

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

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.Притудой под руководством канд.техн.наук [В.И.Глазкова]. В составлении Инструкции принимали участие Р.В.Кулинова, М.Л.Долганов, Н.И.Агеева, Е.Г.Болков, 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 использова-
ния при проектировании и строительстве электрохимической за-
щиты 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 рай-
онах распространения вечной мерзлоты и при промерзании грунта
на глубине укладки следует применять на всех участках трубо-
проводов при подземной прокладке и наземной прокладке с засып-
кой грунтом.

I.3. Особенности физико-химических свойств мерзлых грун-
тов и структурное влияние слоя вечной мерзлоты требуют специ-
альных 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 про-
тяженности зон защиты;
- г) расчет сопротивления растеканию заземляющих электродов
с учетом литологической структуры грунта.

Внесена ВНИИСТОМ	Утверждена Миннефтегазстроем 30 июля 1976 г.;	Срок введения ! I января 1977 г.
	Мингазпромом 29 апреля 1976 г., Миннефтепромом 9 февраля 1976 г.	Срок действия до I января 1981г.

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 засышкой) 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 (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) Большеземельская тундра - наличие хорошо промерзающего кочковатого тундрового слоя при большой роли микро-рельефа 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.

2.10. Полные характеристики коррозионных условий основных районов распространения вечномерзлых грунтов изложены в "Классификация 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.

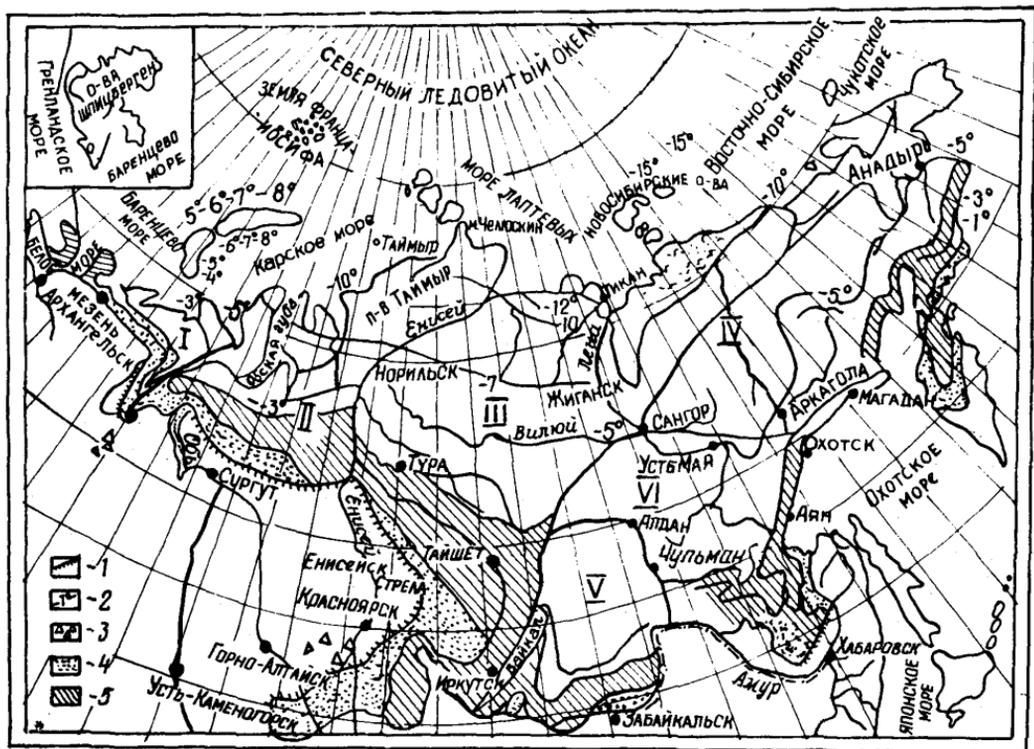


Рис. I. Схема районов вечной мерзлоты с изолиниями температуры грунтов
у границы зоны нулевых годовых амплитуд:

1—линия граница области распространения вечномерзлых грунтов; 2—изотерма 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:

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

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

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

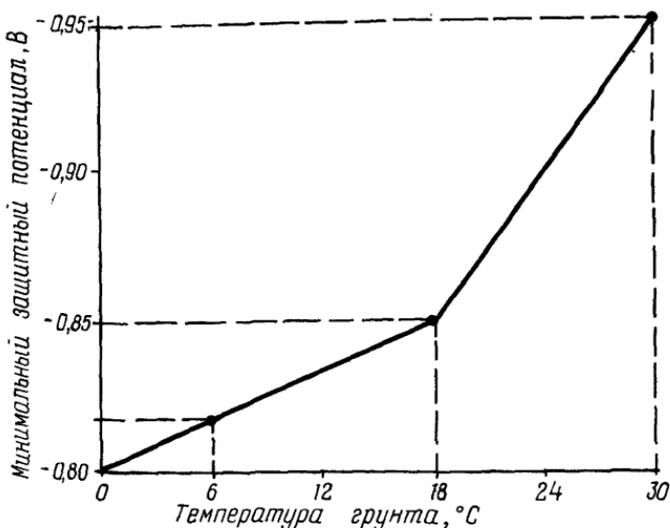


Рис.2. Зависимость минимального защитного потенциала трубопровода от реальной температуры окружающего грунта

t_2 - текущая температура грунта, °C;
 β_{u_1} - температурный коэффициент потенциала, I/°C; $\beta_{u_1} = 0,003$ (при медносульфатном электроде сравнения)

$U_{M_t} = U_{M_{18}} \left(1 + \beta_{u_1} (t - 18) \right)$ для диапазона температур грунта 18-30°C, (2)

где β_{u_2} - температурный коэффициент потенциала, I/°C; $\beta_{u_2} = 0,01$ (при медносульфатном электроде сравнения).

2.13. При пересчете по отношению к медносульфатному электроду сравнения величины 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, В/°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 за-сыпкой) 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 изготавливать из стандартных электродов или отрезков труб, размещенных горизонтально в сезонном слое небольшой мощности (до 3 м).

3.10. Свайные заземления изготовляют из отрезков труб длиной не менее 10 м. Их можно применять при мощности сезонного 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 наземного 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 наземным участкам, должны иметь запас мощности не менее 40% от расчетной величины.

3.17. Короткие наземные участки должны быть учтены в общей системе защиты от почвенной коррозии как подземные. При наземной 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:

- продольное электрическое сопротивление $r_T, \text{ Ом/м}$ (прим.3);
- переходное сопротивление $R_T, \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- входное сопротивление $Z_T, \text{ Ом}$;
- постоянная затухания тока $\alpha_T, 1/\text{м}$;
- естественная разность потенциалов " сооружение-земля " $U_e, \text{ В}$.

4.1.2. Продольное электрическое сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$r_T = \frac{\rho_{T,C} [1 - \beta_p (20 - t)]}{\pi (D_T - \delta^2) \delta^2}, \quad (3)$$

где $\rho_{T,C}$ - удельное сопротивление трубной стали

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

β_p - температурный коэффициент сопротивления стали, 0,006 1/°C;

t - температура транспортируемого продукта, °C;

D_T - диаметр трубопровода, мм;

δ^2 - толщина стенки трубопровода, мм.

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

$$R_T = R_{uz} + \frac{\rho_{et}}{\pi} \sum_{R_i}^{R_{\infty}} K_i (\alpha_T, R_i), \quad (4)$$

где $R_{из}$ - сопротивление изоляции, Ом·м;
 ρ_{2t} - 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.

4.1.4. В первом приближении функция Бесселя $K_0(V)$ может быть заменена:

$$K_0(V) = \rho_n \frac{1,12}{\sqrt{V}} \quad (\text{для } V \leq 0,5)$$

или

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

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

$$R_r = R_{из} + \frac{\rho_{2t}}{\pi} \left[\sum_1^A \rho_n \frac{35,5}{\alpha_r \sqrt{D_r \rho_n H}} + \sum_A^{\infty} \sqrt{\frac{31,6\pi}{2\alpha_r \sqrt{D_r \rho_n H}}} e^{-0,03\alpha_r \sqrt{D_r \rho_n H}} \right], \quad (5)$$

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

4.1.6. 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 определять по формуле

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

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

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

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).

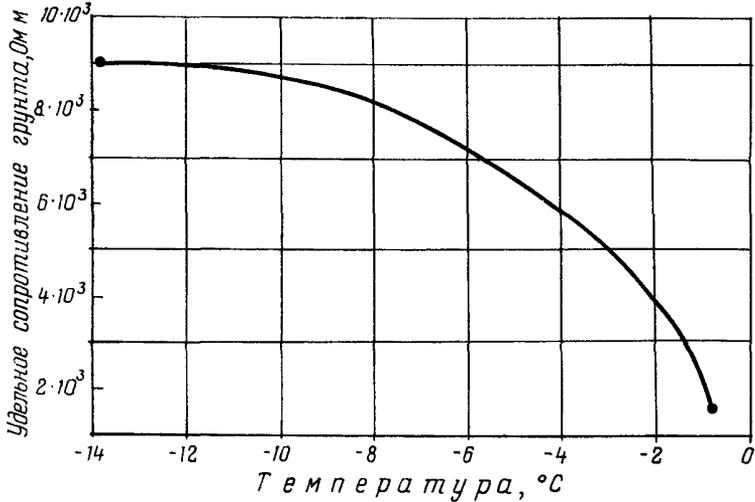


Рис.3. Зависимость сопротивления грунта (мерзлой супеси) от температуры (по данным А.Т.Акимова)

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

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

- где $\bar{\rho}_{2t}$ — 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.

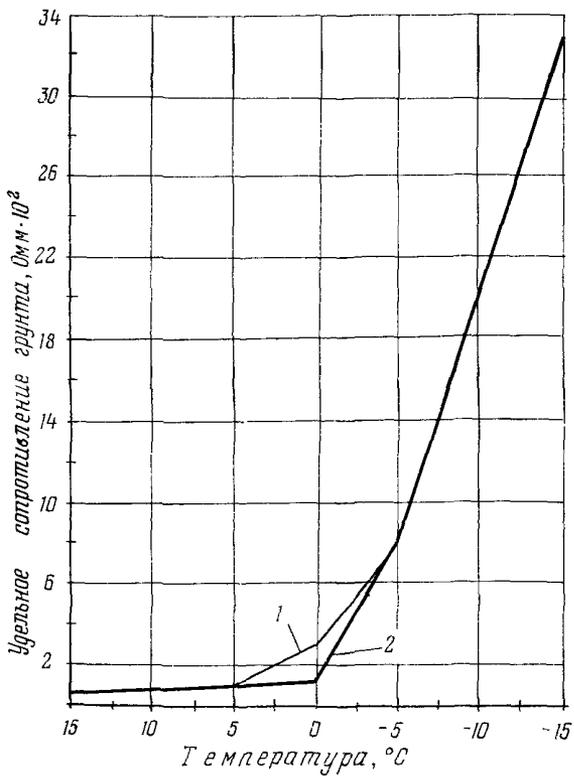


Рис.4. Зависимость сопротивления грунта (тощей глины, содержащей 15,2% влаги) от температуры:
 1-лед; 2-вода

4.1.10. Постоянную затухания тока вдоль сооружения определяют по формуле

$$\alpha_r = \sqrt{\frac{z_r}{R_r}} . \quad (9)$$

4.1.11. Входное сопротивление трубопровода определяют по формуле

$$Z_r = \frac{1}{2} \sqrt{z_r R_r} . \quad (10)$$

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

$$Z_r = \frac{Z_m Z_n}{Z_m + Z_n} . \quad (11)$$

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 определить по графикам (рис.5 и 6 , по данным ВНИИгаза).

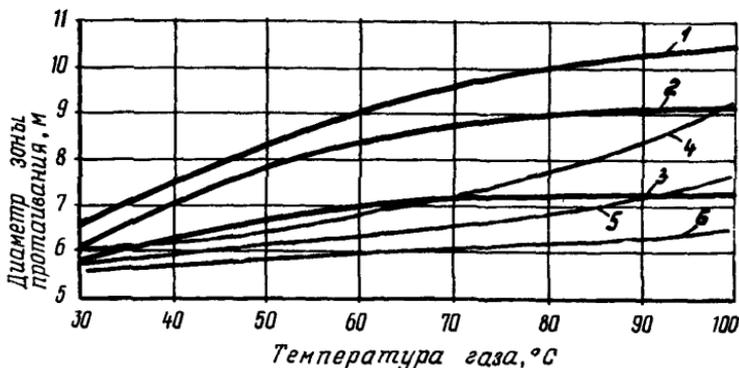


Рис.5. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе на первый год эксплуатации:

- | | | |
|--|---|--------|
| 1-мерзлый грунт, диаметр трубы 1020-1420 мм; | } | на |
| 2-талый грунт, диаметр трубы 1420 мм; | | январь |
| 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 | | |

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

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

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.

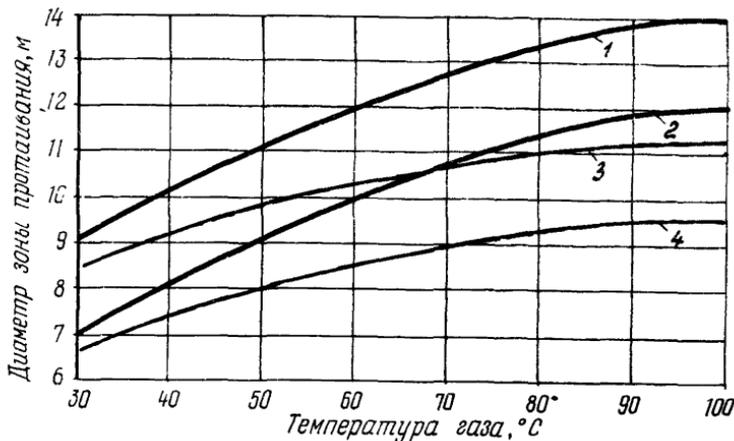


Рис. 6. Диаметр зоны протаивания в зависимости от температуры газа в трубе через три года эксплуатации:

1–мерзлый грунт, диаметр трубы 1420 мм; 2–мерзлый грунт, диаметр трубы 1020 мм; 3–талый грунт, диаметр трубы 1420 мм; 4–талый 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

$$U_r = U_p + U_o e^{-\alpha_r x}, \quad (13)$$

где U_r – 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

$$U_r = U_p + 0,2 \mathcal{J} \rho_{2t} \alpha_r e^{-\alpha_r x}, \quad (14)$$

где \mathcal{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

$$\mathcal{J} = \frac{2,4 e^{\alpha_r L} (U_{Me} - U_p)}{\alpha_r R_r}. \quad (15)$$

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

$$j_g = \frac{U_{T_{\max}} - U_e}{0,2 \rho_{2t} \alpha_T}, \quad (16)$$

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

$$L_3 = \frac{e r_T + e r_n \frac{\alpha_T R_T}{24(U_{M_n} - U_e)}}{10^3 \alpha_T}, \quad (17)$$

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 $U_{M_n} - U_e$ 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.

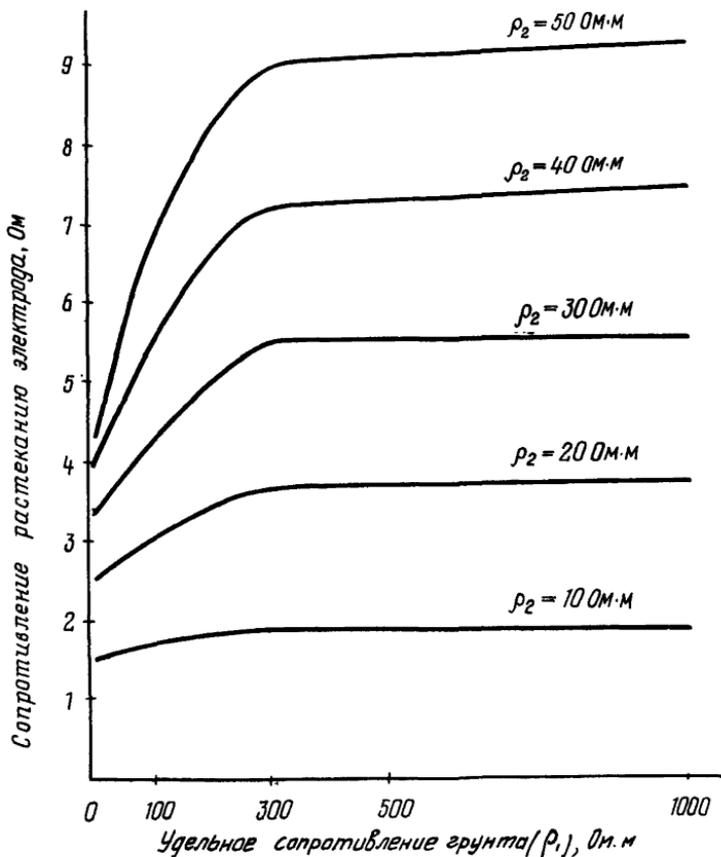


Рис.7. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания H , равной 2 м:

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

4.3.13. 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-1" по прилагаемой программе (прил.1,2).

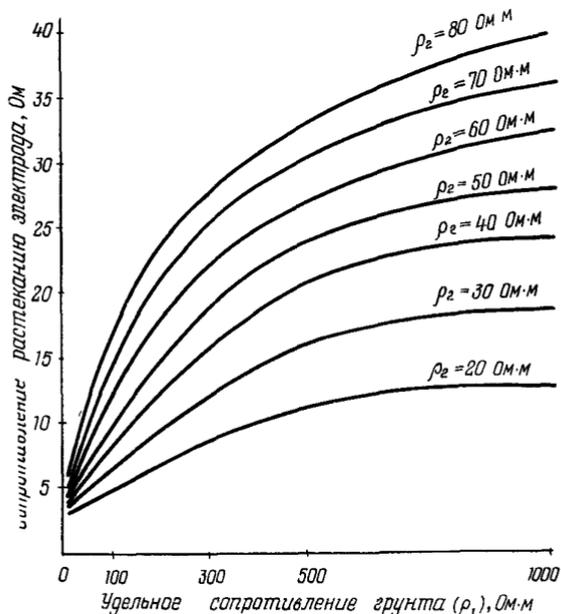


Рис.8. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 3 м

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

$$R_c = 0,16 \rho_{\text{ж}} K \frac{\ln \frac{4H_M}{d_c} \ln \frac{2(l_c - H_M)}{d_c} \sqrt{\frac{3l_c + H_M}{l_c + 3H_M}}}{(l_c - H_M) \ln \frac{4H_M + KH_M}{d_c} \ln \frac{2(l_c - H_M)}{d_c} \sqrt{\frac{3l_c + H_M}{l_c + 3H_M}}}, \quad (18)$$

- где R_c — сопротивление сваи без активатора, Ом;
 $\rho_{\text{жт}}$ — удельное сопротивление талого грунта при реальной температуре эксплуатации заземления, Ом·м;
 H_M — мощность слоя сезонного талого грунта, м;
 l_c — длина сваи, м;
 d_c — диаметр сваи, м;
 K — коэффициент преломления,
 $K = \frac{\rho_{\text{жт}}}{\rho_{\text{лт}}}$,
 $\rho_{\text{лт}}$ — 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

$$R_c = 0,16 \rho_{\text{ж}} K \frac{\left(\frac{10}{K \rho_{\text{жт}}} + \ln \frac{1,3l_c - H_M}{10d_c} \sqrt{\frac{3,3l_c + H_M}{0,7l_c + 3H_M}} \right) \ln \frac{4H_M}{d_c}}{(1,3l_c - 2H_M) \ln \frac{4H_M + KH_M}{d_c} \ln \frac{1,3l_c - H_M}{10d_c} \sqrt{\frac{3,3l_c + H_M}{0,7l_c + 3H_M}} + \frac{10H_M}{\rho_{\text{л}}}}. \quad (19)$$

4.3.16. Сопротивление мерзлого заземления можно определить по формуле

$$R_M = \frac{\rho_M}{\pi} \left(\frac{1}{8h_T} + \frac{1}{2d_T} \right) + R_{\text{ЛТ}}, \quad (20)$$

- где ρ_M — удельное сопротивление вечномерзлого грунта, Ом·м;
 h_T — глубина заложения геометрического центра талыка, м;
 d_T — диаметр талыка, м;
 $R_{\text{ЛТ}}$ — сопротивление растеканию токовода в талык без учета влияния вечномерзлого грунта, Ом.

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

$$R_{\text{гг}} = \frac{\rho_{\text{жт}}}{2\pi l} \ln \frac{2l}{a} \sqrt{\frac{2t + \frac{l}{2}}{2t - \frac{l}{2}}}, \quad (21)$$

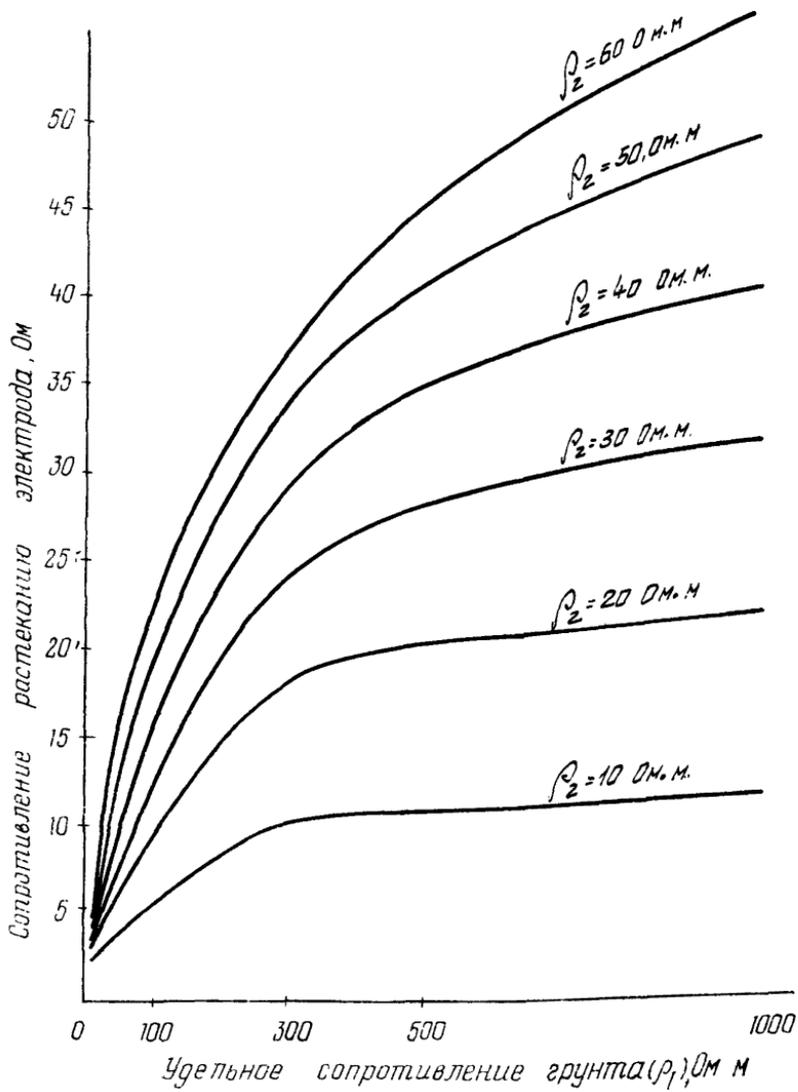


Рис.9. Зависимость сопротивления растеканию электрода от удельного сопротивления грунта при глубине промерзания 4 м

- где $R_{эr}$ - 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.

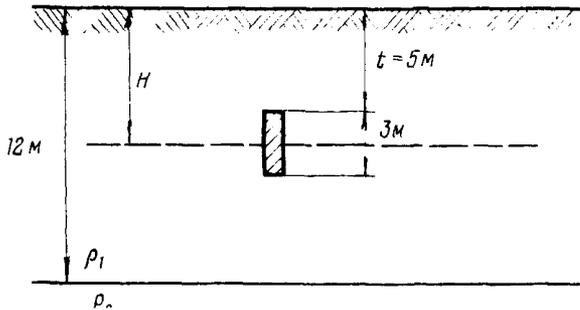


Рис.10. Расчетная схема для определения сопротивления растеканию одиночного вертикального электрода в двухслойной среде с учетом промерзания грунта

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;

$$K_{\partial} = \rho_{\partial} \frac{240h_M}{2h_A - t + \sqrt{h_M/h_M - h_A}}, \quad (24)$$

h_A – 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

$$\rho_{\partial} = 1,6 \rho_{\text{сст}} K_{\partial 1} y \left[\frac{1}{h_{\text{сст}}} - \frac{\rho_{\text{сст}}}{h_M(\rho_M + \rho_{\text{сст}})} \right], \quad (25)$$

где ρ_{∂} – эквивалентное удельное сопротивление монослойного грунта, Ом·м;
 $\rho_{\text{сст}}$ – удельное сопротивление слоя сезонного грунта, Ом·м;
 y – расстояние между анодным заземлением и трубопроводом, м;
 $h_{\text{сст}}$ – мощность слоя сезонного грунта, м;
 $K_{\partial 1}$ – коэффициент экранирования слоя вечной мерзлоты;

$$K_{\partial 1} = \rho_{\partial} \frac{240h_M}{2h_{\text{сст}} - y + \sqrt{h_M/h_M - h_{\text{сст}}}}. \quad (26)$$

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)], 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 10/2-Мл16, обеспечивающие защитный ток не менее 100мА. 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 протавивания определяются средней величиной удельного сопротивления объема протавявшего грунта, которую следует рассчитывать по формуле

$$R_{cp} = \frac{4\rho_{zt}}{\pi(D_n^2 - D_r^2)}, \quad (27)$$

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

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

Таблица 2
 Средняя величина удельного сопротивления объема протавявшего грунта

Диаметр трубопровода, мм		
800-1000	1000-1500	1500-2500
$R_{cp}, \text{ Ом/м}$		
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

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

где α_3 - эквивалентный коэффициент затухания тока системы "трубопровод-оттаявший грунт", 1/м;
 R_{T3} - эквивалентное сопротивление трубопровода, Ом.м;

$$R_{T3} = R_{uz} + \frac{\rho_M}{\pi} \ln \frac{1,12}{\alpha_3 \sqrt{D_n h_T}}, \quad (29)$$

h_T - глубина заложения трубопровода, м.

4.4.10. Диапазон изменения эквивалентного коэффициента затухания тока системы "трубопровод-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
$\alpha_2, \text{I/м}$		
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

$$R_n = \frac{\rho_{2t}}{2\pi \ell_a} \left(\ell_n \frac{2\ell_a}{d_a} + \frac{\rho_a}{\rho_{2t}} \ell_n \frac{d_a}{d_n} \right), \quad (30)$$

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

$$l_3 = \frac{2}{\alpha_3} l_n \frac{U_{нп} - \frac{I_n \rho_{ст}}{\pi D_n}}{\frac{U_{нт}}{2} - \frac{I_n \rho_{ст}}{2 \pi l_3}}, \quad (31)$$

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

$U_{нп}$ - 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

$$T_n = \frac{0,25 G_m \eta_n \eta_m}{j_{ср}}, \quad (32)$$

где T_n - срок службы протектора, лет;

G_m - удельный вес материала протектора, кг/м;

η_n - коэффициент полезного действия протектора;

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

η_m - коэффициент использования протектора;

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

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

$$j_{cp} = \frac{I_{пн} + I_{пк}}{2 \ell_n}; \quad (33)$$

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

$I_{пн}$ - ток протектора в начальный период защиты, А;

$I_{пк}$ - ток протектора в конечный период защиты, А.

4.4.21. Величину тока протектора определяют по формуле

$$I_n = \frac{\Delta U_{пт}}{Z_T + Z_n}, \quad (34)$$

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

Z_n - входное сопротивление протектора, Ом.

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

$$U_{тн} = \frac{I_n R_T}{\ell_n}, \quad (35)$$

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

$$Z_n = 0,5 \sqrt{r_n R_{пн}} \operatorname{cth} \alpha_n \frac{\ell_n}{2}, \quad (36)$$

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

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{r_n}{R_{пн}}};$$

$R_{пн}$ - переходное сопротивление протяженного протектора, Ом·м;

r_n - продольное сопротивление протяженного протектора, Ом/м.

4.4.25. Переходное сопротивление протяженного протектора можно рассчитать по формулам:

$$R_{пн} = \frac{\rho_{ст}}{\pi} \ell_n \frac{\alpha^2}{\sqrt{\alpha_n k_n a_T k_T}} \quad (\text{для } \alpha \geq 6 \text{ м}); \quad (37)$$

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

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:

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

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

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

$$l_n = \frac{0,56 d_n \sqrt{R_{TM}}}{\sqrt{\rho_{ct}}}, (41)$$

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

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

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.

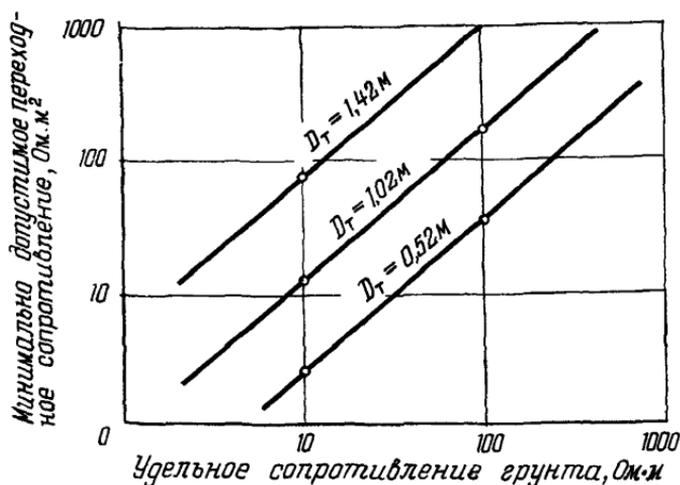


Рис. II. Номограмма для определения допустимых условий применения протяженных протекторов

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

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

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. Основным 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, $Om \cdot m^2$;

R_{TK} – переходное сопротивление трубопровода в конечный период работы, $Om \cdot m^2$.

5.3. Необходимую плотность тока протяженного протектора можно определить по формуле

$$j_n = K_{DT} j_{3M}, \quad (45)$$

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

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

$$G_{PM} = \frac{40 j_n}{\zeta_n \zeta_M}, \quad (46)$$

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

$$d_{PM} = \sqrt{127 S_M + 0,01 d_c^2}, \quad (48)$$

где d_{PM} – минимально допустимый диаметр протектора, cm .

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

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

где $l_{пм}$ - 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

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЯ

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_3 определяют по формуле

$$\rho_3 = \frac{F_k}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\rho_i} (F_i - F_{i-1})},$$

где

$$F_i = \sqrt{1 - \left(\frac{U_i}{U_0}\right)^2};$$

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

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

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

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

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

$$S = \frac{\pi \delta DN}{2};$$

$$\delta = t + l,$$

- 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

$$N = \frac{S_1}{S_2},$$

где

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

$$S_2 = 2\pi r_1 l,$$

- где I - ток катодной защиты, А;
 j - плотность тока на поверхности электрода, А/м²;
 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:

$$P = I U / 100.$$

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 электрода анодного заземления определяют по рис.12.

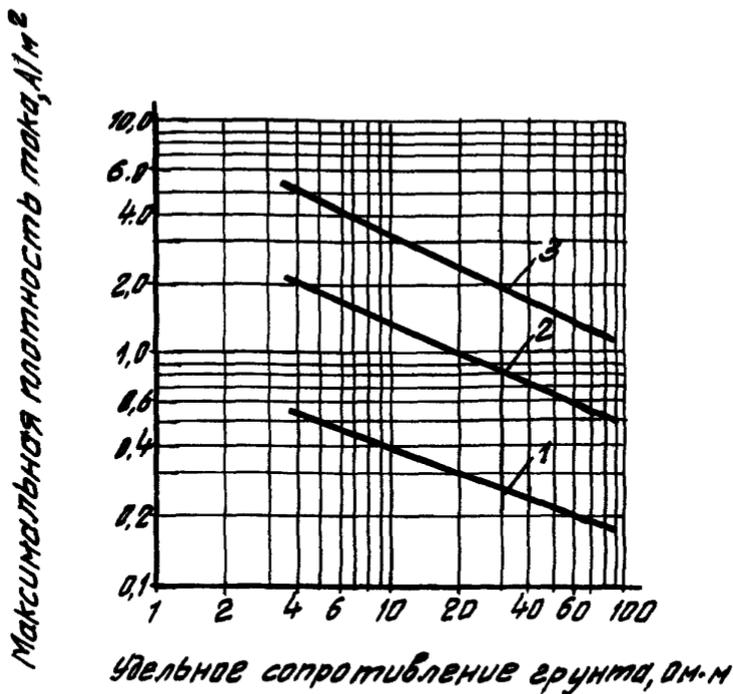


Рис.12. Зависимость максимально допустимой плотности тока на поверхности электрода от влажности W :

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

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

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

**9.1."Д"J=1."ш"1."до"10."вып"(SЭ=2*3.14159*RO*L;S1=I0/J;N=S1/83;IЭ=I0/N;B1=T*L;S=(3.14159*B1*(D*(N)))/2;33=S/3.14159;34=v(33-B1+2);36=v(33);35=v(2*36*(36+B1+2));H11=H1;H12=H1+H2;H13=H1+H2+H3;H14=H1+H2+H3+H4;H15=10000;Z11=(35+2*H11+2*34+2);Z12=(35+2*H12+2*34+2);Z13=(35+2*H13+2*34+2);Z14=(35+2*H14+2*34+2);Z15=(35+2*H15+2*34+2);Y1=(4*35+2*34+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)));F11=v(1-V11/34);F12=v(1-V12/34);F13=v(1-V13/34);F14=v(1-V14/34);F15=v(1-V15/34);"EC"FK=H11"TO"(R31=R1);"EC"FK=H12"TO"(R31=FI2/(F11/R1+(FI2-FI1)/R2));"EC"FK=H13"TO"(R31=FI3/(F11/R1+(FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3));"EC"FK=H14"TO"(R31=FI4/(F11/R1+(FI2-FI1)/R2+(FI3-FI2)/R3+(FI4-FI3)/R4));"EC"FS=H12"TO"(R32=(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)/R5));"EC"FS=H14"TO"(R32=(1-FI4)/((FI4-FI3)/R4+(FI5-FI4)/R5));"EC"FS=H15"TO"(R32=R5);A=(.75*L*T)/FK;B=(.25*L*T)/FK;C=L/FK/4;K=(R32-R31)/(R31+R32);RY=LN(L+2*A/RO+2/B);RX=R31/12.56636/L;3=L/(1+.02*N);RZ=0;"ал"м=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*IO;P N=IO*UN/1000;TN=UN+2/(2*R31*ЛГ);ФN=8760*PN*K3*П3;"выв"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 ;
SЭ - площадь поверхности электрода, м² ;
RO - 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, °С ;
ФN - стжимость электроэнергети при расчетных затратах мощности, р.

ТАБЛИЦЫ ЗАВИСИМОСТИ ПРОДОЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
 ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Условные обозначения:

R_1 - удельное сопротивление стали, Ом·мм²/м;

$D[I]$ - диаметр трубы, м;

R - продольное сопротивление трубы, Ом/м;

δ - толщина стенки, мм.

Пример.

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

$$D[I] = .146 = 0,146$$

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

† R1=0,125

Таблица 5

$\delta =$	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=.33394 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=.20294 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=.137 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=.14889 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=.2669 ₁₀ ⁻⁵	R=.2428 ₁₀ ⁻⁵	R=.2227 ₁₀ ⁻⁵	R=.2057 ₁₀ ⁻⁵	R=.19112 ₁₀ ⁻⁵	

"ЗAME" (R1=,15;"HA"1)"KOH"

Таблица 6

$\delta =$	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;R=.5684 ₁₀ ⁻⁴	R=.49074 ₁₀ ⁻⁴	R=.4325 ₁₀ ⁻⁴	R=.98724 ₁₀ ⁻⁴	R=.35109 ₁₀ ⁻⁴	R=.32153 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=.26423 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=.28256 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=.28639 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=.16367 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=.16321 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=.48307 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	
5 D[I]=1.62;R=.49906 ₁₀ ⁻⁵	R=.42288 ₁₀ ⁻⁵	R=.37026 ₁₀ ⁻⁵	R=.32931 ₁₀ ⁻⁵	R=.29637 ₁₀ ⁻⁵	R=.26977 ₁₀ ⁻⁵	R=.24744 ₁₀ ⁻⁵	R=.22855 ₁₀ ⁻⁵	R=.21236 ₁₀ ⁻⁵	

$\delta =$	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=.13795 ₁₀ -4	R=.12794 ₁₀ -4	
D[I]=.351;R=.26911 ₁₀ -4	R=.23135 ₁₀ -4	R=.20901 ₁₀ -4	R=.18999 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=.19742 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=.11903 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=.6568 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=.83754 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=.6880 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=.65664 ₁₀ -5	R=.56318 ₁₀ -5	R=.49315 ₁₀ -5	R=.43066 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=.49396 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	

"ЗАНЕ" (R₁ = 2; "HA" 1) "КОИ"

Таблица 8

$\delta =$	1	6	7	8	9	10	11	12	13	14								
D[I]=	1.146;R=	1.75792 ₁₀ -4	R=	1.65432 ₁₀ -4	R=	1.57666 ₁₀ -4	R=	1.51632 ₁₀ -4	R=	1.46812 ₁₀ -4	R=	1.42871 ₁₀ -4	R=	1.39592 ₁₀ -4	R=	1.36822 ₁₀ -4	R=	1.34451 ₁₀ -4
D[I]=	1.152;R=	1.72677 ₁₀ -4	R=	1.63223 ₁₀ -4	R=	1.55263 ₁₀ -4	R=	1.49468 ₁₀ -4	R=	1.44894 ₁₀ -4	R=	1.41047 ₁₀ -4	R=	1.37895 ₁₀ -4	R=	1.35234 ₁₀ -4	R=	1.32952 ₁₀ -4
D[I]=	1.159;R=	1.69352 ₁₀ -4	R=	1.59835 ₁₀ -4	R=	1.52703 ₁₀ -4	R=	1.47159 ₁₀ -4	R=	1.42727 ₁₀ -4	R=	1.39106 ₁₀ -4	R=	1.3609 ₁₀ -4	R=	1.33543 ₁₀ -4	R=	1.31362 ₁₀ -4
D[I]=	1.168;R=	1.65498 ₁₀ -4	R=	1.5649 ₁₀ -4	R=	1.49737 ₁₀ -4	R=	1.44488 ₁₀ -4	R=	1.40294 ₁₀ -4	R=	1.36864 ₁₀ -4	R=	1.34008 ₁₀ -4	R=	1.31595 ₁₀ -4	R=	1.29529 ₁₀ -4
D[I]=	1.18;R=	1.60981 ₁₀ -4	R=	1.5237 ₁₀ -4	R=	1.46267 ₁₀ -4	R=	1.41366 ₁₀ -4	R=	1.37449 ₁₀ -4	R=	1.34246 ₁₀ -4	R=	1.31579 ₁₀ -4	R=	1.29325 ₁₀ -4	R=	1.27393 ₁₀ -4
D[I]=	1.194;R=	1.56439 ₁₀ -4	R=	1.48635 ₁₀ -4	R=	1.42785 ₁₀ -4	R=	1.38236 ₁₀ -4	R=	1.346 ₁₀ -4	R=	1.31627 ₁₀ -4	R=	1.2915 ₁₀ -4	R=	1.27056 ₁₀ -4	R=	1.25263 ₁₀ -4
D[I]=	1.219;R=	1.49816 ₁₀ -4	R=	1.429 ₁₀ -4	R=	1.37715 ₁₀ -4	R=	1.33685 ₁₀ -4	R=	1.30461 ₁₀ -4	R=	1.27825 ₁₀ -4	R=	1.25629 ₁₀ -4	R=	1.23773 ₁₀ -4	R=	1.22182 ₁₀ -4
D[I]=	1.245;R=	1.44396 ₁₀ -4	R=	1.38213 ₁₀ -4	R=	1.33577 ₁₀ -4	R=	1.29973 ₁₀ -4	R=	1.27091 ₁₀ -4	R=	1.24733 ₁₀ -4	R=	1.22769 ₁₀ -4	R=	1.21109 ₁₀ -4	R=	1.19688 ₁₀ -4
D[I]=	1.273;R=	1.39774 ₁₀ -4	R=	1.3419 ₁₀ -4	R=	1.3003 ₁₀ -4	R=	1.26794 ₁₀ -4	R=	1.24206 ₁₀ -4	R=	1.2209 ₁₀ -4	R=	1.20327 ₁₀ -4	R=	1.18835 ₁₀ -4	R=	1.17577 ₁₀ -4
D[I]=	1.299;R=	1.36214 ₁₀ -4	R=	1.31147 ₁₀ -4	R=	1.27347 ₁₀ -4	R=	1.24392 ₁₀ -4	R=	1.22029 ₁₀ -4	R=	1.20096 ₁₀ -4	R=	1.18485 ₁₀ -4	R=	1.17124 ₁₀ -4	R=	1.15956 ₁₀ -4
D[I]=	1.325;R=	1.33263 ₁₀ -4	R=	1.286 ₁₀ -4	R=	1.25105 ₁₀ -4	R=	1.22385 ₁₀ -4	R=	1.2021 ₁₀ -4	R=	1.18433 ₁₀ -4	R=	1.1695 ₁₀ -4	R=	1.15697 ₁₀ -4	R=	1.14622 ₁₀ -4
D[I]=	1.351;R=	1.30755 ₁₀ -4	R=	1.2644 ₁₀ -4	R=	1.23201 ₁₀ -4	R=	1.20685 ₁₀ -4	R=	1.1867 ₁₀ -4	R=	1.17022 ₁₀ -4	R=	1.15651 ₁₀ -4	R=	1.14489 ₁₀ -4	R=	1.13495 ₁₀ -4
D[I]=	1.377;R=	1.28602 ₁₀ -4	R=	1.24581 ₁₀ -4	R=	1.21566 ₁₀ -4	R=	1.19223 ₁₀ -4	R=	1.17347 ₁₀ -4	R=	1.15815 ₁₀ -4	R=	1.14535 ₁₀ -4	R=	1.13454 ₁₀ -4	R=	1.12528 ₁₀ -4
D[I]=	1.426;R=	1.25264 ₁₀ -4	R=	1.21705 ₁₀ -4	R=	1.19038 ₁₀ -4	R=	1.16963 ₁₀ -4	R=	1.15304 ₁₀ -4	R=	1.13947 ₁₀ -4	R=	1.12815 ₁₀ -4	R=	1.11858 ₁₀ -4	R=	1.11038 ₁₀ -4
D[I]=	1.477;R=	1.22528 ₁₀ -4	R=	1.19351 ₁₀ -4	R=	1.16967 ₁₀ -4	R=	1.15144 ₁₀ -4	R=	1.13633 ₁₀ -4	R=	1.1242 ₁₀ -4	R=	1.1144 ₁₀ -4	R=	1.10555 ₁₀ -4	R=	1.098217 ₁₀ -5
D[I]=	1.529;R=	1.20288 ₁₀ -4	R=	1.17424 ₁₀ -4	R=	1.15275 ₁₀ -4	R=	1.13604 ₁₀ -4	R=	1.12266 ₁₀ -4	R=	1.11173 ₁₀ -4	R=	1.10262 ₁₀ -4	R=	1.094908 ₁₀ -5	R=	1.088304 ₁₀ -5
D[I]=	1.62;R=	1.17281 ₁₀ -4	R=	1.14896 ₁₀ -4	R=	1.13003 ₁₀ -4	R=	1.11577 ₁₀ -4	R=	1.10436 ₁₀ -4	R=	1.095034 ₁₀ -5	R=	1.08725 ₁₀ -5	R=	1.08068 ₁₀ -5	R=	1.075038 ₁₀ -5
D[I]=	1.72;R=	1.14861 ₁₀ -4	R=	1.12755 ₁₀ -4	R=	1.11177 ₁₀ -4	R=	1.099492 ₁₀ -5	R=	1.08967 ₁₀ -5	R=	1.081632 ₁₀ -5	R=	1.074934 ₁₀ -5	R=	1.069288 ₁₀ -5	R=	1.06441 ₁₀ -5
D[I]=	1.82;R=	1.13035 ₁₀ -4	R=	1.11188 ₁₀ -4	R=	1.098003 ₁₀ -5	R=	1.087224 ₁₀ -5	R=	1.078597 ₁₀ -5	R=	1.07154 ₁₀ -5	R=	1.065659 ₁₀ -5	R=	1.06088 ₁₀ -5	R=	1.056449 ₁₀ -5
D[I]=	1.92;R=	1.11609 ₁₀ -4	R=	1.09861 ₁₀ -5	R=	1.08726 ₁₀ -5	R=	1.077648 ₁₀ -5	R=	1.069961 ₁₀ -5	R=	1.063871 ₁₀ -5	R=	1.058428 ₁₀ -5	R=	1.053995 ₁₀ -5	R=	1.050193 ₁₀ -5
D[I]=	1.02;R=	1.10464 ₁₀ -4	R=	1.089782 ₁₀ -5	R=	1.08637 ₁₀ -5	R=	1.08399 ₁₀ -5	R=	1.08233 ₁₀ -5	R=	1.08136 ₁₀ -5	R=	1.08093 ₁₀ -5	R=	1.08063 ₁₀ -5	R=	1.08042 ₁₀ -5
D[I]=	1.22;R=	1.07404 ₁₀ -5	R=	1.074979 ₁₀ -5														
D[I]=	1.42;R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5	R=	1.05041 ₁₀ -5
D[I]=	1.62;R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5	R=	1.03574 ₁₀ -5

"3AME" (R1=,225;"HA"1)"KOH"

$\delta =$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I]=.146;R=.85266 ₁₀ -4	R=.79611 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	R=.37071 ₁₀ -4	R=.35282 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	R=.35282 ₁₀ -4	R=.33528 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	R=.3322 ₁₀ -4	R=.3122 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=.3299 ₁₀ -4	R=.30818 ₁₀ -4	R=.28842 ₁₀ -4
D[I]=.18;R=.68603 ₁₀ -4	R=.59142 ₁₀ -4	R=.5205 ₁₀ -4	R=.46537 ₁₀ -4	R=.4213 ₁₀ -4	R=.38527 ₁₀ -4	R=.35526 ₁₀ -4	R=.3299 ₁₀ -4	R=.30438 ₁₀ -4	R=.28421 ₁₀ -4	R=.26444 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	R=.26444 ₁₀ -4	R=.24955 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	R=.23406 ₁₀ -4	R=.21957 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	R=.20757 ₁₀ -4	R=.19547 ₁₀ -4
D[I]=.279;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	R=.18503 ₁₀ -4	R=.17414 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	R=.16832 ₁₀ -4	R=.15903 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	R=.15400 ₁₀ -4	R=.14501 ₁₀ -4
D[I]=.361;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	R=.14203 ₁₀ -4	R=.13364 ₁₀ -4
D[I]=.377;R=.32177 ₁₀ -4	R=.27654 ₁₀ -4	R=.24262 ₁₀ -4	R=.21628 ₁₀ -4	R=.19516 ₁₀ -4	R=.17792 ₁₀ -4	R=.16352 ₁₀ -4	R=.15136 ₁₀ -4	R=.14094 ₁₀ -4	R=.13205 ₁₀ -4	R=.12446 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	R=.11629 ₁₀ -4	R=.10940 ₁₀ -4
D[I]=.477;R=.23944 ₁₀ -4	R=.2177 ₁₀ -4	R=.19088 ₁₀ -4	R=.17004 ₁₀ -4	R=.15337 ₁₀ -4	R=.13973 ₁₀ -4	R=.12856 ₁₀ -4	R=.11874 ₁₀ -4	R=.11049 ₁₀ -4	R=.10340 ₁₀ -4	R=.97311 ₁₀ -4
D[I]=.529;R=.22824 ₁₀ -4	R=.19602 ₁₀ -4	R=.17418 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	R=.93213 ₁₀ -5	R=.88084 ₁₀ -5
D[I]=.62;R=.19444 ₁₀ -4	R=.16694 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	R=.79189 ₁₀ -5	R=.74810 ₁₀ -5
D[I]=.72;R=.16718 ₁₀ -4	R=.1434 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	R=.67782 ₁₀ -5	R=.63803 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=.73867 ₁₀ -5	R=.6827 ₁₀ -5	R=.63471 ₁₀ -5	R=.59292 ₁₀ -5	R=.55813 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	R=.52788 ₁₀ -5	R=.49509 ₁₀ -5
D[I]=1.02;R=.11772 ₁₀ -4	R=.1014 ₁₀ -4	R=.88467 ₁₀ -5	R=.7871 ₁₀ -5	R=.70919 ₁₀ -5	R=.6453 ₁₀ -5	R=.5921 ₁₀ -5	R=.54711 ₁₀ -5	R=.5083 ₁₀ -5	R=.47452 ₁₀ -5	R=.44273 ₁₀ -5
D[I]=1.22;R=.9833 ₁₀ -5	R=.84354 ₁₀ -5	R=.79867 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	R=.39541 ₁₀ -5	R=.36962 ₁₀ -5
D[I]=1.42;R=.84421 ₁₀ -5	R=.724 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=.36388 ₁₀ -5	R=.34009 ₁₀ -5	R=.31930 ₁₀ -5
D[I]=1.62;R=.73959 ₁₀ -5	R=.63432 ₁₀ -5	R=.55539 ₁₀ -5	R=.49397 ₁₀ -5	R=.44485 ₁₀ -5	R=.40466 ₁₀ -5	R=.37117 ₁₀ -5	R=.34289 ₁₀ -5	R=.31854 ₁₀ -5	R=.29775 ₁₀ -5	R=.27996 ₁₀ -5

"3AME" (R1 = .25; "HA"1) "KOH"

Таблица 10

$\delta =$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D[I] = .146; R = .9477 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 = .30256 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 = .3573 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 = .2818 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 = .11863 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 = .56433 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 = .5488 ₁₀ ⁻⁵	R = .49428 ₁₀ ⁻⁵	R = .44963 ₁₀ ⁻⁵	R = .41241 ₁₀ ⁻⁵	R = .38092 ₁₀ ⁻⁵	R = .35393 ₁₀ ⁻⁵		

8 "3AME"(R1=.275;"HA"1)"KQR"

Таблица II

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=.61366 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]=.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[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=.46189 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=.18536 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=.19988 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=.11224 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=.77376 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=.66889 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=.10318 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=.38933 ₁₀ ⁻⁵

"3AME" (R1=.3; "HA"1)"KOH"

Таблица 12

δ	4	5	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=.48985 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=.28537 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=.33732 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=.10791 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=.9453 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

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. П р и т у л а В. В. Опасность коррозионного разрушения и электрохимическая защита стальных подземных сооружений. М., ВНИИСТ, 1970.

4. З и н е в и ч А. М., Г л а з к о в В. И., К о т и к 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. А к и м о в А. Г. Электрическое удельное сопротивление мерзлых грунтов, т.16, вып.8, ДАН СССР, 1937.

7. К о р е н н о в Б. И. Электрические свойства мерзлых горных пород. СО АН СССР. Институт мерзлотоведения. Якутск, 1967.

8. А н я н я н А. А. Зависимость электропроводности мерзлых горных пород от влажности, геофизическая серия, № 12, М., изд-во АН СССР, 1958.

9. К а р л с о н Г. Расчет протаивания мерзлого грунта. Сб. "Мерзлотные явления в грунтах". М., Изд-во ИЛ, 1955.

10. К а р е л и н а В. И. Об устройстве заземлений при открытой разработке месторождений на многолетней мерзлоте. Доклады Всесоюзной конференции по заземлениям. Харьков, 1966.

11. П р и т у л а 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.Хорошева

Технический редактор Т.В.Берешева

Подписано в печать 3/УИ-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