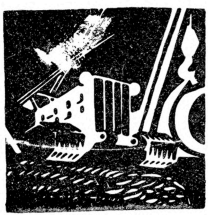
МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

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

gost.e-ecolog.ru

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, Г.Г.Волков, Н.И.Тесов.

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

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1976

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Ведомственные строительные нормы	ВСН 2-7I-76 Миннефтегазстрой
	Инструкция по расчету параметров электрохимической защиты подземных трубопроводов в северных районах	Разработана впервые

I. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

I.I. 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 I976 г.; Мингазпромом 29 апреля I976 г., Миннефтепромом 9 февраля I976 г.	Срок введения I января I977 г. Срок действия до I января I98Iг.

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°С (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): **Большеземельскую тундру (I), Западную Сибирь (II), Среднюю Сибирь (III), Восточную Сибирь (IУ), Забайкалье (У) и Якутско-Алданскую область (УI).**

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) Большеземельская 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 аэрологическая и термическая континентальность в сочетании с пересеченным рельефом в центральной части и болотами в восточном районе;

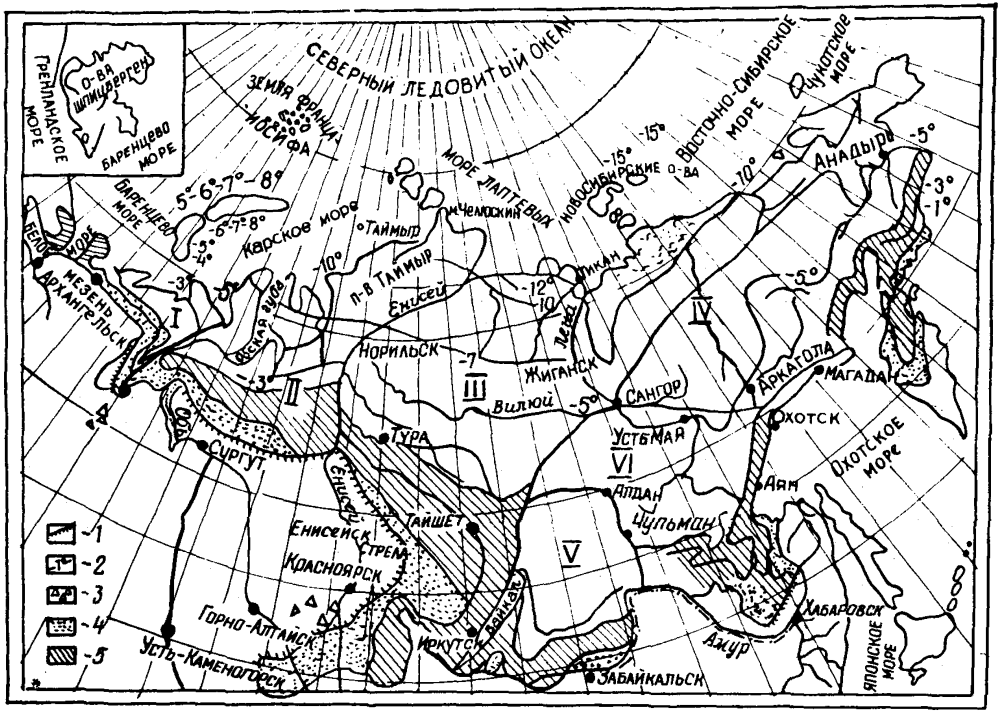
г) Восточная Сибирь - наиболее мощный слой вечной мерзлоты и тонкий слой сезонноактивного грунта; наиболее ярко выраженное промерзание сезонноталого слоя двумя фронтами; наиболее низкие температуры воздуха;

д) Забайкалье - значительный дефицит влажности и большое испарение;

е) Якутско-Алданская область - наиболее резко выраженная континентальность района.

2.IO. Полные характеристики коррозионных условий основных районов распространения вечномерзлых грунтов изложены в "Классификации условий применения электрохимической защиты от коррозии в районах вечной мерзлоты"(М., ВНИИСТ, I970).

2.II. 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.



СЕВЕРНЫЙ ЛЕДОВИТЫЙ ОКЕАН
ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА
О-ВА ШПИЦБЕРГЕН
ГРЕНЛАНДСКОЕ МОРЕ
БАРЕНЦЕВО МОРЕ
БЕЛОЕ МОРЕ
МЕЗЕНЬ
АРХАНГЕЛЬСК
Карское море
Таймыр
п-в Таймыр
Енисей
Ленa
Лена
Тикан
НОВОСИБИРСКИЕ О-ВА
ВОСТОЧНО-СИБИРСКОЕ МОРЕ
Чукотское море
АНАДЫРЬ
НОРИЛЬСК
ЖИГАНСК
Вилюй
САНГОР
АРКАГОЛА
МАГАДАН
ОХОТСК
ОХОТСКОЕ МОРЕ
УСТЬМАЯ
АЯН
АЛДАН
ЧУЛЬМАН
ТУРА
СУРГУТ
ТАЙШЕТ
ЕНИСЕЙСК
СТРЕЛА
КРАСНОЯРСК
ГОРНО-АЛТАЙСК
УСТЬ-КАМЕНОГОРСК
ИРКУТСК
Байкал
ЗАБАЙКАЛЬСК
Амур
ХАБАРОВСК
ЯПОНСКОЕ МОРЕ
I
II
III
IV
V
VI
-1
-2
-3
-4
-5

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

I-южная граница области распространения вечномерзлых грунтов; 2-изотерма на глубине I0 м; 3-отдельные пункты обнаруженных вечномерзлых грунтов; 4-зона отдельных островов вечномерзлых грунтов мощностью до I5 м; 5-зона островного распространения вечномерзлых грунтов мощностью от I5 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:

$$U_{M_t} = U_{M_{18}}(1 + \beta_{U_t} \Delta t) \quad \text{для диапазона температур грунта 0–18°С,} \qquad (I)$$

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

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

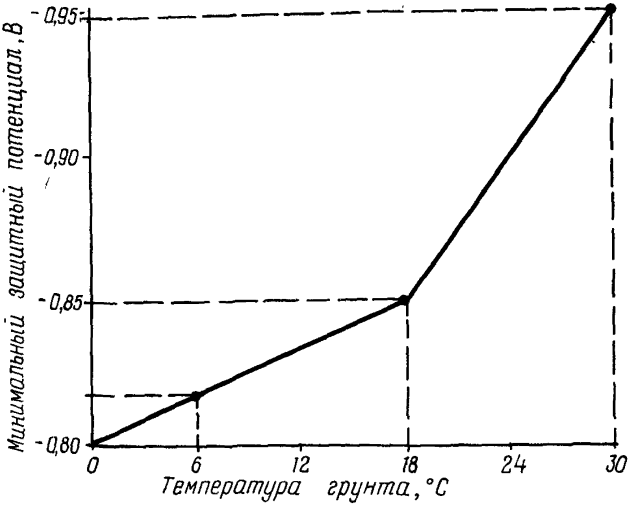


Рис.2. Зависимость минимального защитного потенциала трубопровода от реальной температуры окружающего грунта

t_2 – текущая температура грунта, °С;

β_{u_1} – температурный коэффициент потенциала, 1/°С; β_{u_1} = = 0,003 (при медносульфатном электроде сравнения)

и

$U_{M_t} = U_{M_{18}}(1+\beta_{t_2}\Delta t)$ – для диапазона температур грунта 18–30°С , (2)

где β_{u_2} – температурный коэффициент потенциала, 1/°С; β_{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.1.

Таблица 1

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

Тип электрода	Собственный потенциал при t =20°С (относительно водородного электрода), В	Температурная поправка, В/°С
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.I. 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/см^2. 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 изготовлять из стандартных электродов или отрезков труб, размещенных горизонтально в сезонноталом слое небольшой мощности (до 3 м).

3.10. Свайные заземления изготовляют из отрезков труб длиной не менее 10 м. Их можно применять при мощности сезонно-талого 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.I7. 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.I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТРУБОПРОВОДА

4.I.I. К электрическим параметрам трубопровода относятся:

а) продольное электрическое сопротивление $r_т$ Ом/м (прил.3);

б) переходное сопротивление $R'_т$, Ом·м;

в) входное сопротивление $Z_т$, Ом;

г) постоянная затухания тока $\alpha_т$, $1/м$;

д) естественная разность потенциалов " сооружение-земля " $U_е$, В.

4.I.2. Продольное электрическое сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$r_т = \frac{\rho_{т.с}\,[1-\beta\rho(20-t)]}{\pi(D_т-\delta)\delta}\,, \qquad (3)$$

где $\rho_{т.с}$ – удельное сопротивление трубной стали

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

$\beta\rho$ – температурный коэффициент сопротивления стали, 0,006 I/°C;

t – температура транспортируемого продукта, °C;

$D_т$ – диаметр трубопровода, мм;

δ – толщина стенки трубопровода, мм.

4.I.3. Переходное сопротивление трубопровода при наличии подстилающего слоя вечномерзлых грунтов можно рассчитать по формуле

$$R_т = R_{из} + \frac{\rho_{ет}}{\pi}\sum_{R_i}^{R_\infty} K_0\left(\alpha_т\,, R_i\right), \qquad (4)$$

где $R_{из}$ – сопротивление изоляции, Ом·м;

ρ_{2t} – удельное сопротивление грунта при температуре эксплуатации трубопровода, Ом.м;

$K_0(\alpha_т, R_i)$ – 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;

$$K_0(V) = \ln \frac{1,12}{V} \qquad (\text{для } V \leq 0,5)$$

или

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

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

$$R_т = R_{из} + \frac{\rho_{2t}}{\pi}\left[\sum_{1}^{A} \ln \frac{35,5}{\alpha_т \sqrt{D_т n H}} + \sum_{A}^{\infty} \sqrt{\frac{31,6\pi}{2\alpha_т \sqrt{D_т n H}}}\, e^{-0,03\alpha_т \sqrt{D_т n H}}\right], \quad (5)$$

где H – глубина заложения трубопровода, м;

A – предел слагаемых ряда по n .

4.I.6. При условии изменения величин:

$$\alpha_т = 10^{-3} \div 10^{-5}\ 1/м\ ;\ D_т \leq 2500\ мм;\ H \leq 3\ м$$

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

$$R_т = R_{из} + 0,4\rho_{2t} . \qquad (6)$$

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

$$\rho_{2t} = \frac{40\ \rho_{18}}{22,0 + t_2} \qquad (\text{для } t_2 \geq 0^{\circ}C), \quad (7)$$

где ρ_{18} – удельное сопротивление грунта при I8°С, Ом·м.

4.I.8. Удельное сопротивление мерзлого грунта с учетом его реальной температуры в первом приближении можно оценить по графикам (рис.3 и 4).

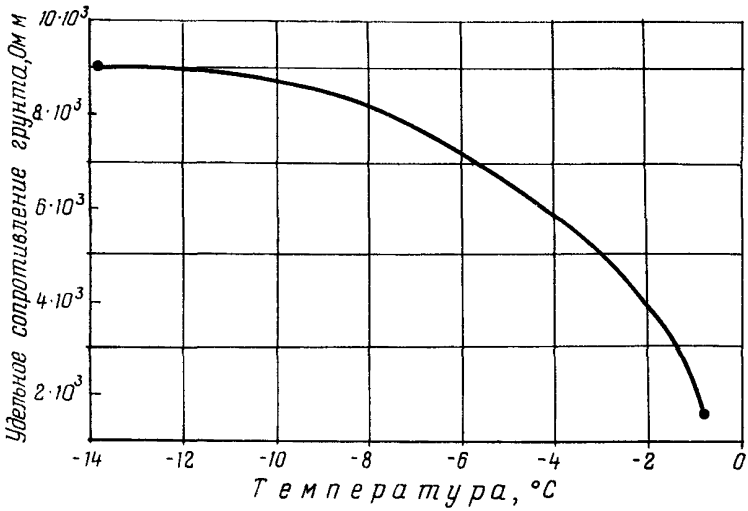


Рис.3. Зависимость сопротивления грунта (мерзлой супеси) от температуры (по данным А.Т.Акимова)

4.I.9. Среднюю величину удельного сопротивления грунта по трассе трубопровода определяют по формуле

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

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.

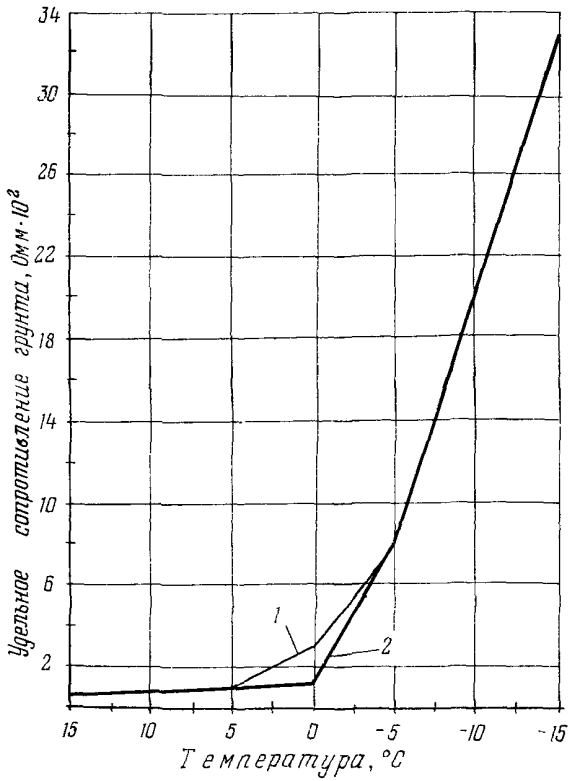


Рис.4. Зависимость сопротивления грунта (тощей глины, содержащей I5,2% влаги) от температуры:
I–лед; 2–вода

4.I.IO. Постоянную затухания тока вдоль сооружения определяют по формуле

$$\alpha_т = \sqrt{\frac{z_т}{R_т}} \,. \qquad (9)$$

4.I.II. Входное сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$Z_т = \frac{1}{2}\sqrt{z_т R_т} \,. \qquad (IO)$$

4.I.I2. При различных электрических параметрах левого $Z_л$ и правого $Z_п$ (от точки присоединения катодной установки) плеч трубопровода его входное сопротивление $Z_т$ определяют по формуле

$$Z_т = \frac{Z_п \, Z_л}{Z_п + Z_л} \,. \qquad (II)$$

4.2. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ТРУБОПРОВОДА

4.2.I. 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, ^{o}C;

в) диаметр зоны протаивания, м;

г) среднюю температуру грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода, ^{o}C;

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).

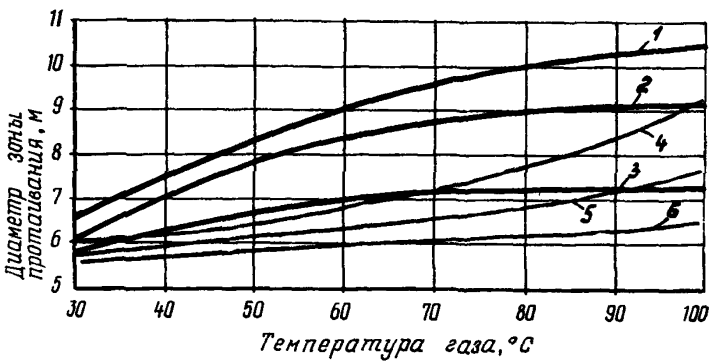


Рис.5. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе на первый год эксплуатации:

1–мерзлый грунт, диаметр трубы 1020–1420 мм; } на январь
2–талый грунт, диаметр трубы 1420 мм;
3–талый грунт, диаметр трубы 1020 мм;
4–мерзлый грунт, диаметр трубы 1020–1420 мм; } на апрель
5–талый грунт, диаметр трубы 1420 мм;
6–талый грунт, диаметр трубы 1020 мм

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

$$t_{cc} = \frac{t_1 + t_2}{4}, \qquad (12)$$

где t_{2c} – средняя температура грунта в зоне протаивания вокруг трубопровода, °С;

t_1 – температура продукта в начале участка зоны протаивания, °С;

t_2 – температура продукта в конце участка зоны протаивания, °С.

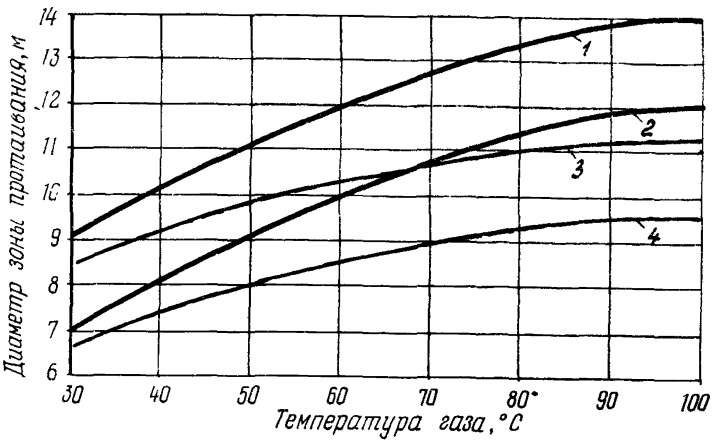


Рис.6. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе через три года эксплуатации:

I–мерзлый грунт, диаметр трубы I420 мм; 2–мерзлый грунт, диаметр трубы I020 мм; 3–талый грунт, диаметр трубы I420 мм; 4–талый грунт, диаметр трубы I020 мм

4.3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

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

а) распределение защитных потенциалов вдоль трубопровода;

б) защитный ток установок катодной защиты;

в) 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

$$U_т = U_в + U_0 e^{-\alpha_т X}, \qquad (13)$$

где $U_т$ – защитный потенциал в точке трубопровода с координатой X, В;

U_0 – 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

$$U_т = U_в + 0{,}2\,J\rho_{zt}\alpha_т e^{-\alpha_т X}, \qquad (14)$$

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 монослойным 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

$$J = \frac{2{,}4\, e^{\alpha_т L}(U_{м_t} - U_в)}{\alpha_т R_т}. \qquad (15)$$

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 монослойным 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

$$J_g = \frac{U_{T\,max} - U_e}{0{,}2\rho_{zt}\alpha_T}, \qquad (16)$$

где J_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 монослойным 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

$$L_3 = \frac{\ell n J + \ell n \frac{\alpha_T R_T}{2{,}4(U_{M_k} - U_e)}}{10^3 \alpha_T}, \qquad (17)$$

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 монослойным 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 $U_{M_k} - U_e$ 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.I2. 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.

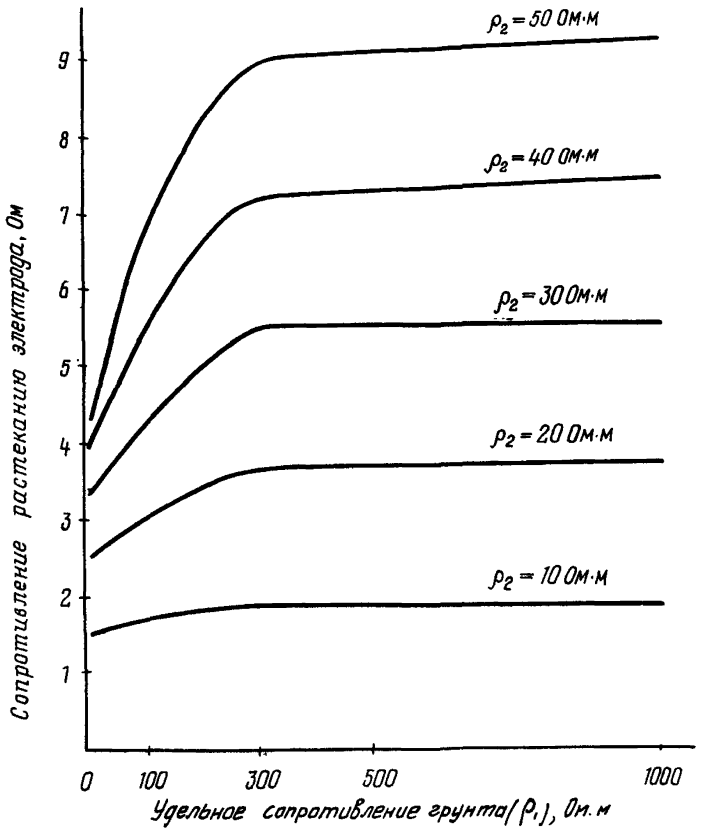


Рис.7. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания H, равной 2 м:

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

4.3.I3. Уточненный расчет сопротивления растеканию одиночного вертикального электрода с учетом слоистой структуры грунта в условиях промерзания его сверху (рис.I0) можно выполнять на электронно-вычислительной машине класса "Мир-I" по прилагаемой программе (прил.I,2).

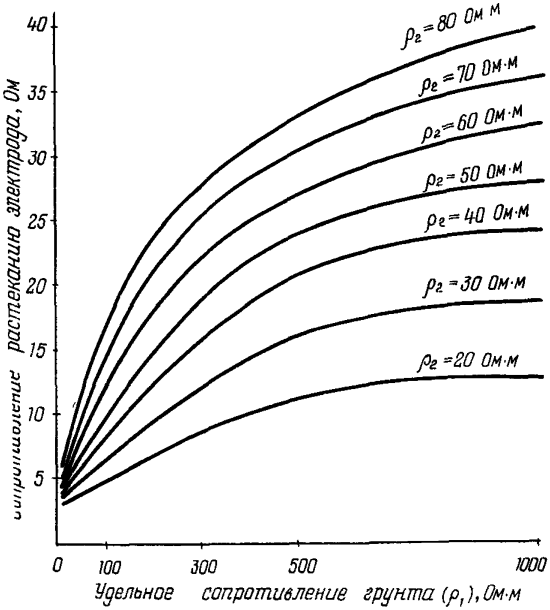


Рис.8. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 3 м

4.3.I4. 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

$$R_c = 0{,}16\rho_{1t}K\frac{\ln\frac{4H_м}{d_c}\ \ln\frac{2(l_c-H_м)}{d_c}\sqrt{\frac{3l_c+H_м}{l_c+3H_м}}}{(l_c-H_м)\ln\frac{4H_м}{d_c}+KH_м\ln\frac{2(l_c-H_м)}{d_c}\sqrt{\frac{3l_c+H_м}{l_c+3H_м}}}, \quad (18)$$

где R_c – сопротивление сваи без активатора, Ом;

ρ_{1t} – удельное сопротивление талого грунта при реальной температуре эксплуатации заземления, Ом·м;

$H_м$ – мощность слоя сезонноталого грунта, м;

l_c – длина сваи, м;

d_c – диаметр сваи, м;

K – коэффициент преломления,

$$K = \frac{\rho_{2t}}{\rho_{1t}},$$

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

$$R_c = 0{,}16\rho_{1t}K\frac{\left(\frac{10}{K\rho_{1t}}+\ln\frac{1{,}3l_c-H_м}{10d_c}\sqrt{\frac{3{,}3l_c+H_м}{0{,}7l_c+3H_м}}\right)\ln\frac{4H_м}{d_c}}{(1{,}3l_c-2H_м)\ln\frac{4H_м}{d_c}+KH_м\ln\frac{1{,}3l_c+H_м}{10d_c}\sqrt{\frac{3{,}3l_c+H_м}{0{,}7l_c+3H_м}}+\frac{10H_м}{\rho_1}}. \quad (19)$$

4.3.16. Сопротивление мерзлотного заземления можно определить по формуле

$$R_м = \frac{\rho_м}{\pi}\left(\frac{1}{8h_т}+\frac{1}{2d_т}\right)+R_{AT}, \quad (20)$$

где $\rho_м$ – удельное сопротивление вечномерзлого грунта, Ом·м;

$h_т$ – глубина заложения геометрического центра талика, м;

$d_т$ – 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

$$R_{эг} = \frac{\rho_{1t}}{2\pi l}\ln\frac{2l}{d}\sqrt{\frac{2t+\frac{l}{2}}{2t-\frac{l}{2}}}, \quad (21)$$

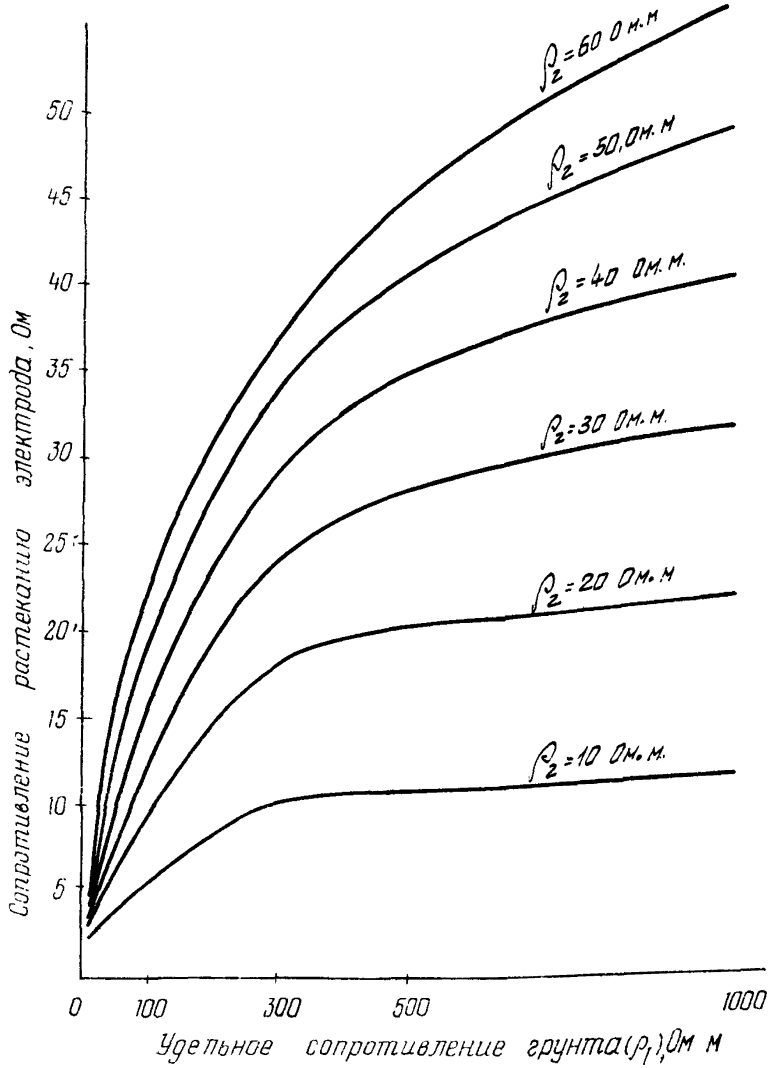


Рис.9. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 4 м

где $R_{эг}$ – сопротивление растеканию одиночного электрода без учета влияния остальных электродов, Ом;

$\rho_{ст}$ – 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.

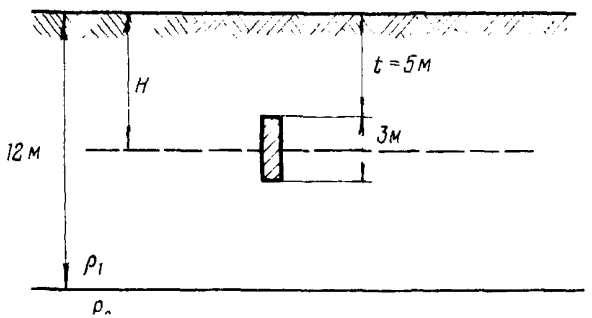


Рис.10. Расчетная схема для определения сопротивления растеканию одиночного вертикального электрода в двухслойной среде с учетом промерзания грунта

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

$$\rho_{ст} = 0{,}1 K_э \frac{t}{h_м} \rho_A \qquad \text{(для летнего периода);} \quad (22)$$

$$\rho_{ст} = 0{,}7 K_э \frac{t}{h_м} \rho_A \qquad \text{(для зимнего периода),} \quad (23)$$

где $h_м$ – мощность слоя вечномерзлого грунта, м;

ρ_A – удельное сопротивление слоя грунта, в котором установлен электрод глубинного анодного заземления, Ом·м;

$K_э$ – коэффициент экранирования слоя вечной мерзлоты;

$$K_э = \ln \frac{240 h_м}{2h_д - t + \sqrt{h_м |h_м - h_д|}}, \qquad (24)$$

$h_д$ – расстояние от центра электрода до подошвы слоя вечномерзлого грунта, м.

4.3.19. Сопротивление глубинного анодного заземления под слоем вечной мерзлоты с учетом сопротивления растеканию составляющих его электродов можно рассчитать по обычной методике для монослойного 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 монослойного грунта, определяемую по формуле

$$\rho_э = 1{,}6 \rho_{САt} K_{э1} y \left[\frac{1}{h_{СА}} - \frac{\rho_{САt}}{h_м (\rho_м + \rho_{САt})} \right], \qquad (25)$$

где $\rho_э$ – эквивалентное удельное сопротивление монослойного грунта, Ом·м;

$\rho_{САt}$ – удельное сопротивление слоя сезонноталого грунта, Ом·м;

y – расстояние между анодным заземлением и трубопроводом, м;

$h_{СА}$ – мощность слоя сезонноталого грунта, м;

$K_{э1}$ – коэффициент экранирования слоя вечной мерзлоты;

$$K_{э1} = \ln \frac{240 h_м}{2h_{СА} - y + \sqrt{h_м |h_м - h_{СА}|}}. \qquad (26)$$

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

а) при установке литых протекторов для работы в сезонно-талом 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 сезонно-талом слое грунта следует рассчитывать по обычной методике, используя в качестве расчетного параметра эквивалентное удельное сопротивление монослойного грунта [формула (25)] , учитывающее 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 I0/2-МлI6, обеспечивающие защитный ток не менее I00мА. Для обеспечения защитного тока в тех же пределах в грунтах с удельным сопротивлением 25–I00 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

$$R_{ср} = \frac{4\rho_{эt}}{\pi (D_п^2 - D_т^2)}, \qquad (27)$$

где $R_{ср}$ – средняя величина удельного сопротивления объема протаявшего грунта, Ом/м;

$D_п$ – 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
$R_{ср}$, 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–оттаявший грунт", который определяют по формуле

$$\alpha_э = \sqrt{\frac{r_т + R_{ср}}{R_{тэ}}}, \qquad (28)$$

где $\alpha_э$ – эквивалентный коэффициент затухания тока системы "трубопровод–оттаявший грунт", 1/м;

$R_{тэ}$ – эквивалентное переходное сопротивление трубопровода, Ом.м;

$$R_{тэ} = R_{из} + \frac{\rho_м}{\pi} \ln \frac{1{,}12}{\alpha_э \sqrt{D_п h_т}}, \qquad (29)$$

$h_т$ – глубина заложения трубопровода, м.

4.4.10. Диапазон изменения эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод–оттаявший 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
$\alpha_э$, 1/м		
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

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

где $R_п$ – сопротивление растеканию протектора, Ом;

ρ_a – удельное сопротивление активатора, Ом·м;

l_a – длина столба активатора, м;

d_a – диаметр столба активатора, м;

$d_п$ – 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.I6. Длину защитной зоны одной протекторной установки можно рассчитать по формуле

$$l_з = \frac{2}{\alpha_э} \ln \frac{U_{нп} - \frac{J_п \rho_{tt}}{\pi D_п}}{\frac{U_{mt}}{2} - \frac{J_п \rho_{zt}}{2\pi l_з}}, \qquad (3I)$$

где $l_з$ – длина защитной зоны одной протекторной установки, м;

$U_{нп}$ – наложенный потенциал протектора, В;

$J_п$ – ток протекторной установки, А.

4.4.I7. Эквивалентное переходное сопротивление трубопровода и длину защитной зоны одной протекторной установки следует определять, решая трансцендентные уравнения выражений (29) и (3I) графоаналитическим способом. Для этого, задавая несколько (не менее трех) значений $l_з$ или $\alpha_э$ в правой части выражений, определяют соответствующие им значения $l'_з$ и $\alpha'_э$ в левой части. После этого строят график изменения функций $l'_з = f(l_з)$ и $\alpha'_э = f(\alpha_э)$ в системе координат с равновеликими шкалами и проводят биссектрису из начала координат. Точка пересечения биссектрисы с графиком функции дает решение рассматриваемого уравнения.

4.4.I8. 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.I9. Рассчитывать защиту протяженными протекторами следует, исходя из обязательного срока их службы без замены не менее I0 лет.

4.4.20. Срок службы протяженного магниевого протектора рассчитывают по формуле

$$T_п = \frac{0{,}25\, G_м\, \eta_п\, \eta_и}{J_{ср}}, \qquad (32)$$

где $T_п$ – срок службы протектора, лет;

$G_м$ – удельный вес материала протектора, кг/м;

$\eta_п$ – коэффициент полезного действия протектора;

$\eta_п \approx 0{,}45 \div 0{,}55$;

$\eta_и$ – коэффициент использования протектора;

$\eta_и \approx 0{,}75 \div 0{,}85$;

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

$$j_{ср} = \frac{J_{пн} + J_{пк}}{2\,\ell_п}; \qquad (33)$$

$\ell_п$ – длина работающего участка протектора между точками подключения, м;

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

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

4.4.21. Величину тока протектора определяют по формуле

$$J_п = \frac{\Delta U_{пт}}{Z_т + Z_п}, \qquad (34)$$

где $\Delta U_{пт}$ – действующая разность потенциалов между протектором и трубопроводом, В;

$Z_п$ – входное сопротивление протектора, Ом.

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

$$U_{тн} = \frac{J_п R_т}{\ell_п}, \qquad (35)$$

где $U_{тн}$ – 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

$$Z_п = 0{,}5\sqrt{r_п R_{пп}}\,\mathrm{cth}\,\alpha_п \frac{\ell_п}{2}, \qquad (36)$$

где $\alpha_п$ – коэффициент затухания тока в протекторе, $1/м$;

$$\alpha_п = \sqrt{\frac{r_п}{R_{пп}}};$$

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

$r_п$ – продольное сопротивление протяженного протектора, Ом/м.

4.4.25. Переходное сопротивление протяженного протектора можно рассчитать по формулам:

$$R_{пп} \approx \frac{\rho_{2t}}{\pi} \ell_п \frac{a^2}{\sqrt{a_п h_п D_т h_т}} \qquad (для\ a \geq 6м); \qquad (37)$$

$$R_n = \frac{\rho_{zt}}{2\pi} \ln \frac{a^4 + (4a^2 - D_T^2)(h_T^2 - 0{,}25 a D_T)}{d_n h_n D_T h_T} \quad (\text{для } a \geq 0{,}5 \div 6\text{м}), \quad (38)$$

где a – 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:

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

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

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

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

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

$$R_{TM} = \frac{\pi D_T \rho_{zt}}{3{,}3\, \frac{2a - y_T}{2a + y_T} - 1}. \quad (42)$$

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.

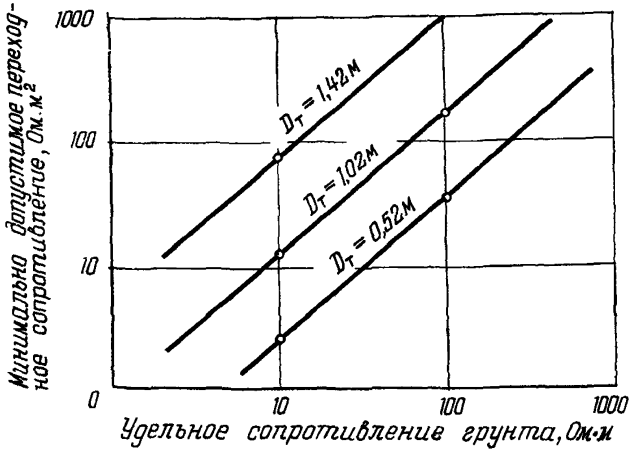


Рис.II. Номограмма для определения допустимых условий применения протяженных протекторов

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

$$a \geqslant 5D_т. \qquad (43)$$

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.I. 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

$$j_{зм} = 0{,}175 \left(\frac{1}{R_{тн}} + \frac{1}{R_{тк}} \right), \qquad (44)$$

где $j_{зм}$ – минимально допустимая плотность защитного тока, А/м^2;

$R_{тн}$ – переходное сопротивление трубопровода в начальный период работы, Ом·м^2;

$R_{тк}$ – переходное сопротивление трубопровода в конечный период работы, Ом·м^2.

5.3. Необходимую плотность тока протяженного протектора можно определить по формуле

$$j_п = \pi D_т j_{зм}, \qquad (45)$$

где $j_п$ – необходимая плотность тока протяженного протектора, А/м.

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

$$G_{пм} = \frac{40 j_п}{\eta_п \eta_м}, \qquad (46)$$

где $G_{пм}$ – минимально необходимый удельный вес материала протектора, кг/м.

5.5. Требуемую площадь сечения материала протяженного протектора определяют по формуле

$$S_м = \frac{10 G_{пм}}{\gamma_м}, \qquad (47)$$

где $S_м$ – площадь сечения материала протектора, см^2;

$\gamma_м$ – плотность материала протектора, г/см^3.

5.6. Минимально допустимый диаметр протяженного протектора можно определить по формуле

$$d_{пм} = \sqrt{1{,}27 S_м + 0{,}01 d_c^2}, \qquad (48)$$

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

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

$$d_c = \frac{2\ell_{пм}\sqrt{\rho_{ст}}}{\sqrt{R_{тм}}}, \qquad (49)$$

где $\ell_{пм}$ – 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

$$G_п = 0{,}08\left[d_c^2(\gamma_c - \gamma_м) + d_п^2\gamma_м\right], \qquad (50)$$

где $G_п$ – действительная масса протяженного протектора, кг/м;

γ_c – плотность стали сердечника протяженного протектора, г/см^3.

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 $\rho_э$ определяют по формуле

$$\rho_э = \frac{F_к}{\sum_{i=1}^{к} \frac{1}{\rho_i}\left(F_i - F_{i-1}\right)},$$

где

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

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

$$q = \sqrt{2r\left(r + B\right)};$$

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

$$r_0 = \sqrt{r^2 + B^2};$$

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

$$S = \frac{\pi B D N}{2};$$

$$B = t + l,$$

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

$$N = \frac{S_1}{S_э},$$

где

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

$$S_э = 2\pi r_1 \ell,$$

где I – ток катодной защиты, А;

j – плотность тока на поверхности электрода, А/м^2;

r_1 – радиус электрода, м.

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

Падение напряжения на анодном заземлении определяют по формуле

$$U_A = R_A I, \text{ В}.$$

Затраты мощности, кВт:

$$P = IU/100.$$

Температура электрода анодного заземления в рабочем режиме:

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

где λ – условная удельная теплопроводность грунта, Вт/м·К^0;

t_0 – начальная температура окружающего электрод грунта, ^{0}С.

Допустимую плотность тока на поверхности электрода анодного заземления определяют по рис.I2.

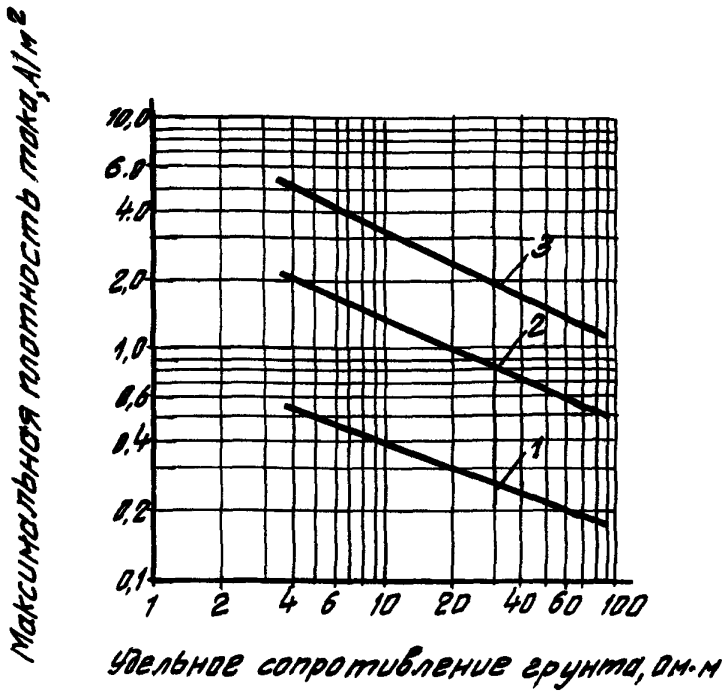


Рис.I2. Зависимость максимально допустимой плотности тока на поверхности электрода от влажности W :
I- W = 5%; 2- W = I5%; 3- W = 30%

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-I"

```
""9.1."ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"10"ВЫП"(SЭ=2×3.14159×R0×L;S1=I0/J;N=S1/SЭ;IЭ
=I0/N;B1=T+L;S=(3.14159×B1×(D×(N)))/2;ЭЭ=S/3.14159;Э4=√(ЭЭ-B1↑2);
Э6=√(ЭЭ);Э5=√(2×Э6×(Э6+B1↑2));HI1=H1;HI2=H1+H2;HI3=H1+H2+H3;HI4=H
1+H2+H3+H4;HI5=10000;ZI1=(Э5↑2+HI1↑2+Э4↑2);ZI2=(Э5↑2+HI2↑2+Э4↑2);
ZI3=(Э5↑2+HI3↑2+Э4↑2);ZI4=(Э5↑2+HI4↑2+Э4↑2);ZI5=(Э5↑2+HI5↑2+Э4↑2)
;YI=(4×Э5↑2×Э4↑2);VI1=√(.5×(ZI1-√(ZI1↑2-YI)));VI2=√(.5×(ZI2-√(ZI2
↑2-YI)));VI3=√(.5×(ZI3-√(ZI3↑2-YI)));VI4=√(.5×(ZI4-√(ZI4↑2-YI)));
VI5=√(.5×(ZI5-√(ZI5↑2-YI)));FI1=√(1-VI1/Э4);FI2=√(1-VI2/Э4);FI3=√
(1-VI3/Э4);FI4=√(1-VI4/Э4);FI5=√(1-VI5/Э4);"EC"FK=HI1"TO"(R31=R1)
;"EC"FK=HI2"TO"(R31=FI2/(FI1/R1+(FI2-FI1)/R2));"EC"FK=HI3"TO"(R31
=FI3/(FI1/R1+(FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3));"EC"FK=HI4"TO"(R31=FI4/(
FI1/R1+(FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4));"EC"FS=HI2"TO"(R3
2=(1-FI2)/((FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R5));
"EC"FS=HI3"TO"(R32=(1-FI3)/((FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R
5));"EC"FS=HI4"TO"(R32=(1-FI4)/((FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R5));"EC"F
S=HI5"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;Э=L/(1+.02×N)
;RZ=0;"ДЛ"M=1"Ш"1"ДО"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×ПГ);ФN=8760×PN×КЗ×ПЭ;"ВЫВ""TA"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/м^2;
SЭ	– площадь поверхности электрода, м^2;
R0	– радиус электрода, м;
L	– длина электрода, м;
N	– количество электродов, шт.;
IЭ	– ток электрода, А;
RЭ	– сопротивление анодного заземления, Ом;
UN	– падение напряжения на анодном заземлении, В;
PN	– затраты мощности на анодное заземление, кВт;
TN	– температура электрода анодного заземления, ^{0}С;
ФN	– стоимость электроэнергии при расчетных затратах мощности, р.

Приложение 3

ТАБЛИЦЫ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДОЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Условные обозначения:

$R1$ – удельное сопротивление стали, Ом·мм^2/м;
$D[1]$ – диаметр трубы, м;
R – продольное сопротивление трубы, Ом/м;
δ – толщина стенки, мм.

Пример.

R I = .3 = 0,3
D[I]= .I46 = 0,I46
R = .II368$_{IO}$-3 = 0,II368·IO^{-3}

R1=0,125

Таблица 5

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.219;	R=.33626$_{10}$-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[I]=.245;	R=.29967$_{10}$-4	R=.25793$_{10}$-4	R=.22665$_{10}$-4	R=.20231$_{10}$-4	R=.18286$_{10}$-4	R=.16695$_{10}$-4	R=.15369$_{10}$-4	R=.14248$_{10}$-4	R=.13288$_{10}$-4
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=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[I]=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[I]=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[I]=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

```
"ЗАМЕ"(R1=.15;"НА"1)"КОН"
```

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;	R=.5684$_{10}$-4	R=.4907$_{10}$-4	R=.4325$_{10}$-4	R=.3872$_{10}$-4	R=.3510$_{10}$-4	R=.3215$_{10}$-4	R=.2969$_{10}$-4	R=.2761$_{10}$-4	R=.2583$_{10}$-4
D[I]=.152;	R=.5450$_{10}$-4	R=.4704$_{10}$-4	R=.4144$_{10}$-4	R=.3710$_{10}$-4	R=.3362$_{10}$-4	R=.3078$_{10}$-4	R=.2842$_{10}$-4	R=.2642$_{10}$-4	R=.2471$_{10}$-
D[I]=.159;	R=.5201$_{10}$-4	R=.4487$_{10}$-4	R=.3952$_{10}$-4	R=.3536$_{10}$-4	R=.3204$_{10}$-4	R=.2932$_{10}$-4	R=.2706$_{10}$-4	R=.2515$_{10}$-4	R=.2352$_{10}$-
D[I]=.166;	R=.4912$_{10}$-4	R=.4236$_{10}$-4	R=.3730$_{10}$-4	R=.3336$_{10}$-4	R=.3022$_{10}$-4	R=.2764$_{10}$-4	R=.2550$_{10}$-4	R=.2369$_{10}$-4	R=.2214$_{10}$-4
D[I]=.18;	R=.4573$_{10}$-4	R=.3942$_{10}$-4	R=.3470$_{10}$-4	R=.3102$_{10}$-4	R=.2808$_{10}$-4	R=.2568$_{10}$-4	R=.2368$_{10}$-4	R=.2199$_{10}$-4	R=.2054$_{10}$-4
D[I]=.194;	R=.4232$_{10}$-4	R=.3647$_{10}$-4	R=.3208$_{10}$-4	R=.2867$_{10}$-4	R=.2595$_{10}$-4	R=.2372$_{10}$-4	R=.2186$_{10}$-4	R=.2029$_{10}$-4	R=.1894$_{10}$-4
D[I]=.219;	R=.3736$_{10}$-4	R=.3217$_{10}$-4	R=.2828$_{10}$-4	R=.2526$_{10}$-4	R=.2284$_{10}$-4	R=.2086$_{10}$-4	R=.1922$_{10}$-4	R=.1782$_{10}$-4	R=.1663$_{10}$-
D[I]=.245;	R=.3329$_{10}$-4	R=.2865$_{10}$-4	R=.2518$_{10}$-4	R=.2247$_{10}$-4	R=.2031$_{10}$-4	R=.1855$_{10}$-4	R=.1707$_{10}$-4	R=.1583$_{10}$-4	R=.1476$_{10}$-4
D[I]=.273;	R=.2980$_{10}$-4	R=.2564$_{10}$-4	R=.2252$_{10}$-4	R=.2009$_{10}$-4	R=.1815$_{10}$-4	R=.1656$_{10}$-4	R=.1524$_{10}$-4	R=.1412$_{10}$-4	R=.1316$_{10}$-
D[I]=.299;	R=.2716$_{10}$-4	R=.2336$_{10}$-4	R=.2051$_{10}$-4	R=.1829$_{10}$-4	R=.1652$_{10}$-4	R=.1507$_{10}$-4	R=.1386$_{10}$-4	R=.1284$_{10}$-4	R=.1196$_{10}$-4
D[I]=.325;	R=.2494$_{10}$-4	R=.2145$_{10}$-4	R=.1882$_{10}$-4	R=.1678$_{10}$-4	R=.1515$_{10}$-4	R=.1382$_{10}$-4	R=.1271$_{10}$-4	R=.1177$_{10}$-4	R=.1096$_{10}$-4
D[I]=.351;	R=.2306$_{10}$-4	R=.1983$_{10}$-4	R=.1740$_{10}$-4	R=.1551$_{10}$-4	R=.1400$_{10}$-4	R=.1276$_{10}$-4	R=.1173$_{10}$-4	R=.1086$_{10}$-4	R=.1012$_{10}$-4
D[I]=.377;	R=.2145$_{10}$-4	R=.1843$_{10}$-4	R=.1617$_{10}$-4	R=.1441$_{10}$-4	R=.1301$_{10}$-4	R=.1186$_{10}$-4	R=.1090$_{10}$-4	R=.1009$_{10}$-4	R=.9396$_{10}$-5
D[I]=.426;	R=.1894$_{10}$-4	R=.1627$_{10}$-4	R=.1427$_{10}$-4	R=.1272$_{10}$-4	R=.1147$_{10}$-4	R=.1046$_{10}$-4	R=.9611$_{10}$-5	R=.8893$_{10}$-5	R=.8279$_{10}$-5
D[I]=.477;	R=.1689$_{10}$-4	R=.1451$_{10}$-4	R=.1272$_{10}$-4	R=.1133$_{10}$-4	R=.1022$_{10}$-4	R=.9315$_{10}$-5	R=.8557$_{10}$-5	R=.7916$_{10}$-5	R=.7366$_{10}$-5
D[I]=.529;	R=.1521$_{10}$-4	R=.1306$_{10}$-4	R=.1145$_{10}$-4	R=.1020$_{10}$-4	R=.9200$_{10}$-5	R=.8380$_{10}$-5	R=.7696$_{10}$-5	R=.7118$_{10}$-5	R=.6622$_{10}$-5
D[I]=.62;	R=.1296$_{10}$-4	R=.1112$_{10}$-4	R=.9752$_{10}$-5	R=.8683$_{10}$-5	R=.7827$_{10}$-5	R=.7127$_{10}$-5	R=.6544$_{10}$-5	R=.6051$_{10}$-5	R=.5627$_{10}$-5
D[I]=.72;	R=.1114$_{10}$-4	R=.9566$_{10}$-5	R=.8383$_{10}$-5	R=.7461$_{10}$-5	R=.6725$_{10}$-5	R=.6122$_{10}$-5	R=.5620$_{10}$-5	R=.5195$_{10}$-5	R=.4890$_{10}$-5
D[I]=.82;	R=.9776$_{10}$-5	R=.8390$_{10}$-5	R=.7350$_{10}$-5	R=.6541$_{10}$-5	R=.5894$_{10}$-5	R=.5365$_{10}$-5	R=.4924$_{10}$-5	R=.4551$_{10}$-5	R=.4231$_{10}$-5
D[I]=.92;	R=.8707$_{10}$-5	R=.7471$_{10}$-5	R=.6544$_{10}$-5	R=.5823$_{10}$-5	R=.5247$_{10}$-5	R=.4775$_{10}$-5	R=.4382$_{10}$-5	R=.4049$_{10}$-5	R=.3764$_{10}$-5
D[I]=1.02;	R=.7848$_{10}$-5	R=.6733$_{10}$-5	R=.5897$_{10}$-5	R=.5247$_{10}$-5	R=.4727$_{10}$-5	R=.4302$_{10}$-5	R=.3947$_{10}$-5	R=.3647$_{10}$-5	R=.3390$_{10}$-5
D[I]=1.22;	R=.6555$_{10}$-5	R=.5623$_{10}$-5	R=.4924$_{10}$-5	R=.4380$_{10}$-5	R=.3946$_{10}$-5	R=.3590$_{10}$-5	R=.3293$_{10}$-5	R=.3043$_{10}$-5	R=.2828$_{10}$-5
D[I]=1.42;	R=.5628$_{10}$-5	R=.4827$_{10}$-5	R=.4227$_{10}$-5	R=.3759$_{10}$-5	R=.3386$_{10}$-5	R=.3080$_{10}$-5	R=.2825$_{10}$-5	R=.2610$_{10}$-5	R=.2425$_{10}$-5
D[I]=1.62;	R=.4930$_{10}$-5	R=.4228$_{10}$-5	R=.3702$_{10}$-5	R=.3293$_{10}$-5	R=.2965$_{10}$-5	R=.2697$_{10}$-5	R=.2474$_{10}$-5	R=.2285$_{10}$-5	R=.2123$_{10}$-5

Таолица 7

```
"ЗАМЕ"(R1=.175;"НА"1)"КОН"
```

δ =	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=.60683$_{10}$-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=.20301$_{10}$-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=.92338$_{10}$-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=.10"33$_{10}$-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=.65658$_{10}$-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=.56858$_{10}$-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=.32993$_{10}$-5
D[I]=1.42;	R=.65661$_{10}$-5	R=.56318$_{10}$-5	R=.49315$_{10}$-5	R=.4?866$_{10}$-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

"ЗАМЕ"(R1=.2;"НА"1)"КОН"

Таблица 8

δ=	1 6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;R=	.75792$_{10}$-4	.65432$_{10}$-4	.57666$_{10}$-4	.51632$_{10}$-4	.46812$_{10}$-4	.42871$_{10}$-4	.39592$_{10}$-4	.36822$_{10}$-4	.34451$_{10}$-4
D[I]=.152;R=	.72677$_{10}$-4	.62723$_{10}$-4	.55263$_{10}$-4	.49468$_{10}$-4	.44894$_{10}$-4	.41047$_{10}$-4	.37895$_{10}$-4	.35231$_{10}$-4	.32952$_{10}$-4
D[I]=.159;R=	.69352$_{10}$-4	.59835$_{10}$-4	.52703$_{10}$-4	.47159$_{10}$-4	.42727$_{10}$-4	.39106$_{10}$-4	.3609$_{10}$-4	.33543$_{10}$-4	.31362$_{10}$-4
D[I]=.168;R=	.65498$_{10}$-4	.5649$_{10}$-4	.49737$_{10}$-4	.44488$_{10}$-4	.40294$_{10}$-4	.36864$_{10}$-4	.34008$_{10}$-4	.31595$_{10}$-4	.29529$_{10}$-4
D[I]=.18;R=	.60981$_{10}$-4	.5257$_{10}$-4	.46267$_{10}$-4	.41366$_{10}$-4	.37449$_{10}$-4	.34246$_{10}$-4	.31579$_{10}$-4	.29325$_{10}$-4	.27393$_{10}$-4
D[I]=.194;R=	.56439$_{10}$-4	.48635$_{10}$-4	.42785$_{10}$-4	.38236$_{10}$-4	.346$_{10}$-4	.31627$_{10}$-4	.2915$_{10}$-4	.27056$_{10}$-4	.25263$_{10}$-4
D[I]=.219;R=	.49816$_{10}$-4	.429$_{10}$-4	.37715$_{10}$-4	.33685$_{10}$-4	.30461$_{10}$-4	.27825$_{10}$-4	.25629$_{10}$-4	.23773$_{10}$-4	.22182$_{10}$-4
D[I]=.245;R=	.44396$_{10}$-4	.38213$_{10}$-4	.33577$_{10}$-4	.29973$_{10}$-4	.27091$_{10}$-4	.24733$_{10}$-4	.22769$_{10}$-4	.21109$_{10}$-4	.19686$_{10}$-4
D[I]=.273;R=	.3974$_{10}$-4	.3419$_{10}$-4	.3003$_{10}$-4	.26794$_{10}$-4	.24206$_{10}$-4	.2209$_{10}$-4	.20327$_{10}$-4	.18835$_{10}$-4	.17557$_{10}$-4
D[I]=.299;R=	.36214$_{10}$-4	.31147$_{10}$-4	.27347$_{10}$-4	.24392$_{10}$-4	.22029$_{10}$-4	.20096$_{10}$-4	.18485$_{10}$-4	.17124$_{10}$-4	.15956$_{10}$-4
D[I]=.325;R=	.33263$_{10}$-4	.286$_{10}$-4	.25105$_{10}$-4	.22385$_{10}$-4	.2021$_{10}$-4	.18433$_{10}$-4	.1695$_{10}$-4	.15697$_{10}$-4	.14622$_{10}$-4
D[I]=.351;R=	.30755$_{10}$-4	.2644$_{10}$-4	.23201$_{10}$-4	.20685$_{10}$-4	.1867$_{10}$-4	.17022$_{10}$-4	.15651$_{10}$-4	.14489$_{10}$-4	.13495$_{10}$-4
D[I]=.377;R=	.28602$_{10}$-4	.24581$_{10}$-4	.21566$_{10}$-4	.19223$_{10}$-4	.17347$_{10}$-4	.15815$_{10}$-4	.14535$_{10}$-4	.13454$_{10}$-4	.12528$_{10}$-4
D[I]=.426;R=	.25264$_{10}$-4	.21705$_{10}$-4	.19038$_{10}$-4	.16963$_{10}$-4	.15304$_{10}$-4	.13947$_{10}$-4	.12815$_{10}$-4	.11858$_{10}$-4	.11038$_{10}$-4
D[I]=.477;R=	.22526$_{10}$-4	.19351$_{10}$-4	.16967$_{10}$-4	.15114$_{10}$-4	.13633$_{10}$-4	.1242$_{10}$-4	.1141$_{10}$-4	.10555$_{10}$-4	.98217$_{10}$-5
D[I]=.529;R=	.20288$_{10}$-4	.17424$_{10}$-4	.15275$_{10}$-4	.13604$_{10}$-4	.12266$_{10}$-4	.11173$_{10}$-4	.10262$_{10}$-4	.94908$_{10}$-5	.88304$_{10}$-5
D[I]=.62;R=	.17281$_{10}$-4	.14896$_{10}$-4	.13003$_{10}$-4	.11577$_{10}$-4	.10436$_{10}$-4	.95034$_{10}$-5	.87256$_{10}$-5	.8068$_{10}$-5	.75038$_{10}$-5
D[I]=.72;R=	.14861$_{10}$-4	.12755$_{10}$-4	.11177$_{10}$-4	.99492$_{10}$-5	.8967$_{10}$-5	.81632$_{10}$-5	.74934$_{10}$-5	.69268$_{10}$-5	.6441$_{10}$-5
D[I]=.82;R=	.13095$_{10}$-4	.11186$_{10}$-4	.98005$_{10}$-5	.87221$_{10}$-5	.78597$_{10}$-5	.7154$_{10}$-5	.65659$_{10}$-5	.60685$_{10}$-5	.56419$_{10}$-5
D[I]=.92;R=	.11609$_{10}$-4	.99816$_{10}$-5	.8726$_{10}$-5	.77648$_{10}$-5	.69961$_{10}$-5	.63671$_{10}$-5	.58428$_{10}$-5	.53995$_{10}$-5	.50193$_{10}$-5
D[I]=1.02;R=	.10464$_{10}$-4	.89782$_{10}$-5	.78637$_{10}$-5	.69969$_{10}$-5	.63033$_{10}$-5	.5736$_{10}$-5	.52631$_{10}$-5	.48632$_{10}$-5	.45202$_{10}$-5
D[I]=1.22;R=	.87404$_{10}$-5	.74979$_{10}$-5	.65659$_{10}$-5	.58412$_{10}$-5	.52614$_{10}$-5	.4787$_{10}$-5	.43917$_{10}$-5	.40573$_{10}$-5	.37706$_{10}$-5
D[I]=1.42;R=	.75041$_{10}$-5	.64964$_{10}$-5	.5696$_{10}$-5	.50132$_{10}$-5	.45151$_{10}$-5	.41076$_{10}$-5	.37679$_{10}$-5	.34806$_{10}$-5	.32342$_{10}$-5
D[I]=1.62;R=	.65741$_{10}$-5	.56984$_{10}$-5	.49968$_{10}$-5	.43908$_{10}$-5	.39542$_{10}$-5	.3597$_{10}$-5	.32992$_{10}$-5	.30474$_{10}$-5	.28314$_{10}$-5

Таблица 9

"ЗАМЕ"(R1=.225;"НА"1)"КОН"

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;	R=.85266$_{10}$-4	R=.73611$_{10}$-4	R=.64875$_{10}$-4	R=.58087$_{10}$-4	R=.52663$_{10}$-4	R=.4823$_{10}$-4	R=.44541$_{10}$-4	R=.41425$_{10}$-4	R=.38757$_{10}$-4
D[I]=.152;	R=.81761$_{10}$-4	R=.70563$_{10}$-4	R=.62171$_{10}$-4	R=.55651$_{10}$-4	R=.50498$_{10}$-4	R=.46178$_{10}$-4	R=.42632$_{10}$-4	R=.39635$_{10}$-4	R=.37071$_{10}$-4
D[I]=.159;	R=.78022$_{10}$-4	R=.67314$_{10}$-4	R=.59291$_{10}$-4	R=.53054$_{10}$-4	R=.48068$_{10}$-4	R=.43994$_{10}$-4	R=.40601$_{10}$-4	R=.37736$_{10}$-4	R=.35282$_{10}$-4
D[I]=.168;	R=.73685$_{10}$-4	R=.63552$_{10}$-4	R=.55954$_{10}$-4	R=.5005$_{10}$-4	R=.4533$_{10}$-4	R=.41472$_{10}$-4	R=.3826$_{10}$-4	R=.35545$_{10}$-4	R=.3322$_{10}$-4
D[I]=.18;	R=.68603$_{10}$-4	R=.59142$_{10}$-4	R=.5205$_{10}$-4	R=.46597$_{10}$-4	R=.4213$_{10}$-4	R=.38527$_{10}$-4	R=.35526$_{10}$-4	R=.3299$_{10}$-4	R=.30818$_{10}$-4
D[I]=.194;	R=.63494$_{10}$-4	R=.54715$_{10}$-4	R=.48133$_{10}$-4	R=.43016$_{10}$-4	R=.38925$_{10}$-4	R=.3558$_{10}$-4	R=.32794$_{10}$-4	R=.30438$_{10}$-4	R=.28421$_{10}$-4
D[I]=.219;	R=.56044$_{10}$-4	R=.48263$_{10}$-4	R=.4243$_{10}$-4	R=.37896$_{10}$-4	R=.34269$_{10}$-4	R=.31303$_{10}$-4	R=.28833$_{10}$-4	R=.26744$_{10}$-4	R=.24955$_{10}$-4
D[I]=.245;	R=.49945$_{10}$-4	R=.42989$_{10}$-4	R=.37775$_{10}$-4	R=.33719$_{10}$-4	R=.30477$_{10}$-4	R=.27825$_{10}$-4	R=.25616$_{10}$-4	R=.23747$_{10}$-4	R=.22147$_{10}$-4
D[I]=.273;	R=.44707$_{10}$-4	R=.38464$_{10}$-4	R=.33783$_{10}$-4	R=.30143$_{10}$-4	R=.27232$_{10}$-4	R=.24851$_{10}$-4	R=.22867$_{10}$-4	R=.2119$_{10}$-4	R=.19752$_{10}$-4
D[I]=.299;	R=.4074$_{10}$-4	R=.3504$_{10}$-4	R=.30765$_{10}$-4	R=.27441$_{10}$-4	R=.24782$_{10}$-4	R=.22608$_{10}$-4	R=.20796$_{10}$-4	R=.19265$_{10}$-4	R=.17951$_{10}$-4
D[I]=.325;	R=.37421$_{10}$-4	R=.32175$_{10}$-4	R=.28243$_{10}$-4	R=.25183$_{10}$-4	R=.22737$_{10}$-4	R=.20737$_{10}$-4	R=.19069$_{10}$-4	R=.17659$_{10}$-4	R=.16449$_{10}$-4
D[I]=.351;	R=.346$_{10}$-4	R=.29745$_{10}$-4	R=.26102$_{10}$-4	R=.2327$_{10}$-4	R=.21004$_{10}$-4	R=.1915$_{10}$-4	R=.17608$_{10}$-4	R=.163$_{10}$-4	R=.15182$_{10}$-4
D[I]=.377;	R=.32177$_{10}$-4	R=.27654$_{10}$-4	R=.24262$_{10}$-4	R=.21626$_{10}$-4	R=.19516$_{10}$-4	R=.17792$_{10}$-4	R=.16352$_{10}$-4	R=.15136$_{10}$-4	R=.14094$_{10}$-4
D[I]=.426;	R=.28422$_{10}$-4	R=.24419$_{10}$-4	R=.21418$_{10}$-4	R=.19083$_{10}$-4	R=.17217$_{10}$-4	R=.1569$_{10}$-4	R=.14417$_{10}$-4	R=.1334$_{10}$-4	R=.12418$_{10}$-4
D[I]=.477;	R=.25944$_{10}$-4	R=.2177$_{10}$-4	R=.19088$_{10}$-4	R=.1700$_{10}$-4	R=.15337$_{10}$-4	R=.13973$_{10}$-4	R=.12836$_{10}$-4	R=.11874$_{10}$-4	R=.11049$_{10}$-4
D[I]=.529;	R=.22824$_{10}$-4	R=.19602$_{10}$-4	R=.17184$_{10}$-4	R=.15305$_{10}$-4	R=.138$_{10}$-4	R=.1257$_{10}$-4	R=.11544$_{10}$-4	R=.10677$_{10}$-4	R=.99342$_{10}$-5
D[I]=.62;	R=.19441$_{10}$-4	R=.16691$_{10}$-4	R=.14629$_{10}$-4	R=.13024$_{10}$-4	R=.11741$_{10}$-4	R=.10691$_{10}$-4	R=.98163$_{10}$-5	R=.90766$_{10}$-5	R=.84418$_{10}$-5
D[I]=.72;	R=.16718$_{10}$-4	R=.14349$_{10}$-4	R=.12574$_{10}$-4	R=.11192$_{10}$-4	R=.10087$_{10}$-4	R=.91836$_{10}$-5	R=.84301$_{10}$-5	R=.77927$_{10}$-5	R=.72461$_{10}$-5
D[I]=.82;	R=.14664$_{10}$-4	R=.12585$_{10}$-4	R=.11025$_{10}$-4	R=.98124$_{10}$-5	R=.88422$_{10}$-5	R=.80483$_{10}$-5	R=.73667$_{10}$-5	R=.6827$_{10}$-5	R=.63471$_{10}$-5
D[I]=.92;	R=.1306$_{10}$-4	R=.11206$_{10}$-4	R=.98167$_{10}$-5	R=.87354$_{10}$-5	R=.78707$_{10}$-5	R=.7163$_{10}$-5	R=.65731$_{10}$-5	R=.60745$_{10}$-5	R=.56467$_{10}$-5
D[I]=1.02;	R=.11772$_{10}$-4	R=.101$_{10}$-4	R=.88467$_{10}$-5	R=.78715$_{10}$-5	R=.70913$_{10}$-5	R=.6453$_{10}$-5	R=.5921$_{10}$-5	R=.54711$_{10}$-5	R=.50853$_{10}$-5
D[I]=1.22;	R=.9833$_{10}$-5	R=.84351$_{10}$-5	R=.73867$_{10}$-5	R=.65714$_{10}$-5	R=.59191$_{10}$-5	R=.53854$_{10}$-5	R=.49407$_{10}$-5	R=.45645$_{10}$-5	R=.4242$_{10}$-5
D[I]=1.42;	R=.84421$_{10}$-5	R=.7241$_{10}$-5	R=.63405$_{10}$-5	R=.56399$_{10}$-5	R=.50795$_{10}$-5	R=.4621$_{10}$-5	R=.42389$_{10}$-5	R=.39156$_{10}$-5	R=.36385$_{10}$-5
D[I]=1.62;	R=.73959$_{10}$-5	R=.63492$_{10}$-5	R=.55539$_{10}$-5	R=.49397$_{10}$-5	R=.44485$_{10}$-5	R=.40466$_{10}$-5	R=.37117$_{10}$-5	R=.34283$_{10}$-5	R=.31854$_{10}$-5

"ЗАМЕ"(R1=.25;"НА"1)"КОН"

Таблица IO

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;	R=.9474$_{10}$-4	R=.8179$_{10}$-4	R=.72083$_{10}$-4	R=.64541$_{10}$-4	R=.58515$_{10}$-4	R=.53589$_{10}$-4	R=.4949$_{10}$-4	R=.46027$_{10}$-4	R=.43064$_{10}$-4
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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=.16869$_{10}$-4
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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=.11869$_{10}$-4	R=.11038$_{10}$-4
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=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[I]=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[I]=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
D[I]=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

"ЗАМЕ"(Ri=.275;"НА"1)"КОН"

Таблица II

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.166;	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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.72;	R=.20433_{10}-4	R=.17538_{10}-4	R=.15369_{10}-4	R=.1368_{10}-4	R=.12329_{10}-4	R=.1122_{10}-4	R=.10303_{10}-4	R=.95244_{10}-5	R=.88563_{10}-5
D[I]=.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[I]=.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[I]=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=.66869_{10}-5	R=.62153_{10}-5
D[I]=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=.60386_{10}-5	R=.55788_{10}-5	R=.51846_{10}-5
D[I]=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[I]=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

"ЗАМЕ"(R1=.3;"НА"1)"КОН"

Таблица I2

δ =	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=.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[I]=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[I]=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[I]=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[I]=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

I. 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.16, вып.8, ДАН СССР, 1937.

7. Кореннов Б. И. Электрические свойства мерзлых горных пород. СО АН СССР. Институт мерзлотоведения. Якутск, 1967.

8. Ананян 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.

11. Притула В. В. Защита от коррозии подземных трубопроводов Канады и Аляски. М., ВНИИОЭНГ, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Назначение и область применения	3
2. Общие положения	4
3. Выбор средств защиты	I0
4. Расчет электрохимической защиты	I2
5. Выбор протяженных протекторов	33
Приложения	37
Литература	52

Инструкция по расчету параметров электрохимической защиты подземных трубопроводов в северных районах

ВСН 2-7I-76
Миннефтегазстрой

Издание ВНИИСТа

Редактор Г.К.Храпова Корректор А.А.Хоромева
Технический редактор Т.В.Берешева

Подписано в печать 3/УП-1976г. Формат 60х84/I6
Печ.л.3,25 Уч.-изд.л. 2,7 Усл.печ.л.3,0
Тираж 300 экз. Заказ III

Ротапринт ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru