

РУКОВОДСТВО
по контролю состояния изоляции законченных строительством
участков трубопроводов катодной поляризацией

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Общие требования к защите от коррозии стальных магистральных трубопроводов определяет ГОСТ Р 51164-98. Данное руководство составлено на основании «ИНСТРУКЦИИ по контролю состояния изоляции законченных строительством участков трубопроводов катодной поляризацией» ВНИИСТ.

Область применения

Настоящее руководство распространяется на подземные магистральные и промышленные трубопроводы и отводы от них (диаметром не менее 114 мм) на стадии завершения строительства отдельных участков. Контролируемый участок трубопровода должен быть закончен строительством в полном объеме.

Руководство не распространяется на:

- подземные трубопроводы компрессорных, насосных, газораспределительных станций и промыслов длиной менее 200 м;
- морские участки газонефтепроводов;
- трубопроводы надземной прокладки;
- трубопроводы, уложенные в грунт, глубина промерзания которого в период проведения испытания изоляции превышает 0,5 м, а также трубопроводы, уложенные в грунт, верхняя граница промерзания которого находится на расстоянии менее 0,3 м от нижней образующей трубопровода.

Подземные и подводные переходы длиной более 200 м и отводы от магистральных трубопроводов могут быть сварены в общую магистраль только после испытания их изоляционных покрытий катодной поляризацией (кроме условий по п. 1.2.).

Изоляционное покрытие на подводных и подземных переходах длиной менее 200 м проверяют катодной поляризацией вместе с прилегающими участками трубопровода.

Требуемое качество изоляции может быть достигнуто при выполнении всех технологических требований к изоляционно-укладочным работам.

В тех случаях, когда состояние изоляции трубопровода не подлежит контролю катодной поляризацией, качество изоляции оценивают по результатам пооперационного контроля.

Контролируемый участок до проведения испытаний катодной поляризацией должен быть проверен на сплошность изоляционного покрытия искателем повреждений (например ИПИ -95КБ, АНПИ – К и др.), а выявленные дефекты в изоляции должны быть устранены.

Принцип метода контроля состояния изоляционного покрытия катодной поляризацией

Контроль состояния изоляционного покрытия законченного строительством участка трубопровода методом катодной поляризации осуществляют не раньше,

чем через две недели после окончания изоляционно-укладочных работ (трубопровод засыпан грунтом), за исключением подводных переходов, где испытания могут быть начаты через сутки после окончания засыпки сухопутных частей участка, расположенных на берегах перехода.

Состояние изоляционного покрытия оценивается по силе тока поляризации и смещению разности потенциалов труба-земля в конце контролируемого участка.

Принципиальная схема контроля состояния изоляционного покрытия законченного участка трубопровода приведена на рис. 1.

Смещение разности потенциалов труба-земля $U_{ТЗ}$ определяют по формуле:

$$U_{ТЗ} = U_{ТЗИ} - U_{ТЗЕ}, \quad (1)$$

где $U_{ТЗИ}$ - измеренная разность потенциалов труба-земля (после включения катодной поляризации);

$U_{ТЗЕ}$ - естественная разность потенциалов труба-земля (до включения катодной поляризации).

Указанные выше разности потенциалов труба-земля подставляются в формулу (1) измеренными по одноименному электроду сравнения.

Величину силы тока в цепи поляризующего источника нормируют в зависимости от типа изоляционного покрытия, длины контролируемого участка и диаметра трубы.

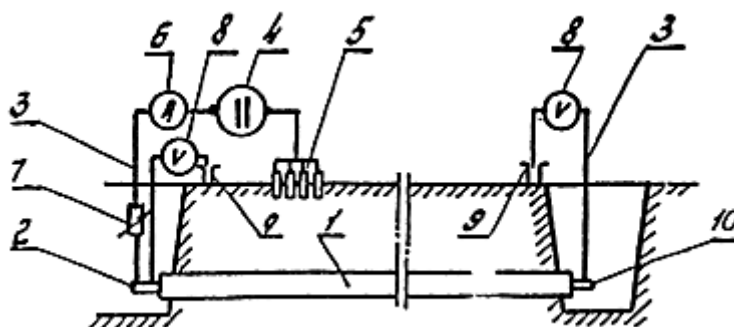


Рис. 1. Принципиальная схема контроля состояния изоляции методом катодной поляризации.

1 - испытуемый участок изолированного трубопровода; 2 - начало трубы; 3 - соединительные провода (кабели); 4 - источник постоянного тока; 5 - временное заземление; 6 - амперметр; 7 - регулируемый резистор; 8 - вольтметр; 9 - медносульфатный электрод сравнения; 10 - конец трубы.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством участка трубопровода (длина участка 4...50 км) оценивают как хорошее, если вызванное катодной поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в конце участка не менее 0,55 В, а сила тока,

вызывающая это смещение, не превышает величины, определяемой по приведенным номограммам (рис. 2 - 10).

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством участка трубопровода (длина участка 4...50 км) оценивают как удовлетворительное, если вызванное поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в конце участка не менее 0,4 В, а сила тока, вызывающая это смещение, не превышает величины, определяемой по номограммам (рис. 2 - 10).

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством участка трубопровода (длина участка 4...50 км) оценивают как неудовлетворительное, если вызванное поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в конце участка меньше 0,4 В или если указанная величина смещения достигнута при силе тока, превышающей величину, определяемую по номограммам (рис. 2 - 10).

Определение необходимой силы тока катодной поляризации производится для соответствующего типа изоляционного покрытия исходя из минимального значения сопротивления изоляции в соответствии с табл. 1.

Силы тока на номограммах (табл. 1) рассчитаны для средних толщин стенок труб, значения которых приведены в табл. 1 приложения 1.

Если толщина стенки трубы испытываемого участка, протяженность которого превышает 25 км, не равна средней, то допустимую величину силы тока корректируют по формуле:

$$I' = I \left(1 - \frac{KL^2}{2500} \right), \text{ А} \quad (2)$$

где I - сила тока, определяемая по номограмме для средней величины толщины стенки трубы, А;

K - поправка, величина и знак которой зависят от разности между средней и действительной толщинами стенки трубы и ее диаметра (рис. 6);

L - длина контролируемого участка, км.

Для участков протяженностью меньше 25 км отклонение толщины стенки трубы от среднего значения не учитывается.

Таблица 1

Минимальное сопротивление изоляционного покрытия, Ом·м ²	Номограмма для определения силы тока катодной поляризации для участков длиной, км	
	4...50	Менее 4
$3 \cdot 10^5$	Рис. 2	Рис. 7
$1 \cdot 10^5$	Рис. 3	Рис. 8
$5 \cdot 10^4$	Рис. 4	Рис. 9
$1 \cdot 10^4$	Рис. 5	Рис. 10

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством короткого участка трубопровода (длина участка менее 4 км) оценивают как хорошее, если вызванное поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в конце участка не менее 1,0 В, а сила тока, вызывающее это смещение, не превышает величины, определяемой по номограммам.

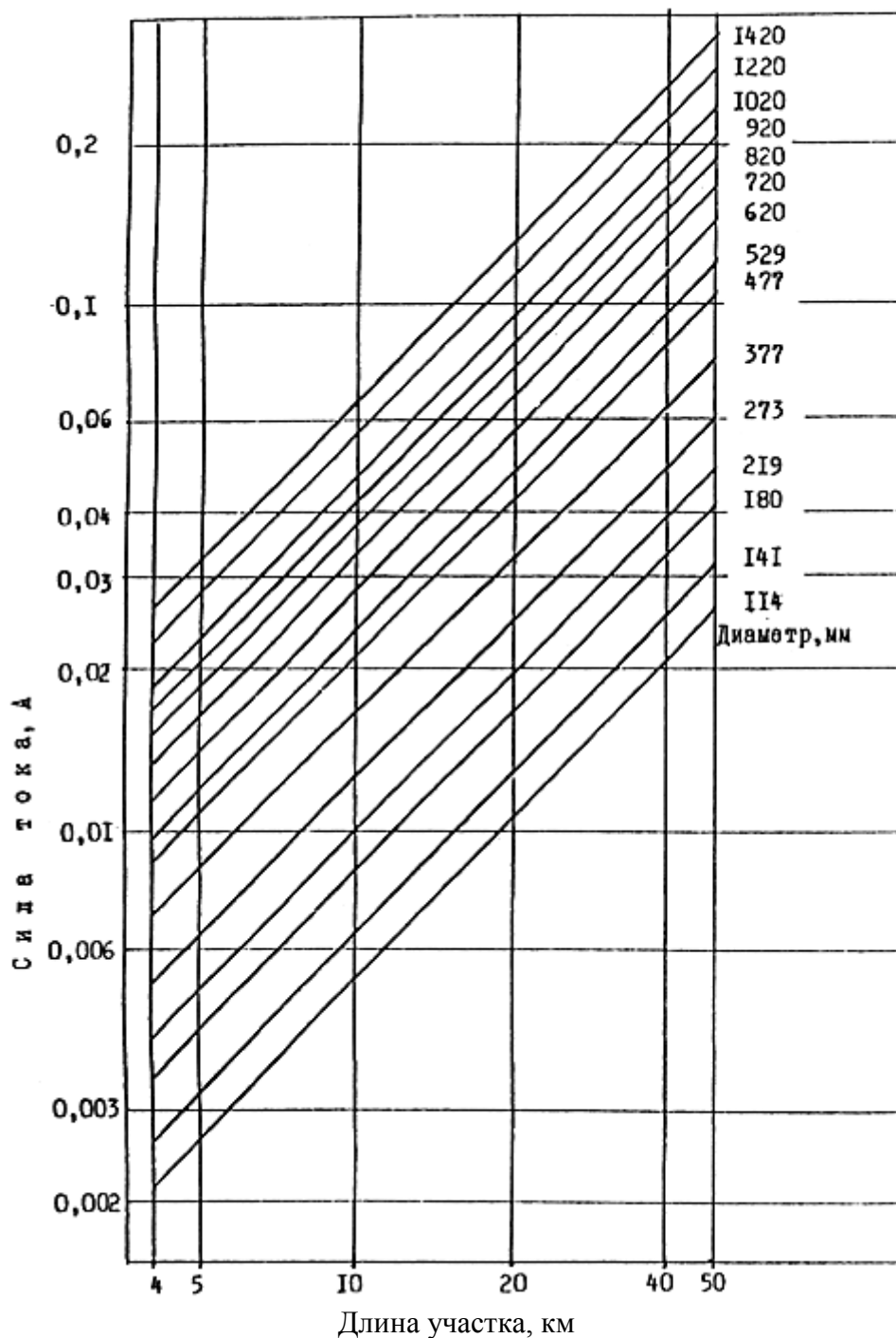


Рис. 2. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 4,0+50 км
(сопротивление изоляции $3 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$).

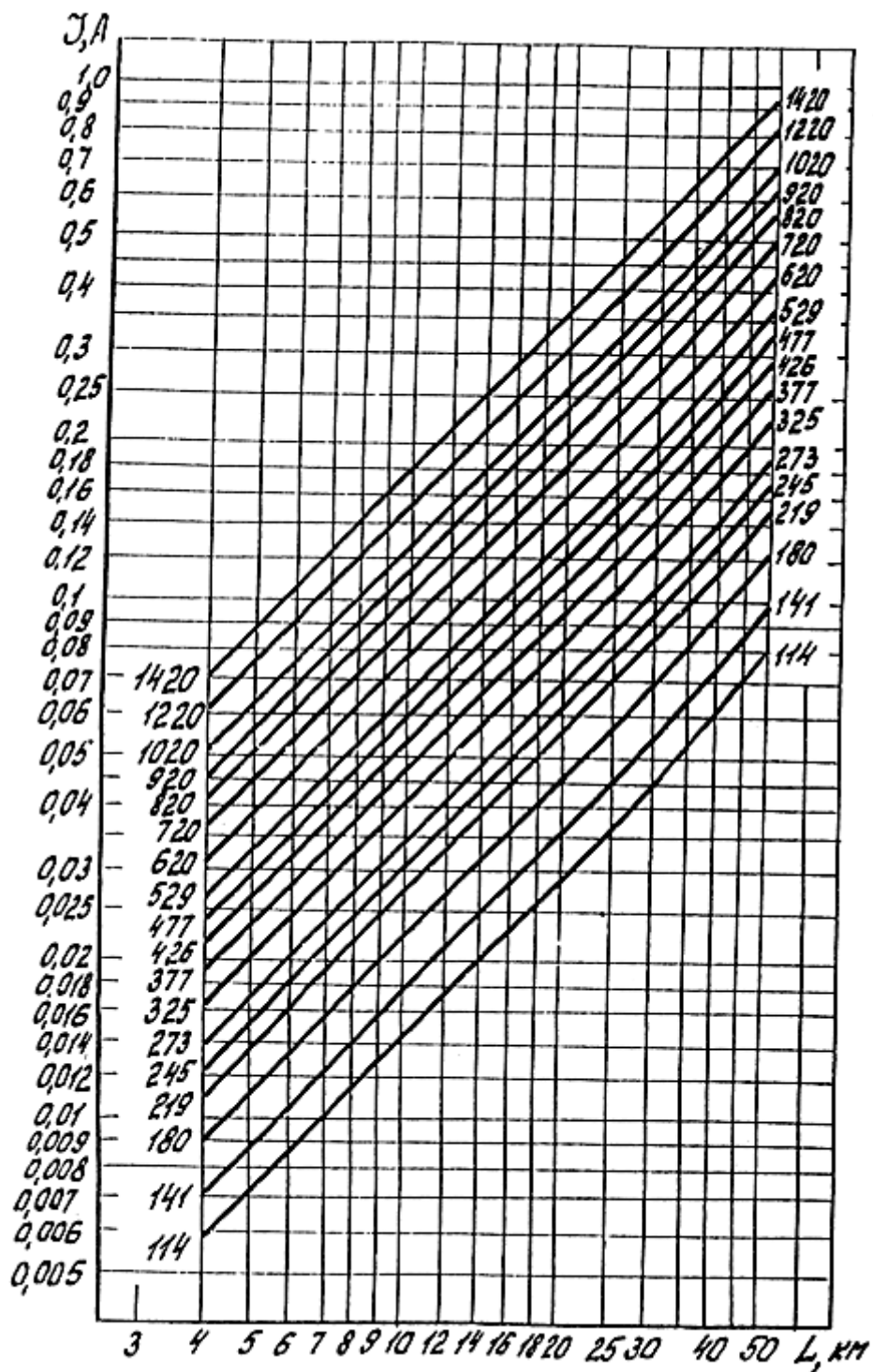


Рис. 3. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 4-50 км,

изоляция с сопротивлением $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$.

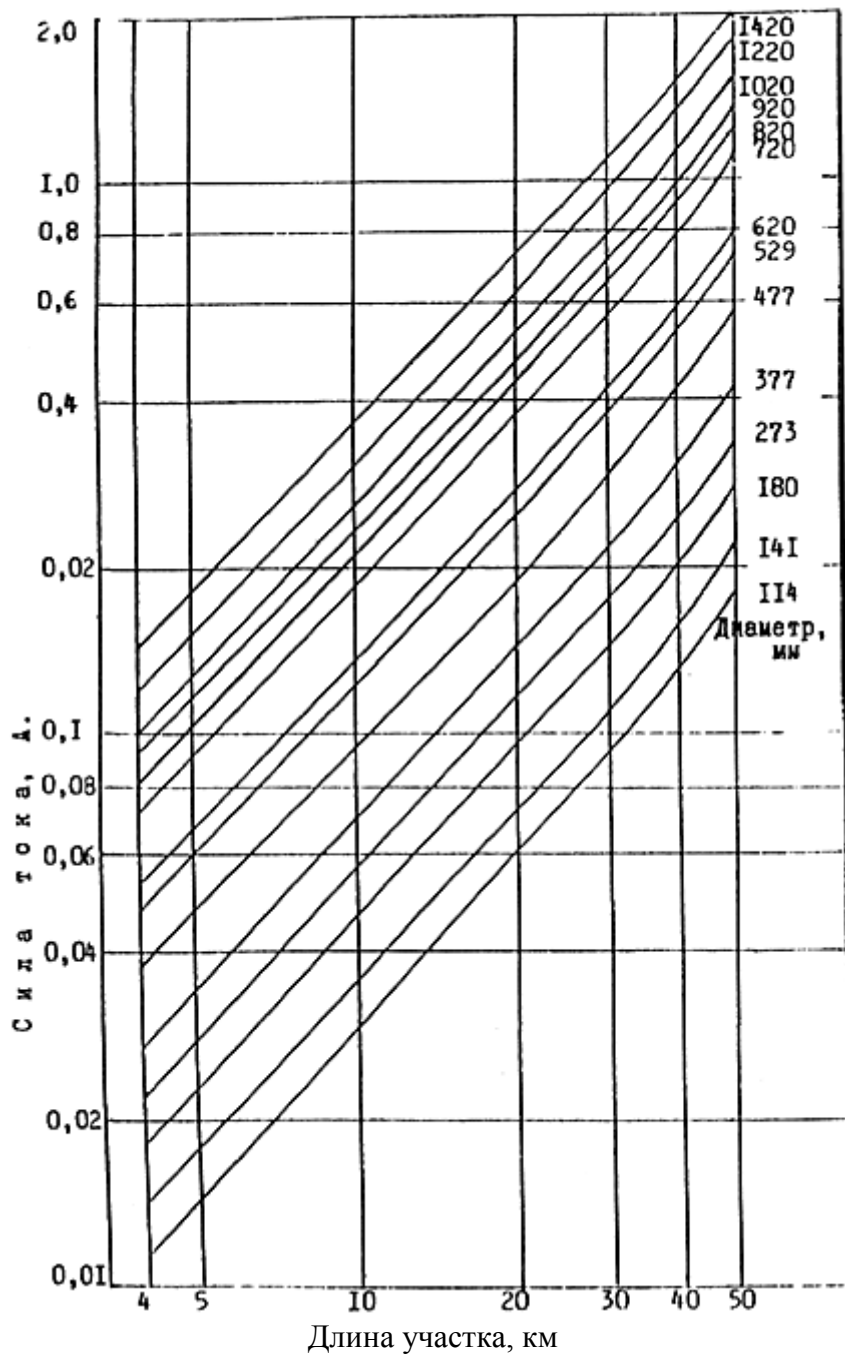


Рис. 4. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 4+50 км (сопротивление изоляции $5 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$).

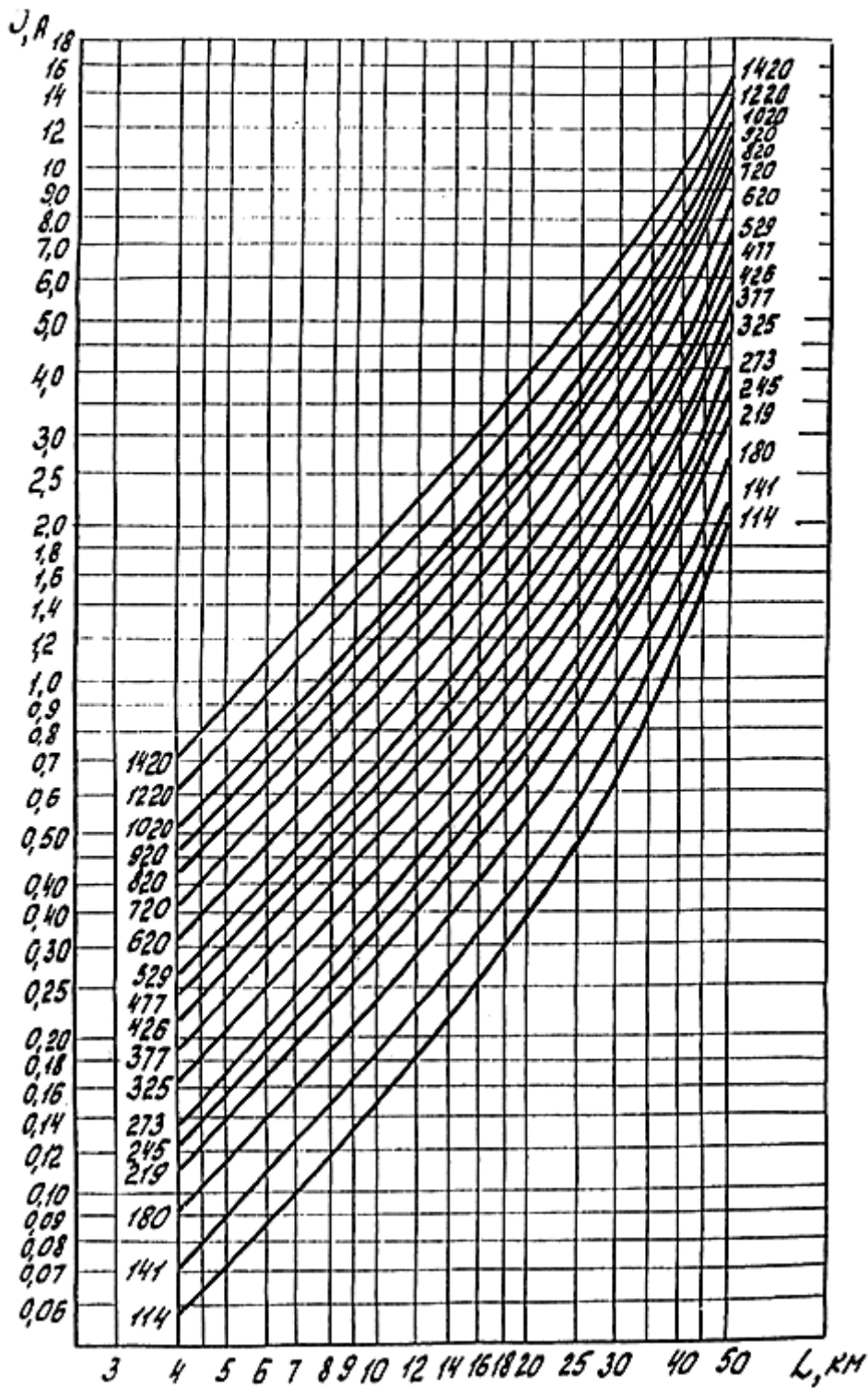


Рис. 5. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 4-50 км (сопротивление изоляции $10^4 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$).

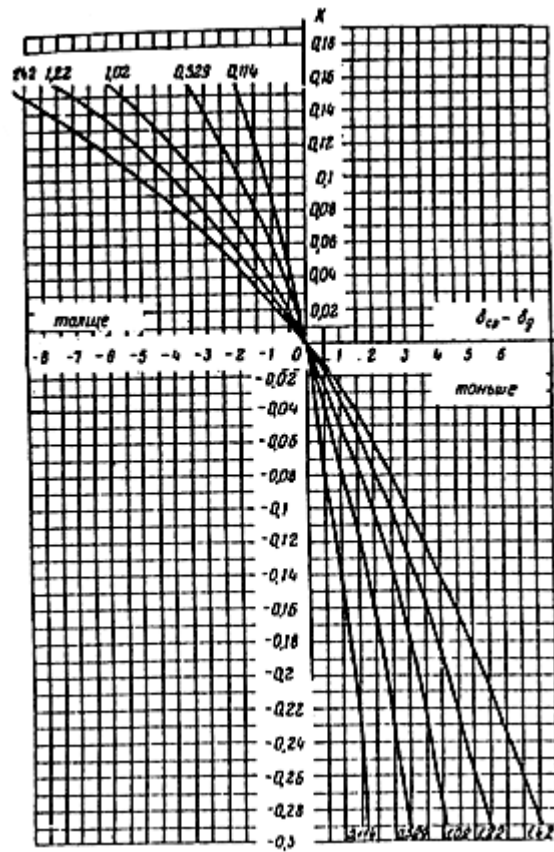


Рис. 6. Зависимость K от разности между средней ($\delta_{ср}$) и действительной ($\delta_д$) толщиной стенки трубы

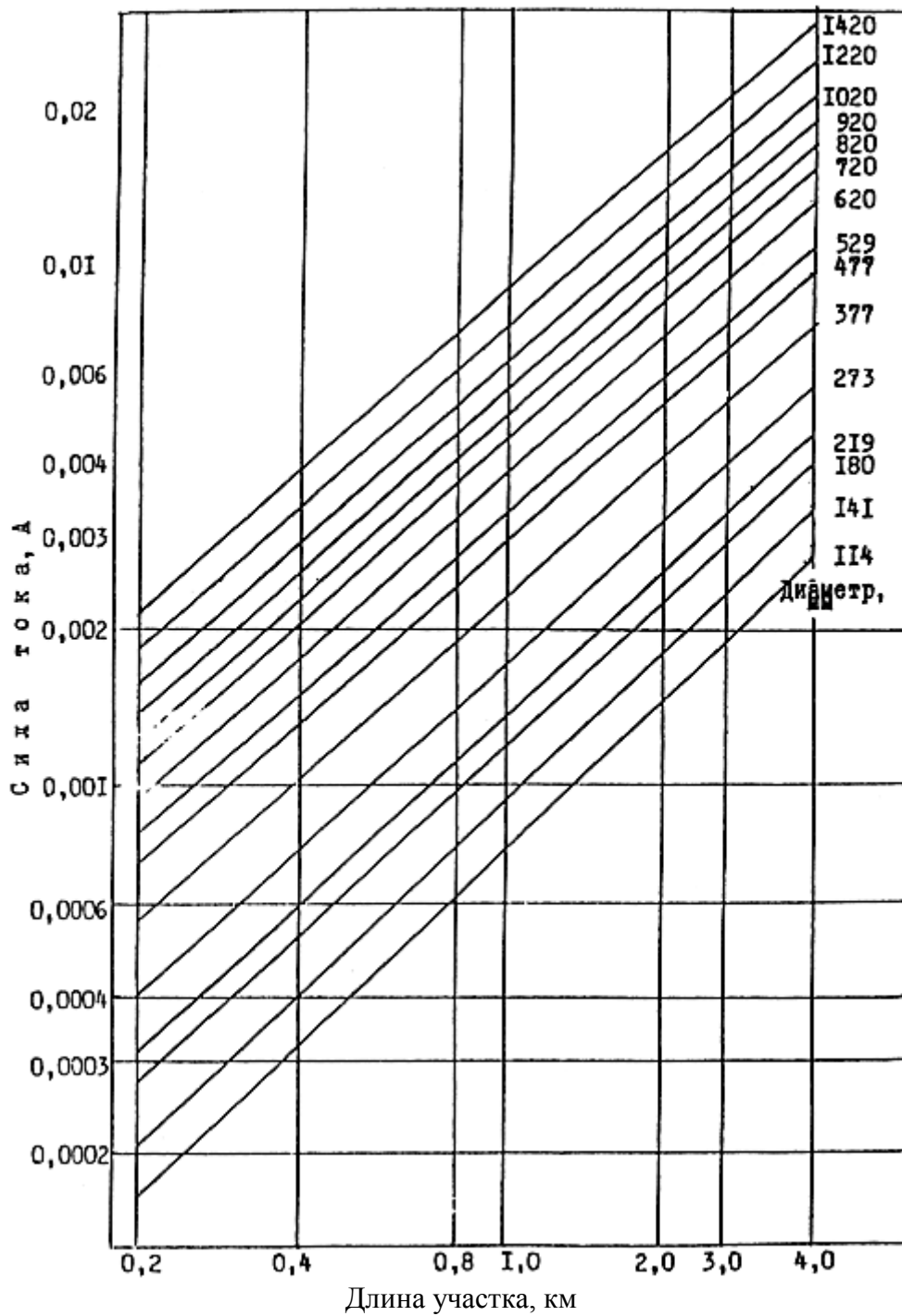


Рис. 7. Номограмма определения силы тока для участков трубопроводов длиной 0,2+4,0 км (сопротивление изоляции $3 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$).

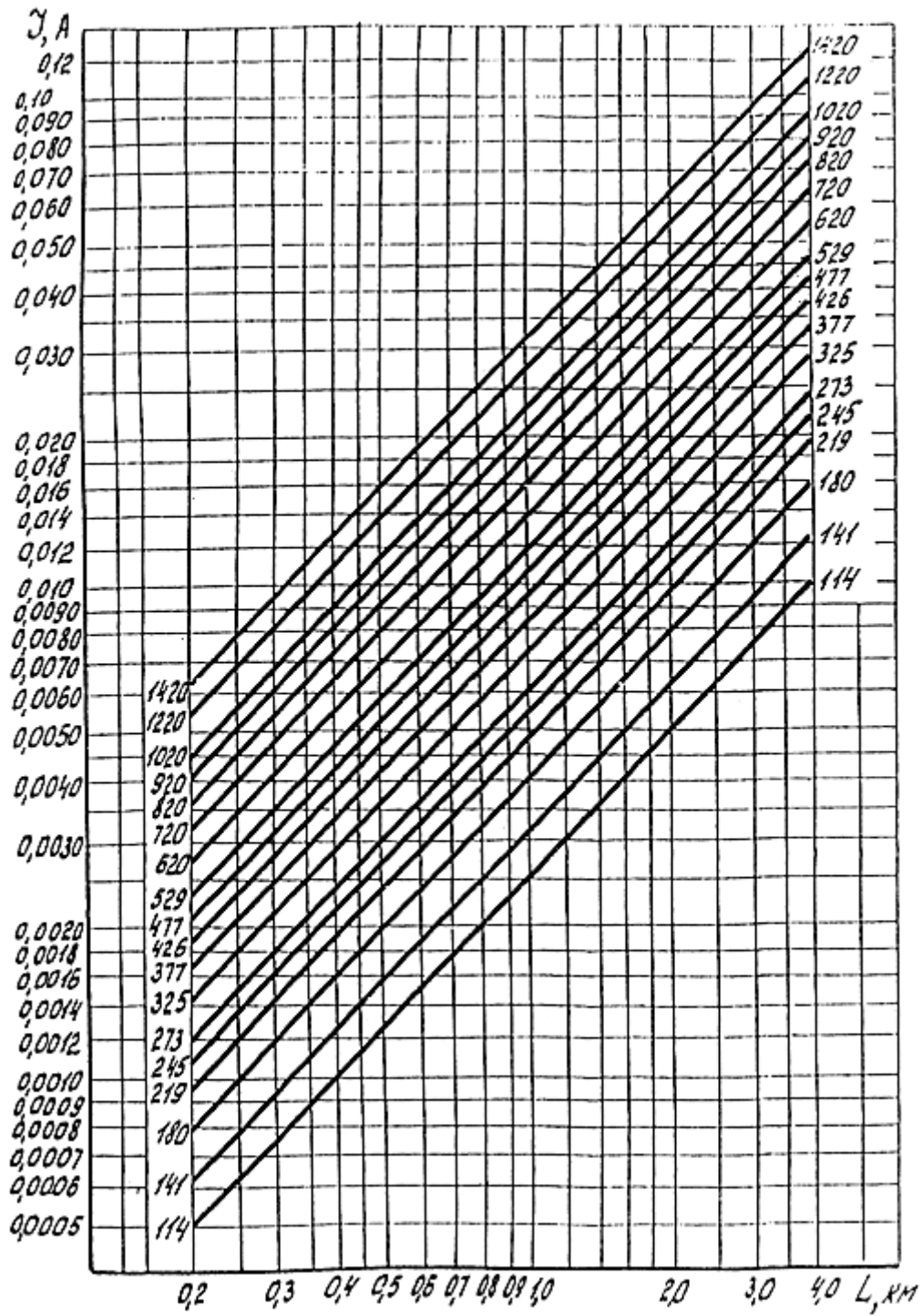


Рис. 8. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 0,2-4 км, изоляция с сопротивлением $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}^2$.

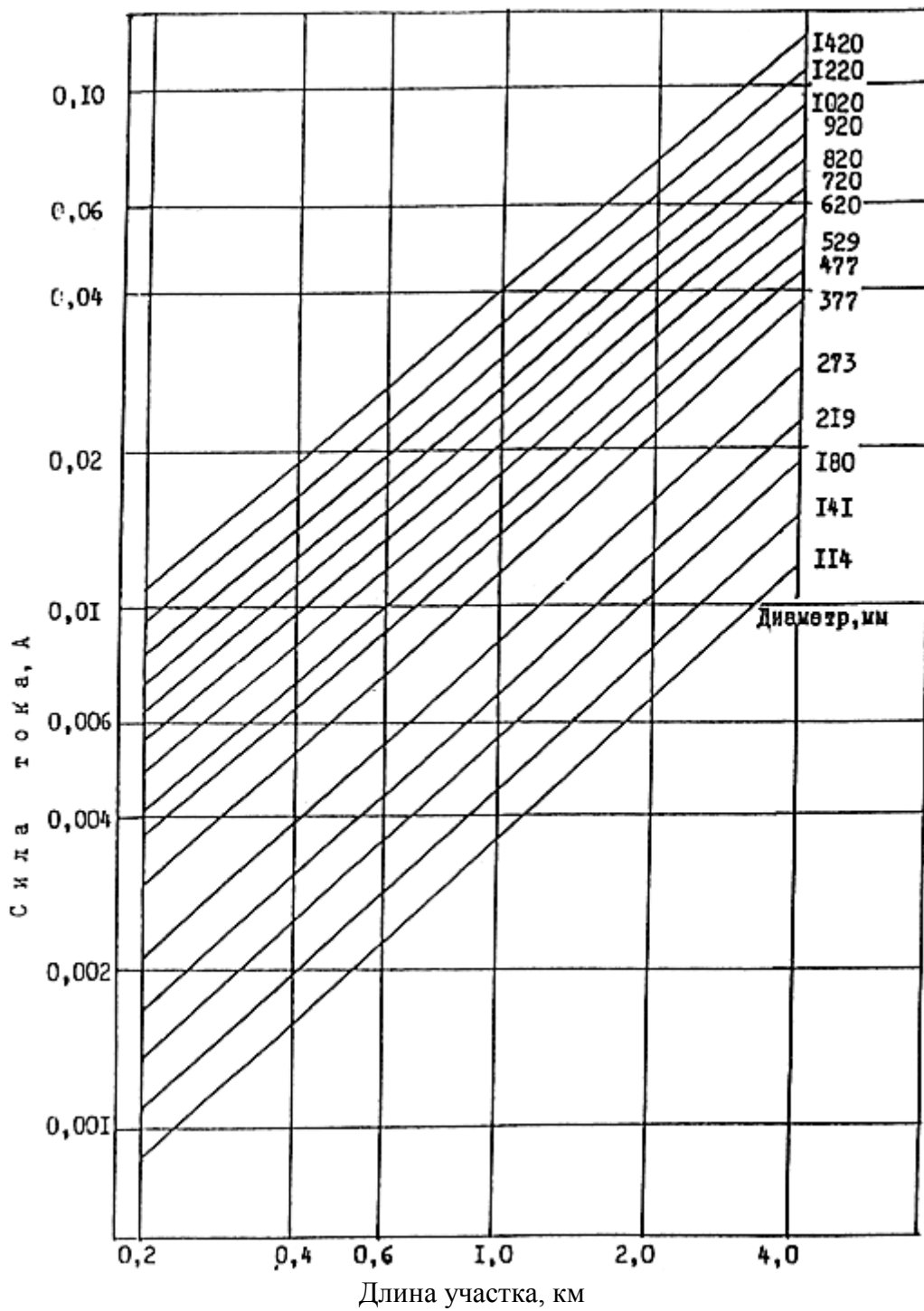


Рис. 9. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 0,2+4,0 км (сопротивление изоляции $5 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$).

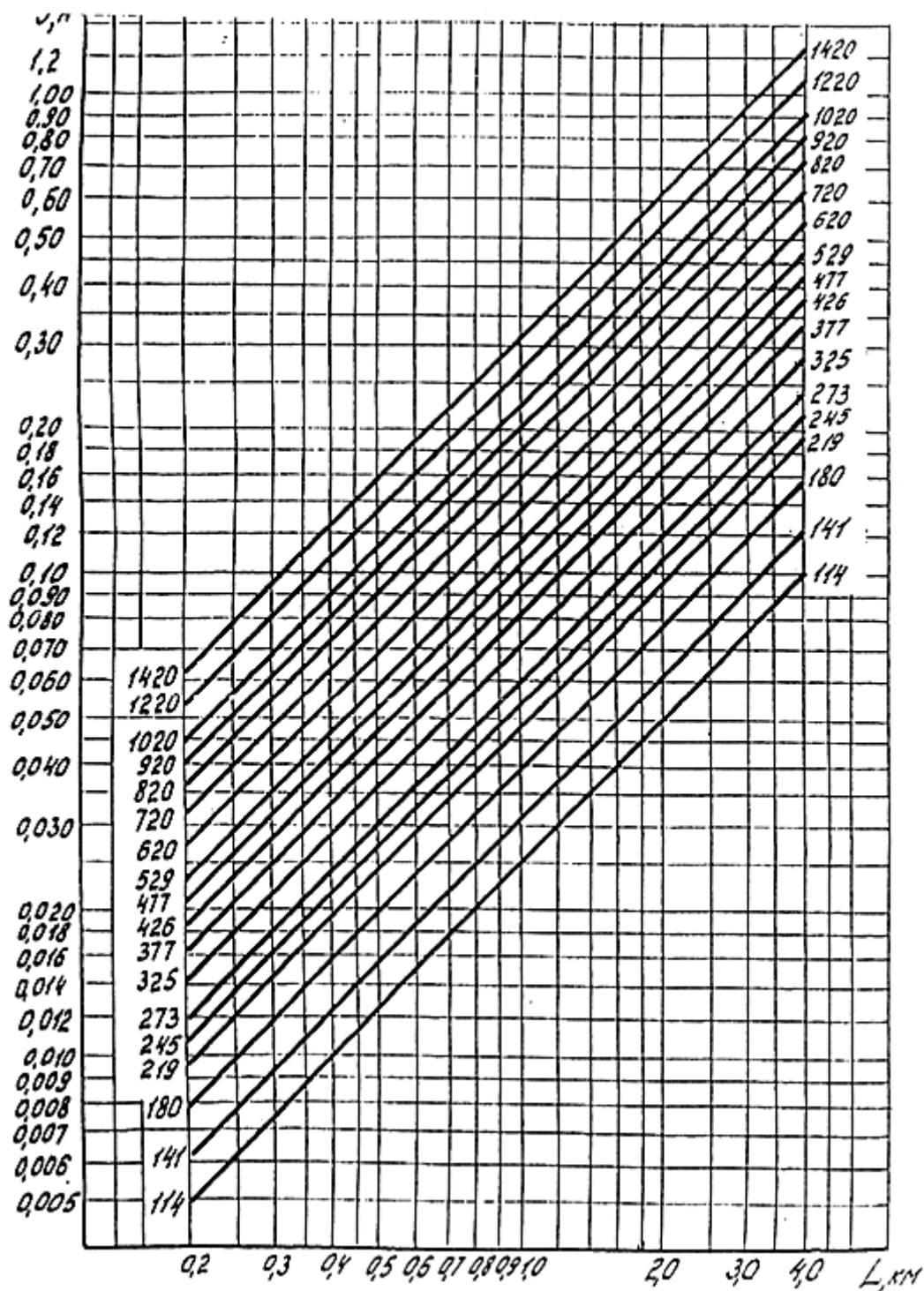


Рис. 10. Номограмма определения силы тока для участков трубопровода длиной 0,2-4 км, изоляция с сопротивлением $10^4 \text{ Ом} \cdot \text{м}^2$.

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством короткого участка оценивают как удовлетворительное, если вызванное поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в начале участка не менее 0.7 В, а сила тока, вызывающая это смещение, не превышает величины, определяемой по номограммам (рис. 2 - 10).

Состояние изоляционного покрытия законченного строительством короткого участка трубопровода оценивают как неудовлетворительное, если вызванное поляризацией смещение в отрицательную сторону разности потенциалов труба-земля в конце участка меньше 0,7 В или если указанная величина смещения достигнута при силе тока, превышающей величину, определяемую по номограммам (рис. 2 - 10).

Если среднее удельное электрическое сопротивление грунта вдоль контролируемого участка трубопровода превышает 50 Ом·м, то оценку состояния изоляционного покрытия следует выполнять по значениям смещения разности потенциалов труба-земля, приведенным в таблицах 2...9 приложения 2 в зависимости от:

- сопротивления покрытия;
- вида оценки (удовлетворительное или хорошее);
- длины контролируемого участка (4...50 км или меньше 4 км);
- диаметра трубопровода;
- среднего удельного электрического сопротивления грунта (по приложению 3).

В том случае, если в цепи поляризующего источника сила тока не равна (больше или меньше) величине силы тока, регламентированной номограммами (рис. 2...5, 7...10), то состояние покрытия оценивают не по измеренному смещению разности потенциалов, а по величине смещения, рассчитываемому по формуле:

$$U'_{тз} = U_{тз} \frac{I_{и}}{I}, \quad (3)$$

где $U_{тз}$ - смещение разности потенциалов труба-земля, определяемое по формуле (1), В;

$I_{и}$ - измеренная сила тока в цепи поляризующего источника, А.

Если подводный или пойменный переход больше двух недель находится полностью в погруженном состоянии и его сухопутные части полностью засыпаны, то номинальная сила тока контроля (по п. 1.12) корректируется умножением на коэффициент k , который определяется по формуле

$$k = 1 + 0.009\tau, \quad (4)$$

где τ - время, прошедшее после окончания засыпки, мес.

Если контролируемый участок трубопровода расположен в зоне действия блуждающих токов, то измеренное смещение разности потенциалов должно быть не меньше 0,4 В, а при отсутствии блуждающих токов, - не меньше 0,2 В.

Контроль участков длиной менее 4 км разрешается только для:

- подводных и пойменных переходов;
- переходов через автомобильные и железнодорожные дороги;
- переходов через болота;
- промысловых и других трубопроводов, имеющих протяженность менее 4 км.

Участки трубопроводов, включающие воздушные переходы общей длиной не более 5 процентов от общей длины участка, могут быть испытаны методом катодной поляризации. Силу тока при контроле определяют для длины всего испытываемого участка без вычета протяженности воздушных переходов.

Если участок трубопровода испытан методом катодной поляризации, то допускается, чтобы проверенный участок целиком или частично был подвергнут вторичному контролю в составе большего участка, в который он вошел. В случае если этот больший участок показывает неудовлетворительное качество изоляции, то поиск дефектов следует производить только на тех частях участка, которые не подвергали проверке раньше.

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НА УЧАСТКАХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛИНОЙ БОЛЕЕ 50 КМ

В отдельных случаях (если они обусловлены особыми обстоятельствами и согласованы с заказчиком и Инспекцией по качеству) допускается контроль состояния изоляции на участках длиной свыше 50 км, но не более 100 км. При контроле такой участок может быть соединен с другими металлическими сооружениями (как с одной, так и с обеих сторон).

При контроле изоляции не соединенного с трубопроводом участка на каждом конце его оборудуют источник постоянного тока. В цепи каждого источника устанавливают силу тока, определяемую по номограммам (рис. 2...5), для длины участка, равной половине испытываемого.

В не менее чем пяти точках участка, расположенных в середине и отстоящих одна от другой на 2 км, измеряют разности потенциалов труба-земля как до наложения тока поляризации, так и по истечении времени поляризации.

Из пяти значений смещения разности потенциалов труба-земля выбирают наименьшее.

Если концы контролируемого участка трубопровода подсоединены к другому сооружению, то силу тока в трубопроводе определяют по падению напряжения на обоих концах участка. Методика измерения силы тока по падению напряжения приведена в приложении 4.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Подготовка участка трубопровода к испытаниям

Контролируемый участок не должен иметь электрических и технологических перемычек с другими сооружениями.

Не допускается контакт неизолированных концов контролируемого участка с соседними участками или грунтом.

Примечание. Требование данного пункта не распространяется на врезанные участки трубопровода.

Подключение поляризующего источника и измерительного прибора к трубе в начале и конце участка выполняют при помощи пружинного или струбцинного зажима либо магнитного контакта КМ-1 «Менделеевец».

Участок считается не готовым для испытаний, если имеется контакт незащищенной поверхности трубы с грунтом через слой бетона или цемента.

Вдоль участка трубопровода в соответствии с проектом должны быть установлены контрольно-измерительные пункты.

Если контрольно-измерительные пункты не установлены, то такой участок считается не подготовленным к испытаниям.

Трубопроводы, проложенные параллельно испытываемому участку или пересекающие его, независимо от того, имеют ли они катодную защиту или нет, не оказывают влияния на результаты контроля методом катодной поляризации.

Необходимо, чтобы на этих сооружениях не происходило изменения параметров защиты более чем на 10%.

Подготовка оборудования

Для проведения контроля состояния изоляционных покрытий на законченных строительством участках трубопровода методом катодной поляризации удобно использовать любую мобильную лабораторию электро-химзащиты.

Генератор лаборатории или любой подходящий источник постоянного тока с выходным напряжением не менее 12 В при токе не менее 5 А подсоединяют "минусом" к трубопроводу в начале участка, а "плюсом" к анодному заземлению.

Для оборудования временного заземления можно использовать переносные штыревые заземлители диаметром от 15 мм и длиной от 1 м в количестве не менее трех.

Допускается использовать в качестве временного заземления генератора соседний с контролируемым участок трубопровода, принципиальная схема подключения показана на рис. 11.

В качестве соединительных проводов каждого заземлителя используют отдельный кабель (параллельное соединение заземлителей) из геофизического сигнально-силового провода ГСП 0,5 на катушке (три катушки).

При помощи используемого генератора регулируют силу тока в цепи и измеряют ее величину.

Измерение разности потенциалов в конце участка, а также ее распределение вдоль контролируемого участка может быть выполнено с помощью мобильной измерительной лаборатории.

Если отсутствует возможность использовать универсальную мобильную лабораторию электрохимзащиты, то для проведения контроля состояния изоляционного покрытия необходимо подготовить соответствующее оборудование, приборы и материалы.

В качестве источника постоянного тока может быть использован любой источник, обеспечивающий требуемую силу тока (например, аккумуляторная батарея, сварочный агрегат, выпрямитель и т.д.).

В цепь источника должен быть включен амперметр и устройство для плавного регулирования силы тока (реостат или устройство стабилизации постоянного тока).

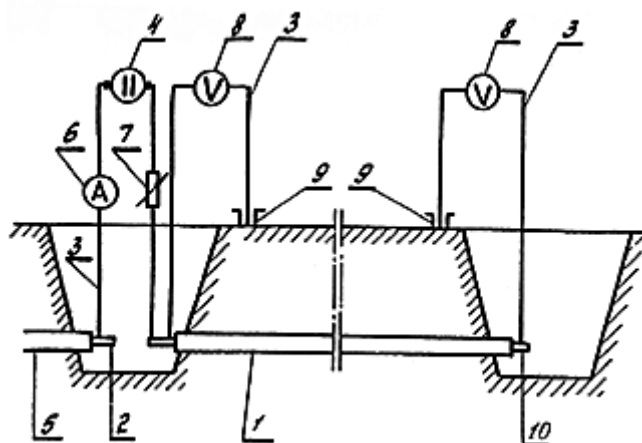


Рис. 11. Схема подключения источника тока и измерительных приборов к контролируемому участку с использованием в качестве временного заземления соседнего участка трубопровода.

1 - испытуемый участок изолированного трубопровода; 2 - начало трубы; 3 - соединительные провода (кабели); 4 - источник постоянного тока; 5 - соседний участок трубопровода (временное заземление); 6 - амперметр; 7 - регулируемый резистор; 8 - вольтметр; 9 - медносульфатный электрод сравнения; 10 - конец трубы.

Временное заземление монтируют на расстоянии 200...400 м от трубопровода в местах с возможно меньшим удельным сопротивлением, которые, как правило, расположены в низких местах.

Если нет специальных переносных заземлителей, то временное анодное заземление допускается выполнить из отрезков некондиционных труб, уголка, рельсов, полосы и т.п.

Переходное сопротивление временного заземления должно обеспечивать протекание в цепи тока требуемой величины и может быть рассчитано по формулам, приведенным в приложении 5.

Временное заземление используют только при испытании изоляции методом катодной поляризации.

Место установки временного заземления рекомендуется выбирать так, чтобы при его помощи можно было испытать два соседних участка.

В качестве заземления целесообразно использовать имеющиеся анодные заземления установки катодной защиты (УКЗ) другого трубопровода или вновь построенное заземление УКЗ данного участка трубопровода.

Примечания:

1. Для короткого участка расположение анодного заземления относительно концов трубы не влияет на результаты контроля.

2. При использовании имеющегося анодного заземления оно должно быть подключено через источник тока или имеющуюся катодную станцию только к испытываемому участку, а в цепь поляризации должен быть включен амперметр или шунт.

Допускается удалять точки подключения поляризующего источника тока (точки дренажа) от начала участка на расстояние, не превышающее 0,1 длины испытываемого участка, но не более 2 км.

При разработке проекта производства работ необходимо определить протяженность контролируемых участков и сроки проведения контроля, исходя из условий строительства.

3. ИСПЫТАНИЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ КАТОДНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Последовательность проведения испытаний

а) измеряют естественную разность потенциалов труба-земля в конце участка. При измерениях источник постоянного тока должен быть выключен;

б) включают источник постоянного тока, устанавливают требуемую силу тока (силу тока определяют по номограммам (табл. 1) и поддерживают ее постоянной в течение всего периода испытаний;

в) по истечении 3 ч поляризации измеряют разность потенциалов труба-земля в конце участка и заполняют акт испытаний (приложение 6).

Если испытываемый участок трубопровода находится под катодной защитой (с помощью перемычек или другим способом), то эта защита должна быть отключена не менее чем за трое суток до измерения естественной разности потенциалов труба-земля, а перемычки разомкнуты.

Измерения разности потенциалов труба-земля

Все измерения разности потенциалов труба-земля выполняют относительно любого переносного насыщенного медносульфатного электрода сравнения (например ЭМС-0,4 «Менделеевец»).

Измерения разности потенциалов труба-земля рекомендуется производить мультиметром со входным сопротивлением в режиме измерения постоянного тока не менее 10 Мом (например мультиметр АММ-1009 производства АКТАКОМ).

Медносульфатный электрод сравнения устанавливают около трубопровода. Грунт в месте установки электрода увлажняют.

Если медносульфатный электрод сравнения приходится размещать в грунтах с удельным электрическим сопротивлением более 100 Ом·м, то для увлажнения рекомендуется применять подсолненную воду (5-ти процентный раствор хлористого натрия).

Если верхний слой почвы находится в мерзлом состоянии, то место установки электрода сравнения увлажняют тем же раствором.

При проведении измерений на участках длиной более 4 км рекомендуется использовать средства связи (телефон, радиосвязь).

Измерения разности потенциалов в зоне действия блуждающих токов

При расположении контролируемого участка в зоне действия блуждающих токов длина участка не должна превышать 25 км.

Разность потенциалов труба-земля по отношению к медносульфатному электроду сравнения в зоне действия блуждающих токов может измеряться мультиметром – регистратором. Таким прибором может быть APPA-109N USB (Госреестр) с регистратором на 40000 измерений, выбором интервала измерений и возможностью связи с компьютером.

Допускается применение любых самопишущих приборов с внутренним сопротивлением не менее 10 МОм с регистрацией показаний через 30...60 с.

При возникновении блуждающих токов, вызываемых электрифицированной железной дорогой, время измерений должно быть не меньше периода, за который проходят три поезда по одной колее в одном направлении, но не менее 30 мин. и не более 5 ч.

В расчете по формуле (1) принимают средние арифметические значения измеренных потенциалов (с учетом знака) вычисленные по формуле:

$$U = \frac{U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n}{n}, \quad (5)$$

где $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ - разности потенциалов труба-земля, измеренные в одной точке трубопровода, В;

n - количество измерений за выбранный период времени.

По формуле (5) вычисляют разности потенциалов при включенном ($U_{тзи}$) и выключенном ($U_{тзе}$) источнике тока.

За естественную разность потенциалов труба-земля принимают разность потенциалов, измеренную при выключенном источнике тока. Эту разность потенциалов измеряют накануне испытаний одновременно на обоих концах контролируемого участка.

За конец участка рекомендуется принимать тот, на котором изменение потенциалов менее интенсивное.

При блуждающих токах, вызванных электрифицированной железной дорогой, измерение естественной разности потенциалов и разности потенциалов при катодной поляризации рекомендуется проводить в период суток, который характеризуется наименее напряженным графиком движения поездов или во время длительных перерывов в движении (окнах).

В зоне действия интенсивно меняющихся блуждающих токов (разность потенциалов труба-земля при выключенном источнике тока изменяется более чем на 0.4 В) измерения выполняются с применением прерывистого тока.

Источник поляризации выключают после поляризации (в соответствии с п.3.2). Периодические операции включения и выключения источника тока должны проводиться не менее 5 раз с интервалами не менее 30 с.

Необходимо точно согласовать время включения и выключения тока поляризующего источника со временем регистрации измерения разности потенциалов на конце участка. Рекомендуется использовать средства связи (телефон, радиосвязь).

Смещение разности потенциалов труба-земля определяют как среднее арифметическое из смещений, соответствующих моменту включения и выключения тока поляризующего источника по формуле:

$$U_{тз} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{i=N} (U_{тзи} - U_{тзи}), \quad (6)$$

где $U_{тзi}$, $U_{тз0i}$ - соответственно разности потенциалов труба-земля, измеренные при включенном и выключенном источнике катодной поляризации в i -ый момент времени, В;

N - количество парных измерений.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В ИЗОЛЯЦИИ

Если в результате контроля изоляционного покрытия установлено неудовлетворительное состояние, то необходимо найти место дефектов и повреждений в изоляции.

Поиск дефектов по всему участку в изоляционном покрытии ведут с поверхности грунта искателем повреждений ИПИ-95К, АНПИ - К или другими искателями повреждений.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении работ по контролю состояния изоляции законченных строительством участков катодной поляризацией соблюдение правил техники безопасности является обязательным. Необходимо руководствоваться следующими нормативными документами:

- Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правилами техники безопасности при эксплуатации установок потребителей;
- Правилами устройства электроустановок;
- СНиП III-4-80-11-80. Техника безопасности в строительстве;
- Правилами безопасности в нефтегазодобывающей промышленности;
- Инструкциями заводов-изготовителей оборудования, используемого при контроле качества изоляционного покрытия.

Приложение 1

Значения средних толщин стенки трубы для различных диаметров трубопроводов

Диаметр трубопровода, мм	Толщина стенки трубы, мм	Диаметр трубопровода, мм	Толщина стенки трубы, мм
114	8	351	11
127	8	377	11
141	9	426	11
146	9	477	11
159	9	529	11
168	10	620	11
180	10	720	11

194	10	820	12
219	10	920	13
245	10	1020	14
273	10	1220	16
325	10	1420	18

Приложение 2

Смещение разности потенциалов труба-земля $U_{\text{тз}}$ для удельного электрического сопротивления $\rho_{\text{г}}$ грунта более 50 Ом·м

Таблица 2.1

Длина контролируемого участка - 4...50 км.

Оценка состояние покрытия - удовлетворительное.

Сопротивление изоляции - 10 000 Ом · м² .

Среднее удельное сопрот. грунта $\rho_{\text{г}}, \text{Ом}\cdot\text{м}$	Величина $U_{\text{тз}}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм								
	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
70	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41
80	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41
90	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
100	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
120	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41
150	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41
200	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
300	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,41	0,41	0,42
400	0,41	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,43	0,44
500	0,41	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,45
600	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,46	0,47
700	0,41	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,47	0,48
800	0,41	0,42	0,43	0,43	0,45	0,45	0,47	0,48	0,50
900	0,42	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,50	0,52
1000	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51	0,53
1200	0,42	0,44	0,45	0,46	0,48	0,49	0,51	0,54	0,54
1500	0,43	0,45	0,46	0,48	0,51	0,53	0,55	0,58	0,62
2000	0,45	0,47	0,49	0,51	0,55	0,57	0,61	0,66	0,71

2500	0,46	0,49	0,52	0,55	0,60	0,64	0,68	0,74	0,81
3000	0,47	0,51	0,55	0,58	0,65	0,67	0,75	0,83	0,91
4000	0,51	0,56	0,61	0,66	0,75	0,79	0,90	1,01	1,12
6000	0,57	0,65	0,70	0,82	0,97	1,03	1,20	1,38	1,57
8000	0,64	0,75	0,87	0,98	1,20	1,27	1,52	1,77	2,02
10000	0,71	0,86	1,01	1,16	1,43	1,54	1,85	2,17	2,50

Таблица 2.2

Длина контролируемого участка - 4...50 км.

Оценка состояние покрытия - хорошее.

Сопротивление изоляции - 10 000 Ом·м².

Среднее удельное сопрот. грунта ρ_r , Ом·м	Величина $U_{тз}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм								
	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
50	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56
60	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56
70	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56
80	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56
90	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56
100	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
120	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
150	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57
200	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57
300	0,55	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,58	0,59
400	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60
500	0,56	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62,
600	0,56	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64
700	0,57	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,64	0,66
800	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69
900	0,57	0,58	0,59	0,62	0,63	0,63	0,65	0,68	0,71
1000	0,58	0,59	0,60	0,61	0,63	0,66	0,..... 7	0,70	0,73
1200	0,58	0,60	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70	0,74	0,78
1500	0,59	0,61	0,64	0,66	0,70	0,72	0,75	0,80	0,85
2000	0,61	0,64	0,67	0,70	0,76	0,78	0,84	0,91	0,98
2500	0,63	0,56	0,71	0,75	0,82	0,85	0,93	1,02	1,11
3000	0,65	0,70	0,75	0,80	0,89	0,92	1,03	1,14	1,25
4000	0,69	0,76	0,84	0,91	1,03	1,08	1,23	1,39	1,54
6000	0,78	0,90	1,01	1,13	1,33	1,41	1,65	1,90	2,15
8000	0,86	1,04	1,20	1,35	1,64	1,75	2,09	2,43	2,78
10000	0,97	2,18	1,39	1,59	1,97	2,11	2,55	2,99	3,44

Таблица 2.3

Длина контролируемого участка - менее 4 км.
 Оценка состояния покрытия - удовлетворительное.
 Сопротивление изоляции - $10\,000\text{ Ом}\cdot\text{м}^2$.

Среднее удельное сопрот. грунта	Величина $U_{\text{тз}}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм									
	$\rho_{\text{г}}$, Ом·м	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
50	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71
60	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71
70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71
80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71
90	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71
100	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
120	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72
150	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72
200	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73
300	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74
400	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,74	0,76	0,77
500	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,76	0,78	0,79
600	0,72	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,78	0,80	0,82
700	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,78	0,78	0,80	0,82	0,84
800	0,72	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,79	0,81	0,84	0,87
900	0,73	0,74	0,76	0,77	0,80	0,81	0,81	0,83	0,87	0,90
1000	0,73	0,75	0,77	0,78	0,81	0,82	0,82	0,85	0,89	0,93

Таблица 2.4

Длина контролируемого участка - менее 4 км.
 Оценка состояние покрытия - хорошее.
 Сопротивление изоляции - $10\,000\text{ Ом}\cdot\text{м}^2$.

Среднее удельное сопрот. грунта	Величина $U_{\text{тз}}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм									
	$\rho_{\text{г}}$, Ом·м	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01
60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
70	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
80	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02
90	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02
100	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02
120	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03
150	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
200	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04
300	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06
400	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06	1,08	1,10

500	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56
600	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56
700	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56
800	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56
900	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57
1000	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57
1200	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57
1500	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58
2000	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57	0,58	0,59	0,59
2500	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60
3000	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62
4000	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60	0,62	0,63	0,65
6000	0,57	0,58	0,60	0,61	0,63	0,64	0,66	0,68	0,71
8000	0,58	0,60	0,61	0,63	0,66	0,67	0,70	0,74	0,77
10000	0,59	0,61	0,63	0,65	0,68	0,70	0,75	0,79	0,84

Таблица 2.7

Длина контролируемого участка - менее 4 км.

Оценка состояния покрытия - удовлетворительное.

Сопротивление изоляции - $100\ 000\ \text{Ом}\cdot\text{м}^2$.

Среднее удельное сопрот. грунта	Величина $U_{\text{тз}}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм								
	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
$\rho_{\text{Г}}, \text{Ом}\cdot\text{м}$									
300	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
400	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,72
500	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71
600	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71
700	0,70	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
800	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72
900	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72
1000	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72
1200	0,70	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73
1500	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74
2000	0,71	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,75
2500	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,77
3000	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79
4000	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79	0,80	0,83
6000	0,73	0,74	0,76	0,77	0,80	0,82	0,84	0,87	0,90
8000	0,74	0,76	0,78	0,80	0,84	0,87	0,90	1,94	1,98
10000	0,75	0,78	0,80	0,83	0,87	0,90	0,95	1,01	1,07

Таблица 2.8

Длина контролируемого участка - менее 4 км.

Оценка состояния покрытия - хорошее.

Сопrotивление изоляции - 100 000 Ом·м.

Среднее удельное сопрот. грунта ρ_{Γ} , Ом·м	Величина $U_{\Gamma 3}$ (В) для различных диаметров трубопровода в мм								
	219	325	426	529	720	820	1020	1220	1420
300	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
400	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01
500	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01
600	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
700	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
800	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02
900	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,02
1000	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
1200	1,01	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03
1500	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,06
2000	1,01	1,02	1,02	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,08
2500	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10
3000	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,09	1,11	1,13
4000	1,03	1,04	1,05	1,06	1,09	1,10	1,12	1,15	1,18
6000	1,04	1,06	1,08	1,10	1,14	1,16	1,20	1,25	1,29
8000	1,06	1,09	1,12	1,15	1,20	1,22	1,28	1,34	1,41
10000	1,08	1,11	1,15	1,19	1,26	1,28	1,36	1,44	1,53

Приложение 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА

При изменении удельного электрического сопротивления грунта вдоль контролируемого участка среднюю величину определяют по формуле:

$$\bar{\rho}_{\Gamma} = \frac{L^2}{\left(\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\sqrt{\rho_{\Gamma i}}} \right)^2}, \quad (3.1)$$

где L - длина контролируемого участка км;

l_i - длина i -го участка с удельным электрическим сопротивлением грунта $\rho_{\Gamma i}$.

Приложение 4

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА ПО ПАДЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЯ

Силу тока I в трубопроводе по результатам измерения падения напряжения определяют по формуле:

$$I = \frac{\Delta U 10^{-3}}{r l}, \text{ А}, \quad (4.1)$$

где ΔU - падение напряжения на участке трубопровода длиной l (м), мВ;
 r - продольное сопротивление трубопровода (Ом/м), вычисляемое по формуле:

$$r = \frac{\rho_c}{\pi D \delta}, \text{ Ом,м}, \quad (4.2)$$

где ρ_c - удельное электрическое сопротивление трубной стали, Ом·мм²/м;

D - диаметр трубопровода, мм;

δ - толщина стенки трубопровода, мм.

Величина удельного электрического сопротивления различных марок трубной стали приведена в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Удельное электрическое сопротивление различных марок трубной стали

Марка трубной стали	Удельное электрическое сопротивление трубной стали, Ом·мм ² /м
17ГС	0,234
17Г2СФ	0,232
08Г2СФ	0,230
18Г2	0,207
18Г2САФ	0,252
18ХГ2САФ	0,246
15ГСТЮ	0,266
СТЗ	0,207

Для проведения измерений на расстоянии 10 м от точки дренажа выполняют следующие операции:

- отрывают первый шурф;
- на некотором расстоянии от первого шурфа отрывают второй;
- снимают изоляцию с поверхности трубопровода ($S \cong 1,0 \text{ дм}^2$);

- к трубопроводу с помощью термитной сварки подсоединяют измерительный прибор посредством изолированного гибкого провода сечением не менее 0,5 мм².

В качестве измерительного прибора может быть использован любой милливольтметр постоянного тока со шкалой до 200 мВ (например, мультиметр типа АММ-1009 или другие).

Расстояние между шурфами рекомендуется выбирать равным 500 или 1000 м. Для измерения силы тока в трубопроводе могут быть использованы имеющиеся катодные выводы, при этом расстояние между шурфами определяется расположением указанных выводов.

Приложение 5

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Переходное сопротивление временного заземления должно быть не больше величины, рассчитанной по формуле:

$$R = 0,5 \frac{V}{I}, \text{ Ом}, \quad (5.1)$$

где V - минимальное напряжение на выходе источника постоянного тока, В;
 I - требуемая для контроля сила тока, А.

Переходное сопротивление многоэлектродного заземления равно:

$$R = 1,5 \frac{R_1}{N}, \quad (5.2)$$

где R_1 - переходное сопротивление одиночного заземлителя, Ом;
 N - количество заземлителей в заземлении.

Переходное сопротивление одиночных горизонтального и вертикального заземлителей рассчитывают по формуле:

$$R_1 = 0,21 \frac{\rho_r \ln \frac{2l_3}{d_3}}{l_3}, \quad (5.3)$$

где ρ_r - удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м;

l_3 - длина электрода, м;

d_3 - диаметр электрода, м.

Переходное сопротивление заземления в виде протяженного цилиндрического электрода равно:

$$R = \frac{\rho_r \ln \frac{l_3}{\pi h d_3}}{\pi l_3}, \quad (5.4)$$

где h - глубина заложения электрода, м.

Если установленного количества электродов недостаточно для обеспечения заданной силы тока в цепи источника тока, то дополнительное количество электродов рассчитывается по формуле:

$$N_d = N \left(\frac{R_\phi}{R_n} - 1 \right), \quad (5.5)$$

где N_d - дополнительное количество электродов, шт;
 N - фактически установленное количество электродов, шт;
 R_n, R_ϕ - необходимое и фактическое (соответственно) переходное сопротивление заземления, Ом.

Приложение 6

Строительство _____

Трест _____ Заказчик _____

СМУ (СУ) _____

АКТ

определения состояния изоляционного покрытия
участка _____ провода
методом катодной поляризации

" ____ " _____ 199 г.

Мы, _____ нижеподписавшиеся, _____ представитель
заказчика _____ (ф.и.о.,
должность)

и _____ представитель _____ подрядчика
_____ (ф.и.о.,
должность)

составили настоящий акт в том, что в период с
_____ по
_____ 199 г. были проведены испытания методом катодной
поляризации
участка (начало _____ км, конец _____ км);

общей протяженностью _____ км, диаметр трубы _____ мм;

толщина стенки _____ мм; вид, тип и конструкция изоляционного
покрытия

_____;

требуемое сопротивление изоляции _____ Ом·м²;
среднее

удельное электрическое сопротивление грунта _____ Ом·м;

Дата начала _____ и окончания засыпки _____.

Место подключения источника постоянного тока _____ км;

напряжение на выходе источника _____ В.

Результаты измерений

Время измерения	Сила тока, А	Разность потенциалов труба - земля, В		
		Естественная	При включенном источнике тока	Смещение

Заключение:

состояние _____ изоляции _____

(хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное)

Подписи лиц, проводивших измерения: _____ / _____ /
_____ / _____ /

При интенсивных блуждающих токах в Акте определения состояния изоляционного покрытия результаты измерений заносятся в таблицу по следующей форме:

Результаты измерений

Время измерения	Сила тока, А	Разность потенциалов труба - земля, В		
		При выключенном источнике тока	При включенном источнике тока	Смещение