101_{10}^{-4}$	$R = .33625_{10}^{-4}$	$R = .30785_{10}^{-4}$	$R = .28421_{10}^{-4}$	$R = .26429_{10}^{-4}$	$R = .24714_{10}^{-4}$	
$D[I] = .159; R = .52014_{10}^{-4}$	$R = .44876_{10}^{-4}$	$R = .39527_{10}^{-4}$	$R = .35369_{10}^{-4}$	$R = .32045_{10}^{-4}$	$R = .29329_{10}^{-4}$	$R = .27067_{10}^{-4}$	$R = .25157_{10}^{-4}$	$R = .23521_{10}^{-4}$	
$D[I] = .168; R = .49123_{10}^{-4}$	$R = .42368_{10}^{-4}$	$R = .37303_{10}^{-4}$	$R = .33366_{10}^{-4}$	$R = .3022_{10}^{-4}$	$R = .27648_{10}^{-4}$	$R = .25506_{10}^{-4}$	$R = .23696_{10}^{-4}$	$R = .22146_{10}^{-4}$	
$D[I] = .18; R = .45735_{10}^{-4}$	$R = .39428_{10}^{-4}$	$R = .347_{10}^{-4}$	$R = .31025_{10}^{-4}$	$R = .28087_{10}^{-4}$	$R = .25684_{10}^{-4}$	$R = .23684_{10}^{-4}$	$R = .21993_{10}^{-4}$	$R = .20545_{10}^{-4}$	
$D[I] = .194; R = .42329_{10}^{-4}$	$R = .36476_{10}^{-4}$	$R = .32088_{10}^{-4}$	$R = .28677_{10}^{-4}$	$R = .2595_{10}^{-4}$	$R = .2372_{10}^{-4}$	$R = .21862_{10}^{-4}$	$R = .20292_{10}^{-4}$	$R = .18947_{10}^{-4}$	
$D[I] = .219; R = .37362_{10}^{-4}$	$R = .32175_{10}^{-4}$	$R = .28286_{10}^{-4}$	$R = .25264_{10}^{-4}$	$R = .22846_{10}^{-4}$	$R = .20868_{10}^{-4}$	$R = .19222_{10}^{-4}$	$R = .17829_{10}^{-4}$	$R = .16637_{10}^{-4}$	
$D[I] = .245; R = .33297_{10}^{-4}$	$R = .28659_{10}^{-4}$	$R = .25183_{10}^{-4}$	$R = .22479_{10}^{-4}$	$R = .20918_{10}^{-4}$	$R = .1855_{10}^{-4}$	$R = .17077_{10}^{-4}$	$R = .15831_{10}^{-4}$	$R = .14765_{10}^{-4}$	
$D[I] = .273; R = .29805_{10}^{-4}$	$R = .25643_{10}^{-4}$	$R = .22522_{10}^{-4}$	$R = .20095_{10}^{-4}$	$R = .18155_{10}^{-4}$	$R = .16567_{10}^{-4}$	$R = .15245_{10}^{-4}$	$R = .14126_{10}^{-4}$	$R = .13168_{10}^{-4}$	
$D[I] = .299; R = .2716_{10}^{-4}$	$R = .2336_{10}^{-4}$	$R = .2051_{10}^{-4}$	$R = .18294_{10}^{-4}$	$R = .16521_{10}^{-4}$	$R = .15072_{10}^{-4}$	$R = .13864_{10}^{-4}$	$R = .12843_{10}^{-4}$	$R = .11967_{10}^{-4}$	
$D[I] = .325; R = .24947_{10}^{-4}$	$R = .2145_{10}^{-4}$	$R = .18829_{10}^{-4}$	$R = .16789_{10}^{-4}$	$R = .15158_{10}^{-4}$	$R = .13824_{10}^{-4}$	$R = .12712_{10}^{-4}$	$R = .11773_{10}^{-4}$	$R = .10966_{10}^{-4}$	
$D[I] = .351; R = .23066_{10}^{-4}$	$R = .1983_{10}^{-4}$	$R = .17401_{10}^{-4}$	$R = .15513_{10}^{-4}$	$R = .14002_{10}^{-4}$	$R = .12767_{10}^{-4}$	$R = .11738_{10}^{-4}$	$R = .10867_{10}^{-4}$	$R = .10121_{10}^{-4}$	
$D[I] = .377; R = .21451_{10}^{-4}$	$R = .18436_{10}^{-4}$	$R = .16174_{10}^{-4}$	$R = .14417_{10}^{-4}$	$R = .1301_{10}^{-4}$	$R = .11861_{10}^{-4}$	$R = .10901_{10}^{-4}$	$R = .1009_{10}^{-4}$	$R = .93961_{10}^{-5}$	
$D[I] = .426; R = .18948_{10}^{-4}$	$R = .16279_{10}^{-4}$	$R = .14278_{10}^{-4}$	$R = .12722_{10}^{-4}$	$R = .11478_{10}^{-4}$	$R = .1046_{10}^{-4}$	$R = .96116_{10}^{-5}$	$R = .88936_{10}^{-5}$	$R = .8279_{10}^{-5}$	
$D[I] = .477; R = .16896_{10}^{-4}$	$R = .14513_{10}^{-4}$	$R = .12725_{10}^{-4}$	$R = .11336_{10}^{-4}$	$R = .10224_{10}^{-4}$	$R = .93156_{10}^{-5}$	$R = .85577_{10}^{-5}$	$R = .79164_{10}^{-5}$	$R = .73663_{10}^{-5}$	
$D[I] = .529; R = .15216_{10}^{-4}$	$R = .13068_{10}^{-4}$	$R = .11456_{10}^{-4}$	$R = .10203_{10}^{-4}$	$R = .92001_{10}^{-5}$	$R = .83803_{10}^{-5}$	$R = .76966_{10}^{-5}$	$R = .71181_{10}^{-5}$	$R = .66228_{10}^{-5}$	
$D[I] = .62; R = .12961_{10}^{-4}$	$R = .11127_{10}^{-4}$	$R = .97529_{10}^{-5}$	$R = .8683_{10}^{-5}$	$R = .78275_{10}^{-5}$	$R = .71275_{10}^{-5}$	$R = .65442_{10}^{-5}$	$R = .6051_{10}^{-5}$	$R = .56278_{10}^{-5}$	
$D[I] = .72; R = .11145_{10}^{-4}$	$R = .95663_{10}^{-5}$	$R = .83831_{10}^{-5}$	$R = .74619_{10}^{-5}$	$R = .67252_{10}^{-5}$	$R = .61224_{10}^{-5}$	$R = .562_{10}^{-5}$	$R = .51951_{10}^{-5}$	$R = .48907_{10}^{-5}$	
$D[I] = .82; R = .97764_{10}^{-5}$	$R = .83902_{10}^{-5}$	$R = .73504_{10}^{-5}$	$R = .65416_{10}^{-5}$	$R = .58948_{10}^{-5}$	$R = .53655_{10}^{-5}$	$R = .49244_{10}^{-5}$	$R = .45513_{10}^{-5}$	$R = .42314_{10}^{-5}$	
$D[I] = .92; R = .87072_{10}^{-5}$	$R = .74712_{10}^{-5}$	$R = .65445_{10}^{-5}$	$R = .58236_{10}^{-5}$	$R = .52471_{10}^{-5}$	$R = .47753_{10}^{-5}$	$R = .43821_{10}^{-5}$	$R = .40496_{10}^{-5}$	$R = .37644_{10}^{-5}$	
$D[I] = 1.02; R = .7848_{10}^{-5}$	$R = .67337_{10}^{-5}$	$R = .58978_{10}^{-5}$	$R = .52476_{10}^{-5}$	$R = .47275_{10}^{-5}$	$R = .4302_{10}^{-5}$	$R = .39473_{10}^{-5}$	$R = .36474_{10}^{-5}$	$R = .33902_{10}^{-5}$	
$D[I] = 1.22; R = .65553_{10}^{-5}$	$R = .56234_{10}^{-5}$	$R = .49244_{10}^{-5}$	$R = .43809_{10}^{-5}$	$R = .39461_{10}^{-5}$	$R = .35903_{10}^{-5}$	$R = .32938_{10}^{-5}$	$R = .3049_{10}^{-5}$	$R = .2828_{10}^{-5}$	
$D[I] = 1.42; R = .5628_{10}^{-5}$	$R = .48273_{10}^{-5}$	$R = .4227_{10}^{-5}$	$R = .37599_{10}^{-5}$	$R = .33863_{10}^{-5}$	$R = .30807_{10}^{-5}$	$R = .28259_{10}^{-5}$	$R = .26104_{10}^{-5}$	$R = .24256_{10}^{-5}$	
$\Sigma D[I] = 1.62; R = .49306_{10}^{-5}$	$R = .42288_{10}^{-5}$	$R = .37026_{10}^{-5}$	$R = .32931_{10}^{-5}$	$R = .29657_{10}^{-5}$	$R = .26977_{10}^{-5}$	$R = .24744_{10}^{-5}$	$R = .22855_{10}^{-5}$	$R = .21236_{10}^{-5}$	

Таблица 7

5 "ЗАМЕ" (R1=.175; "HA"1)"КОН"

$\delta =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146; R=.66318 ₁₀ -4	R=.57253 ₁₀ -4	R=.50458 ₁₀ -4	R=.45178 ₁₀ -4	R=.4096 ₁₀ -4	R=.37512 ₁₀ -4	R=.34643 ₁₀ -4	R=.32219 ₁₀ -4	R=.30144 ₁₀ -4						
D[I]=.152; R=.63592 ₁₀ -4	R=.54883 ₁₀ -4	R=.48355 ₁₀ -4	R=.43284 ₁₀ -4	R=.39229 ₁₀ -4	R=.35916 ₁₀ -4	R=.33158 ₁₀ -4	R=.30827 ₁₀ -4	R=.28833 ₁₀ -4						
D[I]=.159; R=.60689 ₁₀ -4	R=.52356 ₁₀ -4	R=.46115 ₁₀ -4	R=.41264 ₁₀ -4	R=.37386 ₁₀ -4	R=.34217 ₁₀ -4	R=.31579 ₁₀ -4	R=.2935 ₁₀ -4	R=.27441 ₁₀ -4						
D[I]=.168; R=.57311 ₁₀ -4	R=.49429 ₁₀ -4	R=.4352 ₁₀ -4	R=.38927 ₁₀ -4	R=.35257 ₁₀ -4	R=.32256 ₁₀ -4	R=.29757 ₁₀ -4	R=.27646 ₁₀ -4	R=.25837 ₁₀ -4						
D[I]=.18; R=.53358 ₁₀ -4	R=.45999 ₁₀ -4	R=.40483 ₁₀ -4	R=.36195 ₁₀ -4	R=.32768 ₁₀ -4	R=.29965 ₁₀ -4	R=.27631 ₁₀ -4	R=.25659 ₁₀ -4	R=.23969 ₁₀ -4						
D[I]=.194; R=.49384 ₁₀ -4	R=.42556 ₁₀ -4	R=.37437 ₁₀ -4	R=.33456 ₁₀ -4	R=.30275 ₁₀ -4	R=.27673 ₁₀ -4	R=.25506 ₁₀ -4	R=.23674 ₁₀ -4	R=.22105 ₁₀ -4						
D[I]=.219; R=.43589 ₁₀ -4	R=.37538 ₁₀ -4	R=.33001 ₁₀ -4	R=.29474 ₁₀ -4	R=.26653 ₁₀ -4	R=.24347 ₁₀ -4	R=.22426 ₁₀ -4	R=.20801 ₁₀ -4	R=.19409 ₁₀ -4						
D[I]=.245; R=.38846 ₁₀ -4	R=.33436 ₁₀ -4	R=.2938 ₁₀ -4	R=.26226 ₁₀ -4	R=.23704 ₁₀ -4	R=.21641 ₁₀ -4	R=.19923 ₁₀ -4	R=.1847 ₁₀ -4	R=.17226 ₁₀ -4						
D[I]=.273; R=.34772 ₁₀ -4	R=.29917 ₁₀ -4	R=.26276 ₁₀ -4	R=.23444 ₁₀ -4	R=.21181 ₁₀ -4	R=.19329 ₁₀ -4	R=.17786 ₁₀ -4	R=.16481 ₁₀ -4	R=.15363 ₁₀ -4						
D[I]=.299; R=.31687 ₁₀ -4	R=.27253 ₁₀ -4	R=.23929 ₁₀ -4	R=.21343 ₁₀ -4	R=.19275 ₁₀ -4	R=.17584 ₁₀ -4	R=.16175 ₁₀ -4	R=.14984 ₁₀ -4	R=.13962 ₁₀ -4						
D[I]=.325; R=.29105 ₁₀ -4	R=.25025 ₁₀ -4	R=.21967 ₁₀ -4	R=.19587 ₁₀ -4	R=.17684 ₁₀ -4	R=.16129 ₁₀ -4	R=.14831 ₁₀ -4	R=.13735 ₁₀ -4	R=.12794 ₁₀ -4						
D[I]=.351; R=.26911 ₁₀ -4	R=.23135 ₁₀ -4	R=.20901 ₁₀ -4	R=.18099 ₁₀ -4	R=.16336 ₁₀ -4	R=.14894 ₁₀ -4	R=.13695 ₁₀ -4	R=.12678 ₁₀ -4	R=.11808 ₁₀ -4						
D[I]=.377; R=.25027 ₁₀ -4	R=.21509 ₁₀ -4	R=.1887 ₁₀ -4	R=.1682 ₁₀ -4	R=.15179 ₁₀ -4	R=.13838 ₁₀ -4	R=.12718 ₁₀ -4	R=.11772 ₁₀ -4	R=.10962 ₁₀ -4						
D[I]=.426; R=.22106 ₁₀ -4	R=.18992 ₁₀ -4	R=.16658 ₁₀ -4	R=.14843 ₁₀ -4	R=.13391 ₁₀ -4	R=.12203 ₁₀ -4	R=.11213 ₁₀ -4	R=.10375 ₁₀ -4	R=.96589 ₁₀ -5						
D[I]=.477; R=.19712 ₁₀ -4	R=.16932 ₁₀ -4	R=.14846 ₁₀ -4	R=.13225 ₁₀ -4	R=.11929 ₁₀ -4	R=.10868 ₁₀ -4	R=.9984 ₁₀ -5	R=.92358 ₁₀ -5	R=.8594 ₁₀ -5						
D[I]=.529; R=.17752 ₁₀ -4	R=.15246 ₁₀ -4	R=.13365 ₁₀ -4	R=.11909 ₁₀ -4	R=.10733 ₁₀ -4	R=.9777 ₁₀ -5	R=.89794 ₁₀ -5	R=.83044 ₁₀ -5	R=.77266 ₁₀ -5						
D[I]=.62; R=.15121 ₁₀ -4	R=.12982 ₁₀ -4	R=.11378 ₁₀ -4	R=.1013 ₁₀ -4	R=.91321 ₁₀ -5	R=.83155 ₁₀ -5	R=.76349 ₁₀ -5	R=.70595 ₁₀ -5	R=.63658 ₁₀ -5						
D[I]=.72; R=.13003 ₁₀ -4	R=.1116 ₁₀ -4	R=.97803 ₁₀ -5	R=.87056 ₁₀ -5	R=.78461 ₁₀ -5	R=.71428 ₁₀ -5	R=.65567 ₁₀ -5	R=.6061 ₁₀ -5	R=.56958 ₁₀ -5						
D[I]=.82; R=.11405 ₁₀ -4	R=.97885 ₁₀ -5	R=.85754 ₁₀ -5	R=.76319 ₁₀ -5	R=.68773 ₁₀ -5	R=.62598 ₁₀ -5	R=.57452 ₁₀ -5	R=.53099 ₁₀ -5	R=.49366 ₁₀ -5						
D[I]=.92; R=.10158 ₁₀ -4	R=.87164 ₁₀ -5	R=.76352 ₁₀ -5	R=.67942 ₁₀ -5	R=.61216 ₁₀ -5	R=.55712 ₁₀ -5	R=.51124 ₁₀ -5	R=.47246 ₁₀ -5	R=.43919 ₁₀ -5						
D[I]=1.02; R=.9156 ₁₀ -5	R=.78559 ₁₀ -5	R=.68808 ₁₀ -5	R=.61223 ₁₀ -5	R=.55154 ₁₀ -5	R=.5019 ₁₀ -5	R=.46052 ₁₀ -5	R=.42553 ₁₀ -5	R=.39552 ₁₀ -5						
D[I]=1.22; R=.76479 ₁₀ -5	R=.65606 ₁₀ -5	R=.57452 ₁₀ -5	R=.51111 ₁₀ -5	R=.46038 ₁₀ -5	R=.41887 ₁₀ -5	R=.38427 ₁₀ -5	R=.35501 ₁₀ -5	R=.32999 ₁₀ -5						
D[I]=1.42; R=.65661 ₁₀ -5	R=.56318 ₁₀ -5	R=.49315 ₁₀ -5	R=.49866 ₁₀ -5	R=.39507 ₁₀ -5	R=.35941 ₁₀ -5	R=.32969 ₁₀ -5	R=.30455 ₁₀ -5	R=.28299 ₁₀ -5						
D[I]=1.62; R=.57524 ₁₀ -5	R=.49336 ₁₀ -5	R=.43197 ₁₀ -5	R=.3842 ₁₀ -5	R=.346 ₁₀ -5	R=.31474 ₁₀ -5	R=.28868 ₁₀ -5	R=.26665 ₁₀ -5	R=.24775 ₁₀ -5						

"NAME" ($R_1 = .2$; "HA" 1) "KOH"

Таблица 8

$\delta = 1$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$D[1] = .146; R = .75792_{10}^{-4}$	$R = .65432_{10}^{-4}$	$R = .57666_{10}^{-4}$	$R = .51632_{10}^{-4}$	$R = .46812_{10}^{-4}$	$R = .42871_{10}^{-4}$	$R = .39592_{10}^{-4}$	$R = .36822_{10}^{-4}$	$R = .34451_{10}^{-4}$	
$D[1] = .152; R = .72677_{10}^{-4}$	$R = .62723_{10}^{-4}$	$R = .55263_{10}^{-4}$	$R = .49468_{10}^{-4}$	$R = .44834_{10}^{-4}$	$R = .41047_{10}^{-4}$	$R = .37895_{10}^{-4}$	$R = .35231_{10}^{-4}$	$R = .32952_{10}^{-4}$	
$D[1] = .159; R = .69352_{10}^{-4}$	$R = .59835_{10}^{-4}$	$R = .52703_{10}^{-4}$	$R = .47159_{10}^{-4}$	$R = .42727_{10}^{-4}$	$R = .39106_{10}^{-4}$	$R = .3609_{10}^{-4}$	$R = .33543_{10}^{-4}$	$R = .31362_{10}^{-4}$	
$D[1] = .168; R = .65498_{10}^{-4}$	$R = .5649_{10}^{-4}$	$R = .49737_{10}^{-4}$	$R = .44488_{10}^{-4}$	$R = .40294_{10}^{-4}$	$R = .36864_{10}^{-4}$	$R = .34008_{10}^{-4}$	$R = .31595_{10}^{-4}$	$R = .29529_{10}^{-4}$	
$D[1] = .18; R = .60981_{10}^{-4}$	$R = .5257_{10}^{-4}$	$R = .46267_{10}^{-4}$	$R = .41366_{10}^{-4}$	$R = .37449_{10}^{-4}$	$R = .34248_{10}^{-4}$	$R = .31579_{10}^{-4}$	$R = .29325_{10}^{-4}$	$R = .27393_{10}^{-4}$	
$D[1] = .194; R = .56439_{10}^{-4}$	$R = .48635_{10}^{-4}$	$R = .42785_{10}^{-4}$	$R = .38236_{10}^{-4}$	$R = .346_{10}^{-4}$	$R = .31627_{10}^{-4}$	$R = .2915_{10}^{-4}$	$R = .27056_{10}^{-4}$	$R = .25263_{10}^{-4}$	
$D[1] = .219; R = .49816_{10}^{-4}$	$R = .429_{10}^{-4}$	$R = .37715_{10}^{-4}$	$R = .33685_{10}^{-4}$	$R = .30461_{10}^{-4}$	$R = .27825_{10}^{-4}$	$R = .25629_{10}^{-4}$	$R = .23773_{10}^{-4}$	$R = .22182_{10}^{-4}$	
$D[1] = .245; R = .44396_{10}^{-4}$	$R = .38213_{10}^{-4}$	$R = .33577_{10}^{-4}$	$R = .29973_{10}^{-4}$	$R = .27091_{10}^{-4}$	$R = .24733_{10}^{-4}$	$R = .22769_{10}^{-4}$	$R = .21109_{10}^{-4}$	$R = .19686_{10}^{-4}$	
$D[1] = .273; R = .3974_{10}^{-4}$	$R = .3419_{10}^{-4}$	$R = .3003_{10}^{-4}$	$R = .26794_{10}^{-4}$	$R = .24206_{10}^{-4}$	$R = .2209_{10}^{-4}$	$R = .20327_{10}^{-4}$	$R = .18835_{10}^{-4}$	$R = .17537_{10}^{-4}$	
$D[1] = .299; R = .36214_{10}^{-4}$	$R = .31147_{10}^{-4}$	$R = .27347_{10}^{-4}$	$R = .24392_{10}^{-4}$	$R = .22029_{10}^{-4}$	$R = .20096_{10}^{-4}$	$R = .18485_{10}^{-4}$	$R = .17124_{10}^{-4}$	$R = .15956_{10}^{-4}$	
$D[1] = .325; R = .33263_{10}^{-4}$	$R = .286_{10}^{-4}$	$R = .25105_{10}^{-4}$	$R = .22385_{10}^{-4}$	$R = .2021_{10}^{-4}$	$R = .18433_{10}^{-4}$	$R = .1695_{10}^{-4}$	$R = .15697_{10}^{-4}$	$R = .14622_{10}^{-4}$	
$D[1] = .351; R = .30755_{10}^{-4}$	$R = .2644_{10}^{-4}$	$R = .29201_{10}^{-4}$	$R = .20685_{10}^{-4}$	$R = .1867_{10}^{-4}$	$R = .17022_{10}^{-4}$	$R = .15651_{10}^{-4}$	$R = .14489_{10}^{-4}$	$R = .13495_{10}^{-4}$	
$D[1] = .377; R = .28602_{10}^{-4}$	$R = .24581_{10}^{-4}$	$R = .21566_{10}^{-4}$	$R = .19223_{10}^{-4}$	$R = .17347_{10}^{-4}$	$R = .15815_{10}^{-4}$	$R = .14535_{10}^{-4}$	$R = .13454_{10}^{-4}$	$R = .12529_{10}^{-4}$	
$D[1] = .426; R = .25264_{10}^{-4}$	$R = .21705_{10}^{-4}$	$R = .19038_{10}^{-4}$	$R = .16963_{10}^{-4}$	$R = .15304_{10}^{-4}$	$R = .13947_{10}^{-4}$	$R = .12815_{10}^{-4}$	$R = .11858_{10}^{-4}$	$R = .11038_{10}^{-4}$	
$D[1] = .477; R = .22528_{10}^{-4}$	$R = .19351_{10}^{-4}$	$R = .16967_{10}^{-4}$	$R = .15114_{10}^{-4}$	$R = .13633_{10}^{-4}$	$R = .1242_{10}^{-4}$	$R = .1141_{10}^{-4}$	$R = .10555_{10}^{-4}$	$R = .98217_{10}^{-5}$	
$D[1] = .529; R = .20288_{10}^{-4}$	$R = .17424_{10}^{-4}$	$R = .15275_{10}^{-4}$	$R = .13604_{10}^{-4}$	$R = .12266_{10}^{-4}$	$R = .11173_{10}^{-4}$	$R = .10262_{10}^{-4}$	$R = .94908_{10}^{-5}$	$R = .88304_{10}^{-5}$	
$D[1] = .62; R = .17281_{10}^{-4}$	$R = .14896_{10}^{-4}$	$R = .13003_{10}^{-4}$	$R = .11577_{10}^{-4}$	$R = .10436_{10}^{-4}$	$R = .95034_{10}^{-5}$	$R = .87256_{10}^{-5}$	$R = .8068_{10}^{-5}$	$R = .75038_{10}^{-5}$	
$D[1] = .72; R = .14861_{10}^{-4}$	$R = .12755_{10}^{-4}$	$R = .11177_{10}^{-4}$	$R = .99492_{10}^{-5}$	$R = .8967_{10}^{-5}$	$R = .81632_{10}^{-5}$	$R = .74934_{10}^{-5}$	$R = .69268_{10}^{-5}$	$R = .6441_{10}^{-5}$	
$D[1] = .82; R = .13095_{10}^{-4}$	$R = .11186_{10}^{-4}$	$R = .98005_{10}^{-5}$	$R = .87221_{10}^{-5}$	$R = .78597_{10}^{-5}$	$R = .7154_{10}^{-5}$	$R = .65659_{10}^{-5}$	$R = .60685_{10}^{-5}$	$R = .56419_{10}^{-5}$	
$D[1] = .92; R = .11609_{10}^{-4}$	$R = .99816_{10}^{-5}$	$R = .8726_{10}^{-5}$	$R = .77648_{10}^{-5}$	$R = .69961_{10}^{-5}$	$R = .63674_{10}^{-5}$	$R = .58428_{10}^{-5}$	$R = .53995_{10}^{-5}$	$R = .50193_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.02; R = .10464_{10}^{-4}$	$R = .89782_{10}^{-5}$	$R = .78637_{10}^{-5}$	$R = .69969_{10}^{-5}$	$R = .63033_{10}^{-5}$	$R = .5736_{10}^{-5}$	$R = .52631_{10}^{-5}$	$R = .48632_{10}^{-5}$	$R = .45202_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.22; R = .87404_{10}^{-5}$	$R = .74979_{10}^{-5}$	$R = .65659_{10}^{-5}$	$R = .58412_{10}^{-5}$	$R = .52614_{10}^{-5}$	$R = .4787_{10}^{-5}$	$R = .43917_{10}^{-5}$	$R = .40573_{10}^{-5}$	$R = .37706_{10}^{-5}$	
$D[1] = 1.42; R = .75041_{10}^{-5}$	$R = .64964_{10}^{-5}$	$R = .5696_{10}^{-5}$	$R = .50132_{10}^{-5}$	$R = .45151_{10}^{-5}$	$R = .41076_{10}^{-5}$	$R = .37679_{10}^{-5}$	$R = .34806_{10}^{-5}$	$R = .32342_{10}^{-5}$	
$\Sigma D[1] = 1.62; R = .65741_{10}^{-5}$	$R = .56384_{10}^{-5}$	$R = .49968_{10}^{-5}$	$R = .43908_{10}^{-5}$	$R = .39542_{10}^{-5}$	$R = .3597_{10}^{-5}$	$R = .32992_{10}^{-5}$	$R = .30474_{10}^{-5}$	$R = .28314_{10}^{-5}$	

Таблица 9

8	<u>"3AME" (R1=.225; "HA"1) "KOH"</u>													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	$D[I] = .146; R = .85266 \cdot 10^{-4}$	$R = .73611 \cdot 10^{-4}$	$R = .64875 \cdot 10^{-4}$	$R = .58087 \cdot 10^{-4}$	$R = .52663 \cdot 10^{-4}$	$R = .4823 \cdot 10^{-4}$	$R = .44541 \cdot 10^{-4}$	$R = .41425 \cdot 10^{-4}$	$R = .38757 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .152; R = .81761 \cdot 10^{-4}$	$R = .70563 \cdot 10^{-4}$	$R = .62171 \cdot 10^{-4}$	$R = .55651 \cdot 10^{-4}$	$R = .50498 \cdot 10^{-4}$	$R = .46178 \cdot 10^{-4}$	$R = .42532 \cdot 10^{-4}$	$R = .39635 \cdot 10^{-4}$	$R = .37071 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .159; R = .78022 \cdot 10^{-4}$	$R = .67314 \cdot 10^{-4}$	$R = .59291 \cdot 10^{-4}$	$R = .53054 \cdot 10^{-4}$	$R = .48068 \cdot 10^{-4}$	$R = .43994 \cdot 10^{-4}$	$R = .40601 \cdot 10^{-4}$	$R = .37736 \cdot 10^{-4}$	$R = .35282 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .168; R = .73685 \cdot 10^{-4}$	$R = .63552 \cdot 10^{-4}$	$R = .55954 \cdot 10^{-4}$	$R = .5005 \cdot 10^{-4}$	$R = .4533 \cdot 10^{-4}$	$R = .41472 \cdot 10^{-4}$	$R = .3826 \cdot 10^{-4}$	$R = .35545 \cdot 10^{-4}$	$R = .3322 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .18; R = .68603 \cdot 10^{-4}$	$R = .59142 \cdot 10^{-4}$	$R = .5205 \cdot 10^{-4}$	$R = .46537 \cdot 10^{-4}$	$R = .4213 \cdot 10^{-4}$	$R = .38527 \cdot 10^{-4}$	$R = .35526 \cdot 10^{-4}$	$R = .3299 \cdot 10^{-4}$	$R = .30813 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .194; R = .63494 \cdot 10^{-4}$	$R = .54715 \cdot 10^{-4}$	$R = .48193 \cdot 10^{-4}$	$R = .43016 \cdot 10^{-4}$	$R = .38925 \cdot 10^{-4}$	$R = .3558 \cdot 10^{-4}$	$R = .32794 \cdot 10^{-4}$	$R = .30438 \cdot 10^{-4}$	$R = .28421 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .219; R = .56044 \cdot 10^{-4}$	$R = .48263 \cdot 10^{-4}$	$R = .4243 \cdot 10^{-4}$	$R = .37896 \cdot 10^{-4}$	$R = .34269 \cdot 10^{-4}$	$R = .31303 \cdot 10^{-4}$	$R = .28833 \cdot 10^{-4}$	$R = .26744 \cdot 10^{-4}$	$R = .24955 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .245; R = .49945 \cdot 10^{-4}$	$R = .42989 \cdot 10^{-4}$	$R = .37775 \cdot 10^{-4}$	$R = .33719 \cdot 10^{-4}$	$R = .30477 \cdot 10^{-4}$	$R = .27825 \cdot 10^{-4}$	$R = .25616 \cdot 10^{-4}$	$R = .23747 \cdot 10^{-4}$	$R = .22147 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .273; R = .44707 \cdot 10^{-4}$	$R = .38464 \cdot 10^{-4}$	$R = .33783 \cdot 10^{-4}$	$R = .30143 \cdot 10^{-4}$	$R = .27232 \cdot 10^{-4}$	$R = .24851 \cdot 10^{-4}$	$R = .22867 \cdot 10^{-4}$	$R = .2119 \cdot 10^{-4}$	$R = .19752 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .299; R = .4074 \cdot 10^{-4}$	$R = .3504 \cdot 10^{-4}$	$R = .30765 \cdot 10^{-4}$	$R = .27441 \cdot 10^{-4}$	$R = .24782 \cdot 10^{-4}$	$R = .22608 \cdot 10^{-4}$	$R = .20796 \cdot 10^{-4}$	$R = .19265 \cdot 10^{-4}$	$R = .17951 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .325; R = .37421 \cdot 10^{-4}$	$R = .32175 \cdot 10^{-4}$	$R = .28243 \cdot 10^{-4}$	$R = .25183 \cdot 10^{-4}$	$R = .22737 \cdot 10^{-4}$	$R = .20737 \cdot 10^{-4}$	$R = .19069 \cdot 10^{-4}$	$R = .17659 \cdot 10^{-4}$	$R = .16449 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .351; R = .346 \cdot 10^{-4}$	$R = .29745 \cdot 10^{-4}$	$R = .26102 \cdot 10^{-4}$	$R = .2327 \cdot 10^{-4}$	$R = .21004 \cdot 10^{-4}$	$R = .1915 \cdot 10^{-4}$	$R = .17608 \cdot 10^{-4}$	$R = .163 \cdot 10^{-4}$	$R = .15182 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .377; R = .32177 \cdot 10^{-4}$	$R = .27654 \cdot 10^{-4}$	$R = .24262 \cdot 10^{-4}$	$R = .21626 \cdot 10^{-4}$	$R = .19516 \cdot 10^{-4}$	$R = .17792 \cdot 10^{-4}$	$R = .16352 \cdot 10^{-4}$	$R = .15136 \cdot 10^{-4}$	$R = .14094 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .426; R = .28422 \cdot 10^{-4}$	$R = .24419 \cdot 10^{-4}$	$R = .21418 \cdot 10^{-4}$	$R = .19083 \cdot 10^{-4}$	$R = .17217 \cdot 10^{-4}$	$R = .1569 \cdot 10^{-4}$	$R = .14417 \cdot 10^{-4}$	$R = .1334 \cdot 10^{-4}$	$R = .12418 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .477; R = .23344 \cdot 10^{-4}$	$R = .2177 \cdot 10^{-4}$	$R = .19088 \cdot 10^{-4}$	$R = .17004 \cdot 10^{-4}$	$R = .15337 \cdot 10^{-4}$	$R = .13973 \cdot 10^{-4}$	$R = .12836 \cdot 10^{-4}$	$R = .11874 \cdot 10^{-4}$	$R = .11049 \cdot 10^{-4}$					
	$D[I] = .529; R = .22824 \cdot 10^{-4}$	$R = .19602 \cdot 10^{-4}$	$R = .17484 \cdot 10^{-4}$	$R = .15305 \cdot 10^{-4}$	$R = .138 \cdot 10^{-4}$	$R = .1257 \cdot 10^{-4}$	$R = .11544 \cdot 10^{-4}$	$R = .10677 \cdot 10^{-4}$	$R = .99342 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = .62; R = .19441 \cdot 10^{-4}$	$R = .16691 \cdot 10^{-4}$	$R = .14629 \cdot 10^{-4}$	$R = .13024 \cdot 10^{-4}$	$R = .11741 \cdot 10^{-4}$	$R = .10691 \cdot 10^{-4}$	$R = .98163 \cdot 10^{-5}$	$R = .90766 \cdot 10^{-5}$	$R = .84418 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = .72; R = .16718 \cdot 10^{-4}$	$R = .14349 \cdot 10^{-4}$	$R = .12574 \cdot 10^{-4}$	$R = .11192 \cdot 10^{-4}$	$R = .10087 \cdot 10^{-4}$	$R = .91836 \cdot 10^{-5}$	$R = .84301 \cdot 10^{-5}$	$R = .77927 \cdot 10^{-5}$	$R = .72461 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = .82; R = .14664 \cdot 10^{-4}$	$R = .12585 \cdot 10^{-4}$	$R = .11025 \cdot 10^{-4}$	$R = .98124 \cdot 10^{-5}$	$R = .88422 \cdot 10^{-5}$	$R = .80483 \cdot 10^{-5}$	$R = .73867 \cdot 10^{-5}$	$R = .6827 \cdot 10^{-5}$	$R = .63471 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = .92; R = .1306 \cdot 10^{-4}$	$R = .11206 \cdot 10^{-4}$	$R = .98167 \cdot 10^{-5}$	$R = .87354 \cdot 10^{-5}$	$R = .78707 \cdot 10^{-5}$	$R = .7163 \cdot 10^{-5}$	$R = .65731 \cdot 10^{-5}$	$R = .60745 \cdot 10^{-5}$	$R = .56467 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = 1.02; R = .11772 \cdot 10^{-4}$	$R = .101 \cdot 10^{-4}$	$R = .88467 \cdot 10^{-5}$	$R = .78715 \cdot 10^{-5}$	$R = .70913 \cdot 10^{-5}$	$R = .6453 \cdot 10^{-5}$	$R = .5921 \cdot 10^{-5}$	$R = .54711 \cdot 10^{-5}$	$R = .50853 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = 1.22; R = .9833 \cdot 10^{-5}$	$R = .84351 \cdot 10^{-5}$	$R = .79867 \cdot 10^{-5}$	$R = .65714 \cdot 10^{-5}$	$R = .59191 \cdot 10^{-5}$	$R = .53854 \cdot 10^{-5}$	$R = .49407 \cdot 10^{-5}$	$R = .45645 \cdot 10^{-5}$	$R = .4242 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = 1.42; R = .84421 \cdot 10^{-5}$	$R = .7241 \cdot 10^{-5}$	$R = .63405 \cdot 10^{-5}$	$R = .56399 \cdot 10^{-5}$	$R = .50795 \cdot 10^{-5}$	$R = .4621 \cdot 10^{-5}$	$R = .42389 \cdot 10^{-5}$	$R = .39156 \cdot 10^{-5}$	$R = .36385 \cdot 10^{-5}$					
	$D[I] = 1.62; R = .73959 \cdot 10^{-5}$	$R = .63492 \cdot 10^{-5}$	$R = .55539 \cdot 10^{-5}$	$R = .49397 \cdot 10^{-5}$	$R = .44485 \cdot 10^{-5}$	$R = .40466 \cdot 10^{-5}$	$R = .37117 \cdot 10^{-5}$	$R = .34283 \cdot 10^{-5}$	$R = .31854 \cdot 10^{-5}$					

"ЗАМЕ" ($R_1 = .25$; "НА" 1) "КОН"

Таблица 10

$\delta =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$D[1] = .146; R = .9474_{10}^{-4}$	$R = .8179_{10}^{-4}$	$R = .72083_{10}^{-4}$	$R = .64541_{10}^{-4}$	$R = .38515_{10}^{-4}$	$R = .53589_{10}^{-4}$	$R = .4949_{10}^{-4}$	$R = .46027_{10}^{-4}$	$R = .43064_{10}^{-4}$						
$D[1] = .152; R = .90846_{10}^{-4}$	$R = .78404_{10}^{-4}$	$R = .69079_{10}^{-4}$	$R = .61835_{10}^{-4}$	$R = .56042_{10}^{-4}$	$R = .51309_{10}^{-4}$	$R = .47369_{10}^{-4}$	$R = .44039_{10}^{-4}$	$R = .4119_{10}^{-4}$						
$D[1] = .159; R = .86691_{10}^{-4}$	$R = .74794_{10}^{-4}$	$R = .65879_{10}^{-4}$	$R = .58949_{10}^{-4}$	$R = .53409_{10}^{-4}$	$R = .48882_{10}^{-4}$	$R = .45113_{10}^{-4}$	$R = .41929_{10}^{-4}$	$R = .39202_{10}^{-4}$						
$D[1] = .168; R = .81873_{10}^{-4}$	$R = .70613_{10}^{-4}$	$R = .62172_{10}^{-4}$	$R = .55611_{10}^{-4}$	$R = .50367_{10}^{-4}$	$R = .4608_{10}^{-4}$	$R = .42511_{10}^{-4}$	$R = .39494_{10}^{-4}$	$R = .36911_{10}^{-4}$						
$D[1] = .18; R = .76226_{10}^{-4}$	$R = .65713_{10}^{-4}$	$R = .57834_{10}^{-4}$	$R = .51708_{10}^{-4}$	$R = .46812_{10}^{-4}$	$R = .42808_{10}^{-4}$	$R = .39473_{10}^{-4}$	$R = .36656_{10}^{-4}$	$R = .34242_{10}^{-4}$						
$D[1] = .194; R = .70549_{10}^{-4}$	$R = .60794_{10}^{-4}$	$R = .53481_{10}^{-4}$	$R = .47795_{10}^{-4}$	$R = .4325_{10}^{-4}$	$R = .39533_{10}^{-4}$	$R = .36437_{10}^{-4}$	$R = .3382_{10}^{-4}$	$R = .31579_{10}^{-4}$						
$D[1] = .219; R = .62271_{10}^{-4}$	$R = .53626_{10}^{-4}$	$R = .47144_{10}^{-4}$	$R = .42106_{10}^{-4}$	$R = .38076_{10}^{-4}$	$R = .34781_{10}^{-4}$	$R = .32037_{10}^{-4}$	$R = .29716_{10}^{-4}$	$R = .27728_{10}^{-4}$						
$D[1] = .245; R = .55495_{10}^{-4}$	$R = .47766_{10}^{-4}$	$R = .41972_{10}^{-4}$	$R = .37466_{10}^{-4}$	$R = .33863_{10}^{-4}$	$R = .30916_{10}^{-4}$	$R = .28462_{10}^{-4}$	$R = .26386_{10}^{-4}$	$R = .24608_{10}^{-4}$						
$D[1] = .273; R = .49675_{10}^{-4}$	$R = .42738_{10}^{-4}$	$R = .37597_{10}^{-4}$	$R = .33492_{10}^{-4}$	$R = .30258_{10}^{-4}$	$R = .27613_{10}^{-4}$	$R = .25408_{10}^{-4}$	$R = .23544_{10}^{-4}$	$R = .21947_{10}^{-4}$						
$D[1] = .299; R = .45267_{10}^{-4}$	$R = .38934_{10}^{-4}$	$R = .34184_{10}^{-4}$	$R = .3049_{10}^{-4}$	$R = .27536_{10}^{-4}$	$R = .2512_{10}^{-4}$	$R = .23107_{10}^{-4}$	$R = .21405_{10}^{-4}$	$R = .19945_{10}^{-4}$						
$D[1] = .325; R = .41579_{10}^{-4}$	$R = .3575_{10}^{-4}$	$R = .31381_{10}^{-4}$	$R = .27981_{10}^{-4}$	$R = .25263_{10}^{-4}$	$R = .23041_{10}^{-4}$	$R = .21188_{10}^{-4}$	$R = .19621_{10}^{-4}$	$R = .18277_{10}^{-4}$						
$D[1] = .351; R = .38444_{10}^{-4}$	$R = .3305_{10}^{-4}$	$R = .29002_{10}^{-4}$	$R = .25856_{10}^{-4}$	$R = .23338_{10}^{-4}$	$R = .21278_{10}^{-4}$	$R = .19564_{10}^{-4}$	$R = .18112_{10}^{-4}$	$R = .16889_{10}^{-4}$						
$D[1] = .377; R = .35753_{10}^{-4}$	$R = .30727_{10}^{-4}$	$R = .26958_{10}^{-4}$	$R = .24029_{10}^{-4}$	$R = .21684_{10}^{-4}$	$R = .19769_{10}^{-4}$	$R = .18169_{10}^{-4}$	$R = .16818_{10}^{-4}$	$R = .1566_{10}^{-4}$						
$D[1] = .426; R = .3158_{10}^{-4}$	$R = .27132_{10}^{-4}$	$R = .23798_{10}^{-4}$	$R = .21204_{10}^{-4}$	$R = .1913_{10}^{-4}$	$R = .17433_{10}^{-4}$	$R = .16019_{10}^{-4}$	$R = .14822_{10}^{-4}$	$R = .13798_{10}^{-4}$						
$D[1] = .477; R = .2816_{10}^{-4}$	$R = .24189_{10}^{-4}$	$R = .21209_{10}^{-4}$	$R = .18893_{10}^{-4}$	$R = .17041_{10}^{-4}$	$R = .15526_{10}^{-4}$	$R = .14262_{10}^{-4}$	$R = .13194_{10}^{-4}$	$R = .12277_{10}^{-4}$						
$D[1] = .529; R = .2536_{10}^{-4}$	$R = .2178_{10}^{-4}$	$R = .19094_{10}^{-4}$	$R = .17005_{10}^{-4}$	$R = .15333_{10}^{-4}$	$R = .13967_{10}^{-4}$	$R = .12827_{10}^{-4}$	$R = .11863_{10}^{-4}$	$R = .11038_{10}^{-4}$						
$D[1] = .62; R = .21602_{10}^{-4}$	$R = .18545_{10}^{-4}$	$R = .16254_{10}^{-4}$	$R = .14471_{10}^{-4}$	$R = .13045_{10}^{-4}$	$R = .11879_{10}^{-4}$	$R = .10907_{10}^{-4}$	$R = .10085_{10}^{-4}$	$R = .93798_{10}^{-5}$						
$D[1] = .72; R = .18576_{10}^{-4}$	$R = .15943_{10}^{-4}$	$R = .13971_{10}^{-4}$	$R = .12436_{10}^{-4}$	$R = .11208_{10}^{-4}$	$R = .10204_{10}^{-4}$	$R = .93668_{10}^{-5}$	$R = .86586_{10}^{-5}$	$R = .80512_{10}^{-5}$						
$D[1] = .82; R = .16294_{10}^{-4}$	$R = .13983_{10}^{-4}$	$R = .1225_{10}^{-4}$	$R = .10902_{10}^{-4}$	$R = .98247_{10}^{-5}$	$R = .89426_{10}^{-5}$	$R = .82074_{10}^{-5}$	$R = .75856_{10}^{-5}$	$R = .70523_{10}^{-5}$						
$D[1] = .92; R = .14512_{10}^{-4}$	$R = .12452_{10}^{-4}$	$R = .10907_{10}^{-4}$	$R = .9706_{10}^{-5}$	$R = .87452_{10}^{-5}$	$R = .79589_{10}^{-5}$	$R = .73035_{10}^{-5}$	$R = .67494_{10}^{-5}$	$R = .62741_{10}^{-5}$						
$D[1] = 1.02; R = .1308_{10}^{-4}$	$R = .11222_{10}^{-4}$	$R = .98297_{10}^{-5}$	$R = .87461_{10}^{-5}$	$R = .78792_{10}^{-5}$	$R = .71701_{10}^{-5}$	$R = .65789_{10}^{-5}$	$R = .6079_{10}^{-5}$	$R = .56503_{10}^{-5}$						
$D[1] = 1.22; R = .10925_{10}^{-4}$	$R = .93724_{10}^{-5}$	$R = .82074_{10}^{-5}$	$R = .73016_{10}^{-5}$	$R = .65768_{10}^{-5}$	$R = .59838_{10}^{-5}$	$R = .54896_{10}^{-5}$	$R = .50717_{10}^{-5}$	$R = .47133_{10}^{-5}$						
$D[1] = 1.42; R = .93801_{10}^{-5}$	$R = .80455_{10}^{-5}$	$R = .7045_{10}^{-5}$	$R = .62666_{10}^{-5}$	$R = .56439_{10}^{-5}$	$R = .51345_{10}^{-5}$	$R = .47099_{10}^{-5}$	$R = .43507_{10}^{-5}$	$R = .40428_{10}^{-5}$						
ξ	$D[1] = 1.62; R = .82177_{10}^{-5}$	$R = .7048_{10}^{-5}$	$R = .6171_{10}^{-5}$	$R = .54885_{10}^{-5}$	$R = .49428_{10}^{-5}$	$R = .44963_{10}^{-5}$	$R = .41241_{10}^{-5}$	$R = .38092_{10}^{-5}$	$R = .35393_{10}^{-5}$					

5 "3AME"(R1=.275;"HA"1)"КОН"

Таблица II

$\delta =$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[1]=.146;R=.10421 ₁₀ -3	R=.89969 ₁₀ -4	R=.79291 ₁₀ -4	R=.70995 ₁₀ -4	R=.64366 ₁₀ -4	R=.58948 ₁₀ -4	R=.54439 ₁₀ -4	R=.5063 ₁₀ -4	R=.4737 ₁₀ -4	
D[1]=.152;R=.9993 ₁₀ -4	R=.86244 ₁₀ -4	R=.75987 ₁₀ -4	R=.68018 ₁₀ -4	R=.61646 ₁₀ -4	R=.5644 ₁₀ -4	R=.52106 ₁₀ -4	R=.48443 ₁₀ -4	R=.45309 ₁₀ -4	
D[1]=.159;R=.9536 ₁₀ -4	R=.82273 ₁₀ -4	R=.72467 ₁₀ -4	R=.64844 ₁₀ -4	R=.5875 ₁₀ -4	R=.5377 ₁₀ -4	R=.49624 ₁₀ -4	R=.46122 ₁₀ -4	R=.43123 ₁₀ -4	
D[1]=.168;R=.9006 ₁₀ -4	R=.77674 ₁₀ -4	R=.68989 ₁₀ -4	R=.61172 ₁₀ -4	R=.55404 ₁₀ -4	R=.50688 ₁₀ -4	R=.46762 ₁₀ -4	R=.43443 ₁₀ -4	R=.40602 ₁₀ -4	
D[1]=.18;R=.83849 ₁₀ -4	R=.72284 ₁₀ -4	R=.63617 ₁₀ -4	R=.56879 ₁₀ -4	R=.51493 ₁₀ -4	R=.47089 ₁₀ -4	R=.43421 ₁₀ -4	R=.40321 ₁₀ -4	R=.37666 ₁₀ -4	
D[1]=.194;R=.77604 ₁₀ -4	R=.66874 ₁₀ -4	R=.58829 ₁₀ -4	R=.52575 ₁₀ -4	R=.47575 ₁₀ -4	R=.43487 ₁₀ -4	R=.40081 ₁₀ -4	R=.37202 ₁₀ -4	R=.34737 ₁₀ -4	
D[1]=.219;R=.68498 ₁₀ -4	R=.58988 ₁₀ -4	R=.51859 ₁₀ -4	R=.46317 ₁₀ -4	R=.41884 ₁₀ -4	R=.38259 ₁₀ -4	R=.35241 ₁₀ -4	R=.32688 ₁₀ -4	R=.30501 ₁₀ -4	
D[1]=.245;R=.61044 ₁₀ -4	R=.52543 ₁₀ -4	R=.46169 ₁₀ -4	R=.41213 ₁₀ -4	R=.3725 ₁₀ -4	R=.34008 ₁₀ -4	R=.31308 ₁₀ -4	R=.29024 ₁₀ -4	R=.27069 ₁₀ -4	
D[1]=.273;R=.54642 ₁₀ -4	R=.47012 ₁₀ -4	R=.41291 ₁₀ -4	R=.36842 ₁₀ -4	R=.33284 ₁₀ -4	R=.30374 ₁₀ -4	R=.27949 ₁₀ -4	R=.25899 ₁₀ -4	R=.24141 ₁₀ -4	
D[1]=.299;R=.49794 ₁₀ -4	R=.42827 ₁₀ -4	R=.37602 ₁₀ -4	R=.33539 ₁₀ -4	R=.3029 ₁₀ -4	R=.27632 ₁₀ -4	R=.25418 ₁₀ -4	R=.23546 ₁₀ -4	R=.2194 ₁₀ -4	
D[1]=.325;R=.45737 ₁₀ -4	R=.39325 ₁₀ -4	R=.34519 ₁₀ -4	R=.30779 ₁₀ -4	R=.27789 ₁₀ -4	R=.25345 ₁₀ -4	R=.23307 ₁₀ -4	R=.21583 ₁₀ -4	R=.20105 ₁₀ -4	
D[1]=.351;R=.42289 ₁₀ -4	R=.36355 ₁₀ -4	R=.31902 ₁₀ -4	R=.28442 ₁₀ -4	R=.25672 ₁₀ -4	R=.23406 ₁₀ -4	R=.21521 ₁₀ -4	R=.19923 ₁₀ -4	R=.18556 ₁₀ -4	
D[1]=.377;R=.39328 ₁₀ -4	R=.33799 ₁₀ -4	R=.29654 ₁₀ -4	R=.26432 ₁₀ -4	R=.23852 ₁₀ -4	R=.21746 ₁₀ -4	R=.19986 ₁₀ -4	R=.18499 ₁₀ -4	R=.17226 ₁₀ -4	
D[1]=.426;R=.34738 ₁₀ -4	R=.29845 ₁₀ -4	R=.26178 ₁₀ -4	R=.23324 ₁₀ -4	R=.21043 ₁₀ -4	R=.19177 ₁₀ -4	R=.17621 ₁₀ -4	R=.16304 ₁₀ -4	R=.15178 ₁₀ -4	
D[1]=.477;R=.30976 ₁₀ -4	R=.26608 ₁₀ -4	R=.2333 ₁₀ -4	R=.20782 ₁₀ -4	R=.18745 ₁₀ -4	R=.17078 ₁₀ -4	R=.15689 ₁₀ -4	R=.14513 ₁₀ -4	R=.13504 ₁₀ -4	
D[1]=.529;R=.27896 ₁₀ -4	R=.23958 ₁₀ -4	R=.21003 ₁₀ -4	R=.18706 ₁₀ -4	R=.16867 ₁₀ -4	R=.15363 ₁₀ -4	R=.1411 ₁₀ -4	R=.13049 ₁₀ -4	R=.12141 ₁₀ -4	
D[1]=.62;R=.23762 ₁₀ -4	R=.204 ₁₀ -4	R=.1788 ₁₀ -4	R=.15918 ₁₀ -4	R=.1435 ₁₀ -4	R=.13067 ₁₀ -4	R=.11997 ₁₀ -4	R=.11093 ₁₀ -4	R=.10317 ₁₀ -4	
D[1]=.72;R=.20433 ₁₀ -4	R=.17538 ₁₀ -4	R=.15369 ₁₀ -4	R=.1368 ₁₀ -4	R=.12329 ₁₀ -4	R=.11224 ₁₀ -4	R=.10303 ₁₀ -4	R=.95244 ₁₀ -5	R=.88563 ₁₀ -5	
D[1]=.82;R=.17923 ₁₀ -4	R=.15382 ₁₀ -4	R=.13475 ₁₀ -4	R=.11993 ₁₀ -4	R=.10807 ₁₀ -4	R=.98368 ₁₀ -5	R=.90282 ₁₀ -5	R=.83442 ₁₀ -5	R=.77576 ₁₀ -5	
D[1]=.92;R=.15963 ₁₀ -4	R=.13697 ₁₀ -4	R=.11998 ₁₀ -4	R=.10676 ₁₀ -4	R=.96197 ₁₀ -5	R=.87548 ₁₀ -5	R=.80338 ₁₀ -5	R=.74244 ₁₀ -5	R=.69015 ₁₀ -5	
D[1]=1.02;R=.14388 ₁₀ -4	R=.12345 ₁₀ -4	R=.10812 ₁₀ -4	R=.96207 ₁₀ -5	R=.86671 ₁₀ -5	R=.78871 ₁₀ -5	R=.72368 ₁₀ -5	R=.66889 ₁₀ -5	R=.62153 ₁₀ -5	
D[1]=1.22;R=.12018 ₁₀ -4	R=.10309 ₁₀ -4	R=.90282 ₁₀ -5	R=.80317 ₁₀ -5	R=.72345 ₁₀ -5	R=.65822 ₁₀ -5	R=.60986 ₁₀ -5	R=.55788 ₁₀ -5	R=.51846 ₁₀ -5	
D[1]=1.42;R=.10918 ₁₀ -4	R=.88501 ₁₀ -5	R=.77495 ₁₀ -5	R=.68932 ₁₀ -5	R=.62083 ₁₀ -5	R=.56479 ₁₀ -5	R=.51809 ₁₀ -5	R=.47858 ₁₀ -5	R=.44471 ₁₀ -5	
D[1]=1.62;R=.90395 ₁₀ -5	R=.77528 ₁₀ -5	R=.67881 ₁₀ -5	R=.60374 ₁₀ -5	R=.54371 ₁₀ -5	R=.49459 ₁₀ -5	R=.45365 ₁₀ -5	R=.41902 ₁₀ -5	R=.38939 ₁₀ -5	

Таблица 12

"ЗАМЕ" (R1=.3;"НА"1)"КОН"

$\delta = \downarrow$	5	7	8	9	10	11	12	13	14
D[1]=.146; R=.11368 ₁₀ -3	R=.98148 ₁₀ -4	R=.885 ₁₀ -4	R=.77449 ₁₀ -4	R=.70218 ₁₀ -4	R=.64307 ₁₀ -4	R=.59388 ₁₀ -4	R=.55233 ₁₀ -4	R=.51676 ₁₀ -4	
D[1]=.152; R=.10901 ₁₀ -3	R=.94085 ₁₀ -4	R=.82895 ₁₀ -4	R=.74202 ₁₀ -4	R=.67251 ₁₀ -4	R=.61571 ₁₀ -4	R=.56842 ₁₀ -4	R=.52847 ₁₀ -4	R=.49428 ₁₀ -4	
D[1]=.159; R=.10402 ₁₀ -3	R=.89753 ₁₀ -4	R=.79055 ₁₀ -4	R=.70739 ₁₀ -4	R=.64091 ₁₀ -4	R=.58659 ₁₀ -4	R=.54135 ₁₀ -4	R=.50315 ₁₀ -4	R=.47043 ₁₀ -4	
D[1]=.168; R=.98247 ₁₀ -4	R=.84736 ₁₀ -4	R=.74606 ₁₀ -4	R=.66733 ₁₀ -4	R=.60441 ₁₀ -4	R=.55296 ₁₀ -4	R=.51013 ₁₀ -4	R=.47393 ₁₀ -4	R=.44293 ₁₀ -4	
D[1]=.18; R=.91471 ₁₀ -4	R=.78856 ₁₀ -4	R=.69401 ₁₀ -4	R=.6205 ₁₀ -4	R=.56174 ₁₀ -4	R=.51369 ₁₀ -4	R=.47368 ₁₀ -4	R=.43987 ₁₀ -4	R=.4109 ₁₀ -4	
D[1]=.194; R=.84659 ₁₀ -4	R=.72953 ₁₀ -4	R=.64177 ₁₀ -4	R=.57354 ₁₀ -4	R=.519 ₁₀ -4	R=.4744 ₁₀ -4	R=.43725 ₁₀ -4	R=.40584 ₁₀ -4	R=.37895 ₁₀ -4	
D[1]=.219; R=.74725 ₁₀ -4	R=.64351 ₁₀ -4	R=.56573 ₁₀ -4	R=.50528 ₁₀ -4	R=.45692 ₁₀ -4	R=.41737 ₁₀ -4	R=.38444 ₁₀ -4	R=.35659 ₁₀ -4	R=.33274 ₁₀ -4	
D[1]=.245; R=.66594 ₁₀ -4	R=.57319 ₁₀ -4	R=.50366 ₁₀ -4	R=.44959 ₁₀ -4	R=.40636 ₁₀ -4	R=.371 ₁₀ -4	R=.34154 ₁₀ -4	R=.31663 ₁₀ -4	R=.2953 ₁₀ -4	
D[1]=.273; R=.5961 ₁₀ -4	R=.51286 ₁₀ -4	R=.45045 ₁₀ -4	R=.40191 ₁₀ -4	R=.3631 ₁₀ -4	R=.33135 ₁₀ -4	R=.3049 ₁₀ -4	R=.28253 ₁₀ -4	R=.26336 ₁₀ -4	
D[1]=.299; R=.54321 ₁₀ -4	R=.4672 ₁₀ -4	R=.41021 ₁₀ -4	R=.36588 ₁₀ -4	R=.33043 ₁₀ -4	R=.30144 ₁₀ -4	R=.27728 ₁₀ -4	R=.25687 ₁₀ -4	R=.23934 ₁₀ -4	
D[1]=.325; R=.49895 ₁₀ -4	R=.429 ₁₀ -4	R=.37658 ₁₀ -4	R=.33578 ₁₀ -4	R=.30316 ₁₀ -4	R=.27649 ₁₀ -4	R=.25425 ₁₀ -4	R=.23546 ₁₀ -4	R=.21933 ₁₀ -4	
D[1]=.351; R=.46133 ₁₀ -4	R=.3966 ₁₀ -4	R=.34802 ₁₀ -4	R=.31027 ₁₀ -4	R=.28005 ₁₀ -4	R=.25534 ₁₀ -4	R=.23477 ₁₀ -4	R=.21734 ₁₀ -4	R=.20242 ₁₀ -4	
D[1]=.377; R=.42903 ₁₀ -4	R=.36872 ₁₀ -4	R=.32349 ₁₀ -4	R=.28835 ₁₀ -4	R=.26021 ₁₀ -4	R=.23722 ₁₀ -4	R=.21803 ₁₀ -4	R=.20181 ₁₀ -4	R=.18792 ₁₀ -4	
D[1]=.426; R=.37896 ₁₀ -4	R=.32558 ₁₀ -4	R=.28557 ₁₀ -4	R=.25445 ₁₀ -4	R=.22956 ₁₀ -4	R=.2092 ₁₀ -4	R=.19223 ₁₀ -4	R=.17787 ₁₀ -4	R=.16558 ₁₀ -4	
D[1]=.477; R=.33792 ₁₀ -4	R=.29027 ₁₀ -4	R=.25451 ₁₀ -4	R=.22672 ₁₀ -4	R=.20449 ₁₀ -4	R=.18631 ₁₀ -4	R=.17115 ₁₀ -4	R=.15832 ₁₀ -4	R=.14732 ₁₀ -4	
D[1]=.529; R=.30432 ₁₀ -4	R=.26136 ₁₀ -4	R=.22913 ₁₀ -4	R=.20406 ₁₀ -4	R=.184 ₁₀ -4	R=.1676 ₁₀ -4	R=.15393 ₁₀ -4	R=.14236 ₁₀ -4	R=.13245 ₁₀ -4	
D[1]=.62; R=.25922 ₁₀ -4	R=.22255 ₁₀ -4	R=.19505 ₁₀ -4	R=.17366 ₁₀ -4	R=.15655 ₁₀ -4	R=.14255 ₁₀ -4	R=.13088 ₁₀ -4	R=.12102 ₁₀ -4	R=.11255 ₁₀ -4	
D[1]=.72; R=.22291 ₁₀ -4	R=.19132 ₁₀ -4	R=.16766 ₁₀ -4	R=.14923 ₁₀ -4	R=.1345 ₁₀ -4	R=.12244 ₁₀ -4	R=.1124 ₁₀ -4	R=.1039 ₁₀ -4	R=.96615 ₁₀ -5	
D[1]=.82; R=.19552 ₁₀ -4	R=.1678 ₁₀ -4	R=.147 ₁₀ -4	R=.13083 ₁₀ -4	R=.11789 ₁₀ -4	R=.10731 ₁₀ -4	R=.98489 ₁₀ -5	R=.91027 ₁₀ -5	R=.84628 ₁₀ -5	
D[1]=.92; R=.17414 ₁₀ -4	R=.14942 ₁₀ -4	R=.13089 ₁₀ -4	R=.11647 ₁₀ -4	R=.10494 ₁₀ -4	R=.95507 ₁₀ -5	R=.87642 ₁₀ -5	R=.80993 ₁₀ -5	R=.75289 ₁₀ -5	
D[1]=1.02; R=.15696 ₁₀ -4	R=.13467 ₁₀ -4	R=.11795 ₁₀ -4	R=.10495 ₁₀ -4	R=.9455 ₁₀ -5	R=.86041 ₁₀ -5	R=.78947 ₁₀ -5	R=.72948 ₁₀ -5	R=.67804 ₁₀ -5	
D[1]=1.22; R=.1311 ₁₀ -4	R=.11246 ₁₀ -4	R=.98489 ₁₀ -5	R=.87619 ₁₀ -5	R=.78922 ₁₀ -5	R=.71806 ₁₀ -5	R=.65876 ₁₀ -5	R=.6086 ₁₀ -5	R=.5656 ₁₀ -5	
D[1]=1.42; R=.11256 ₁₀ -4	R=.96546 ₁₀ -5	R=.8454 ₁₀ -5	R=.75199 ₁₀ -5	R=.67727 ₁₀ -5	R=.61614 ₁₀ -5	R=.56519 ₁₀ -5	R=.52209 ₁₀ -5	R=.48513 ₁₀ -5	
D[1]=1.62; R=.98612 ₁₀ -5	R=.84576 ₁₀ -5	R=.74052 ₁₀ -5	R=.65863 ₁₀ -5	R=.59314 ₁₀ -5	R=.53955 ₁₀ -5	R=.49489 ₁₀ -5	R=.45711 ₁₀ -5	R=.42472 ₁₀ -5	

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по электрозащите трубопроводов в северных районах. М., ВНИИСТ, 1970.
2. Рекомендации по проектированию электрозащиты трубопроводов диаметром 2500 мм в условиях вечной мерзлоты. М., ВНИИСТ, 1970.
3. Притула В. В. Опасность коррозионного разрушения и электрохимическая защита стальных подземных сооружений. М., ВНИИСТ, 1970.
4. Зиневич А. М., Глазков В. И., Котик В. Г. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. М., "Недра", 1975.
5. Инструкция по проектированию и расчету катодной защиты трубопроводов. ВСН 2-19-70. М., ВНИИСТ, 1971.
6. Акимов А. Г. Электрическое удельное сопротивление мерзлых грунтов, т. I6, вып. 8, ДАН СССР, 1937.
7. Коренинов Б. И. Электрические свойства мерзлых горных пород. СО АН СССР. Институт мерзлотоведения. Якутск, 1967.
8. Анианин А. А. Зависимость электропроводности мерзлых горных пород от влажности, геофизическая серия, № 12, М., изд-во АН СССР, 1958.
9. Карлсон Г. Расчет протаивания мерзлого грунта. Сб. "Мерзлотные явления в грунтах". М., Изд-во ИЛ, 1955.
10. Карелина В. И. Об устройстве заземлений при открытой разработке месторождений на многолетней мерзлоте. Доклады Всесоюзной конференции по заземлениям. Харьков, 1966.
- II. Притула В. В. Защита от коррозии подземных трубопроводов Канады и Аляски. М., ВНИИОЭНГ, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Назначение и область применения	3
2. Общие положения	4
3. Выбор средств защиты	10
4. Расчет электрохимической защиты	12
5. Выбор протяженных протекторов	33
Приложения	37
Литература	52

Инструкция по расчету параметров
электрохимической защиты подземных
трубопроводов в северных районах

ВСН 2-71-76

Миннефтегазстрой

Издание ВНИИСТА

Редактор Г.К.Храпова

Корректор А.А.Хоромева

Технический редактор Т.В.Берешева

Подписано в печать 3/УМ-1976г.

Формат 60x84/16

Печ.л. 3,25

Уч.-изд.л. 2,7

Усл.печ.л. 3,0

Тираж 300 экз.

Заказ III

Ротапринт ВНИИСТА