ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
„ВНИИСТ“

МОСКВА

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ

Зам.директора института
по научной работе, к.т.н.
К.И.Зайцев
"8" дек 1987г.

СПИСОК СОГЛАСОВАНИЯ

Методика расчета единичных показателей коррозионной безотказности линейной части трубопроводов

разработанного Отделом качества строительства трубопроводов (ОКС)

по заданию 3.4.II.I

№№ п.п.	Наименование подразделения	Подпись при поручении согласования	Ф.И.О. согласующего	Дата согласования	Подпись согласующего
I	2	3	4	5	6
I.	Отдел технологии и организации строительства магистральных трубопроводов (ОМТ)		Карпенко	7.12.87	нужен пример расчета.
2.	Отдел технологии и организации строительства промысловых трубопроводов (ОПТ)		Габелая	07.12.87	
3.	Отдел прочности и надежности конструкций трубопроводов (ОПН)		Федоров Е.И.	7.12.87	
4.	Лаборатория разработки и внедрения природосберегающих методов в трубопроводном строительстве (ЛПМ)		Семенов	7.12.87	
5.	Отдел охраны труда (ООТ)		Благовещенский	7.12.87	

I	2	3	4	5	6
6.	Отдел электрохимической защиты трубопроводов (ОЭЗ)	[signature]	Глазов К.И.	7.12.87.	[signature]
7.	Лаборатория стандартизации			7.12.87.	[signature]

Заключение лаборатории стандартизации.

Замечание М.П. Карпенко учтено. Пример расчета дан в приложении. Документ соответствует тем./плану. Рекомендуется перед изданием переработать во "Временную инструкцию".

[signature]

Министерство строительства предприятий нефтяной
и газовой промышленности

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

УТВЕРЖДАЮ
Зам.директора института
по научной работе, к.т.н.
_____ К.И.Зайцев
"__" _____ 1987г.

М Е Т О Д И К А

расчета единичных показателей коррозионной безотказности линейной части трубопроводов

Р - 625-87

Зав. отделом качества
строительства трубо-
проводов ВНИИСТ
_____ В.Ф.Чабуркин

Зав.лабораторией ка-
чества строительст-
монтажных работ
ВНИИСТ
_____ В.П.Шишов

Москва 1987г.

А Н Н О Т А Ц И Я

Методика посвящена вопросам оценки и прогнозирования показателей надежности линейной части подземных трубопроводов, а также ретроспективной оценки качества защиты трубопроводов от почвенной коррозии.

Наличие большого числа причин и факторов, вызывающих отказы трубопроводов обуславливает дифференцированный подход к прогнозированию показателей надежности по основным влияющим факторам. Цель данной методики - учесть при оценке надежности факторы, вызывающие энтропийный износ изоляционных покрытий и стенки трубопровода. Для повышения достоверности прогнозных оценок в методике использованы вероятностные методы на основе статистической информации.

Методика содержит справочные материалы, необходимые для расчетов. Предназначена для научных, проектных, строительных и эксплуатационных организаций, а также контрольных и инспекционных служб, может быть использована для установления показателей надежности как для вновь создаваемых и проектируемых трубопроводов, так и для действующих трубопроводов с целью обеспечения их безопасной работы.

Методика разработана сотрудниками ВНИИСТ: к.т.н.Чабуркиным В.Ф., к.ф.-м.н. Рольбиным Ю.А., инж. Шишовым В.Н., Левитиной Г.Е.

Замечания и предложения направлять по адресу: 105058, Москва, Окружной пр., 19, ВНИИСТ (ОКС).

стр.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения .....
2. Оценка показателей надежности элемента ЛТР.....
3. Оценка уровня качества изоляционно-укладочных работ по ре-. зультатам эксплуатации .....
4. Прогнозирование показателей надежности элемента ЛТР .....
5. Литература .....
6. Приложения .....

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Методика расчета единичных показателей коррозионной безотказности линейной части трубопроводов	Р - _____ впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Линейная часть подземных стальных магистральных трубопроводов являясь строительным сооружением, в тоже время входит составным элементом в комплекс технологического оборудования для транспорта нефти, газа и нефтепродуктов.

Как сооружение ЛТР характеризуется показателями конструктивной надежности, а как элемент технологического комплекса магистрального трубопровода, ЛТР должна характеризоваться показателями надежности, устанавливаемыми для всех его составных частей: собственно подземного трубопровода, перекачивающих станций, запорной арматуры и пр.

I.2. Надежность ЛТР в эксплуатации, характеризуемая отказами, зависит от множества причин: дефектов труб, сварных соединений, изоляционного покрытия, траншеи, балластировки, электрохимзащиты и т.д. Наступающая в результате их потеря прочности или герметичности трубопровода обусловлена ослаблением сечения трубы под действием таких факторов, как потеря устойчивости, усталостные деформации, развитие дефектов под воздействием нагрузок, почвенная коррозия, внутренняя коррозия и эрозия и др.

I.3. Для интегральной оценки надежности ЛТР с учетом всех воздействующих факторов необходимо определение показателей надежности дифференцировано по каждому фактору или группе однородных факторов.

I.4. Цель настоящей методики - определение показателей надежности ЛТР с учетом факторов почвенной коррозии и причин ее вызывающих (качества изоляционно-укладочных работ и эффективности электрохимзащиты),

Внесено ВНИИСТом	Утверждено ВНИИСТом "____" 198 г.	Срок введения "____" 198 г.

характеризуемых в дальнейшем как " критерий почвенная коррозия".

I.5. Методика устанавливает единый подход к определению видов показателей надежности для конструктивных элементов и линейной части трубопровода (ЛТР) в целом, и методы оценки и прогозирования этих показателей по критерию "почвенная коррозия".

I.6. Под оценкой показателей надежности ЛТР подразумевается их определение вероятностно-статистическими методами по результатам ретроспективного анализа данных об отказах по критерию "почвенная коррозия"

Оценка показателей надежности ЛТР производится с целью определения фактической надежности действующих трубопроводов, эффективности используемых средств и методов защиты от почвенной коррозии, их совершенствования и уточнения показателей надежности при разработке, проектировании и строительстве новых трубопроводов по мере накопления статистической информации об отказах.

I.7. Прогнозирование показателей надежности ЛТР по критерию "почвенная коррозия" - есть их определение для проектируемых, сооружаемых или эксплуатируемых трубопроводов методами аналитического расчета физико-химических процессов старения изоляционных покрытий и коррозионного износа металла трубопроводов с использованием методов дисперсионного анализа этих процессов для повышения достоверности прогнозирования и учета множества случайных воздействующих факторов.

Прогнозирование показателей надежности ЛТР производится при:

- разработке технических заданий на создание, освоение производства и внедрения новых материалов, готовых изделий, технологических процессов для трубопроводного строительства;
- разработке и проектировании новых систем линейной части магистральных трубопроводов;
- выборе оптимальных вариантов материалов, технологий и т.п. и определении перспективных направлений развития трубопроводного строи-

тельства с учетом почвенно-климатических условий строительства и эксплуатации;

- прогнозировании и планировании технического уровня и качества технологии конструкции трубопроводов, материалов и пр.;

- обследовании и анализе состояния трубопроводов: вводимых в строй и эксплуатируемых, для оценки сроков и условий безопасной эксплуатации, планирования объемов, видов и сроков проведения обследований и ремонтно-профилактических работ и мероприятий.

I.8.Линейная часть магистрального трубопровода является протяженным технически сложным объектом. При определении показателей надежности в ней следует различать: единичный элемент, трубопровод в целом (всю его линейную часть) и совокупность трубопроводов, образующих систему.

I.9.Единичный элемент (в дальнейшем именуемый элементом) $\ell_э$ - это часть ЛТР такой протяженности, на которой показатели безотказности p_i в выбранной фиксированной точке произвольно взятого элемента не коррелированы (стохастически не связаны) с показателями безотказности p_{i+1} или p_{i-1} для соответствующей точки любого из двух соседних элементов.

Обязательным условием выбора элементов $\ell_э$ является условие их однородности на участках ЛТР без разветвлений, между двумя соседними крановыми узлами, перекачивающими, компрессорными станциями или станциями катодной защиты (выбирается из задач расчета и особенностей эксплуатации) или границами почвенных зон с различными характеристиками коррозионной активности грунтов.

Признаками однородности элементов по фактору "почвенная коррозия" являются:

принадлежность грунтов к одной группе коррозионной активности (засоленность, влажность, тип грунта, его температура, структура грунта, наличие в грунте бактерий,);

тип изоляционного покрытия;
диаметр и толщина стенки трубопровода.

лина элемента может колебаться в довольно широких пределах. Точность достоверность задаваемой величины элемента зависит от методов и средств змерения перечисленных признаков однородности.

I.IO. Трубопровод – совокупность элементов ЛТР, $L_т$, образующих средство транспорта продукта от места забора (УКПГ, отвод, хранилище и пр.) о потребителя (ГРС, хранилище ТЭЦ и пр.) в однониточном исполнении, имеющее наименование.

$$L_т = \sum_{j=1}^{m} \ell_j \qquad (1)$$

I.II. Система трубопроводов, $L_{ст}$, совокупность трубопроводов, образующих систему транспорта продукта, например: многониточная система трубопроводов, система газо или нефтеснабжения региона и т.п.

2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТА ЛТР.

2.1. Оценка показателей надежности элемента ЛТР, производятся методами теории вероятностей и математической статистики /I/.

2.2. Задача оценки показателей надежности элемента ЛТР состоит в том, чтобы на основе анализа выборки (отказов для элемента ЛТР по причине почвенной коррозии) из генеральной совокупности (всех отказов на рассматриваемом участке ЛТР), сделать научно-обоснованное заключение о распределении плотности вероятностей этих отказов и его параметрах, на основании которых и определяются показатели надежности элемента ЛТР.

2.3. В качестве исходных данных для проведения расчетов с целью оценки показателей надежности элемента ЛТР по критериям коррозионной безотказности используется информация об отказах трубопроводов по причине почвенной коррозии.

Перечень необходимых сведений (исходных данных) об отказах приведен в *приложении I*.

2.4. Все отказы, относящиеся к почвенной коррозии представляют собой генеральную совокупность исходных данных. При формировании выборки из генеральной совокупности отказов следует руководствоваться следующими правилами:

все отказы по причине почвенной коррозии подразделяются по типам изоляционных покрытий, почвенно-климатическим зонам, диаметру и толщине стенки трубопровода.

2.5. Полученные выборки из статистики отказов проверяются на достаточность (полноту и представительность) в соответствии с р.20.2 /I/. Для выборок, удовлетворяющих требованиям достаточности строятся гистограммы по критериям наработки до отказа. Общие правила построения гистограмм изложены в /2/.

2.6. Полученную выборку отказов следует относить к условному единичному элементу.

2.7. Существующая в настоящее время в службах эксплуатации практика замены при отказах некоторого участка трубопровода позволяет в первом приближении за условный элемент принять длину восстанавливаемого участка $\ell_в$ = 100м из условия:

$$\ell_в = M(\ell_в) + 2\sigma_в \qquad (2)$$

где: $M(\ell_в)$ – математическое ожидание длины восстанавливаемого участка ЛТР;

$\sigma_в$ – среднее квадратическое отклонение

$[M(\ell_в)+2\sigma_в]$ соответствует вероятности $P = 0.95$ для нормального закона распределения случайной величины $\ell_{в_i}$.

2.8. При построении гистограммы наработки до отказа должно учитываться общее число условных элементов на рассматриваемом участке ЛТР. Для этого при переходе к функции плотности вероятностей общее число отказавших условных элементов n_{0_i} за i-ый период эксплуатации (обычно за один год) должно быть отнесено к общему числу элементов выбранного участка $N_э$ ($n_i/N_э$), а не к общему числу отказавших элементов за все время N_Σ, т.к. это может привести к значительному занижению характеристик надежности.

Однако на показатели надежности элемента ЛТР данного участка с определенного периода времени начинают оказывать воздействие плановые капитальные ремонты с заменой труб. Для учета влияния ремонтов на относительное число отказов вводится корректирующая функция вида $(\sum_{i=1}^{i=t} n_{p_i} - \sum_{i=1}^{i=t} n_{0_i})$. Тогда относительное приведенное число отказов на i-ый год определяется как:

$$n_0^{пр}(t) = n_{0_i}/N_э - \left(\sum_{i=1}^{i=t} n_{p_i} + \sum_{i=1}^{i=t} n_{0_i}\right) \qquad (3)$$

где: p_i – количество отремонтированных элементов за i-ый год.

Итоговая гистограмма наработки до отказа элемента ЛТР строится в координатах $\{n_0^{пр}(t);\ t\}$.

Пример формирования однородной выборки и построения гистограммы наработки рассмотрен в приложении 2.

2.9. Определение моментов полученного распределения: математического ожидания $m_1 = M\{\tau\}$, дисперсии $m_2 = D\{\tau\}$, коэффициента ассиметрии m_3 и эксцесса m_4 производится в соответствии с общими правилами, изложенными в р.6/I/.

2.10. Определение вида (закона) полученного распределения. Физические явления энтропийного характера износа (старение, коррозия и т.п.), происходящие в сложных технических системах, описываются в основном /3/ двумя законами: нормальным и гамма-распределением. Принадлежность конкретного распределения к тому или иному виду устанавливается в зависимости от величины K, определяемой из выражения

$$K = M\{\tau\} / \sqrt{D\{\tau\}}$$

При $K \leq 3.5$ принимается закон "гамма-распределение", при $K > 3,5$ – нормальный.

2.11. Средняя наработка до отказа $t_э$ (определяется для элемента ЛТР) – это математическое ожидание наработки элемента до первого отказа

$$t_э = M\{\tau\} = \left(\sum_{i=1}^{k} n_i \tau_i / n \right) \qquad (4)$$

где: τ_i – наработка до первого отказа i-го элемента;

n_i – относительная частота i-го элемента

$n = n_1 + n_2 + \ldots n_k$

2.12. На основании полученных оценок математического ожидания $M\{\tau\}$ и дисперсии $D\{\tau\}$ наработки до отказа определяем параметры распределения:

2.12.1. Для нормального (см.п.2.9.) распределения параметры c и σ определяются из условия

$$\begin{cases} M\{\tau\} = c \\ D\{\tau\} = \sigma^2 \end{cases} \qquad (5)$$

где: σ – среднее квадратическое отклонение (СКО) наработки.

2.12.2. Для гамма-распределения (см.п.2.9.) параметры z и λ определяются из условия

$$\begin{cases} m_1 = M\{\tau\} = \frac{r}{\lambda} + t_0 \\ m_2 = D\{\tau\} = \frac{r}{\lambda^2} \\ m_3 = 2r/\lambda^3 \end{cases} \qquad (6)$$

где t_0 – порог чувствительности.

Приравнивая найденные из опытных данных значения $\bar{\tau} = M\{\tau\}$; $S_2^2 = D\{\tau\}$; m_3 соответствующим теоретическим значениям моментов, имеем:

$$\begin{cases} \lambda = 2S_2^2/m_3 \\ r = 4[S_2]^2/(m_3)^2 \\ t_0 = \bar{\tau} - 2[S_2^2]^2/m_3 \end{cases} \qquad (7)$$

2.13. Вероятность безотказной работы за время t_i элемента ЛТР $P_э(t)$ определяется:

2.13.1. Для нормального закона:

$$P_э(t_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_i}^{\infty} e^{-\frac{(\tau-c)^2}{2\sigma^2}} \cdot d\tau \qquad (8)$$

или в приведенном виде (функция Лапласа)

$$\Phi(t_i) = P_э(t_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_i}^{\infty} e^{-z^2/2} \cdot dz \qquad (9)$$

где $z = \frac{\tilde{\tau}-c}{\sigma}$

Функция Лапласа табулирована для

$$P_э(t_i) = \Phi(t_i - c/\sigma) \qquad (10)$$

Таблица значений функции Лапласа приведены в /2/.

2.13.2. Для Гамма-распределения:

$$P_э(t) = 1 - \lambda^r/\Gamma(r) \int_{t_i}^{\infty} t^{r-1} \cdot e^{-\lambda t} \cdot dt \qquad (11)$$

где $t = \tau - t_0$

$\Gamma(r)$ – гамма-функция вида

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} x^{r-1} \cdot e^{-x} \cdot dx \qquad (12)$$

Для целых r:

$$\Gamma(r) = (r-1)! \qquad (13)$$

Тогда для целых r имеем:

$$P_э(t) = 1 - e^{-\lambda t} \cdot \sum_{k=0}^{r-1} \frac{(\lambda t)^k}{} \qquad (14)$$

Значения $\Gamma(z-1)=k!$ приведены в табл.I приложения 4.

2.I4. Средний срок службы $T_э$ определяется как математическое ожидание наработки до отказа для невосстанавливаемого объекта, независимо от вида распределения

$$T_э = t_э = M[t] \qquad (15)$$

3. ОЦЕНКА УРОВНЯ КАЧЕСТВА ИЗОЛЯЦИОННО-УКЛАДОЧНЫХ РАБОТ.

3.I. Показатель качества $K_{из}$ изоляционно-укладочных работ определяется путем сопоставления фактического начального переходного сопротивления $R_{п.н.}^{факт}$ с нормативным $R_{п.н.}^{норм}$, определяемого по ГОСТ 25812-83.

$$K_{из} = \frac{R_{п.н}^{факт}}{R_{п.н.}^{норм}} \qquad (16)$$

3.2. Фактическое начальное переходное сопротивление может быть оценено, исходя из измеренного переходного сопротивления $R_п(t_i)$ в момент времени t_i, из выражения

$$R_{п.н.} = \frac{R_п(t_i)^{\left(1+\frac{t_i}{T_e}\right)}}{R_{п.к.}^{t_i/T_e}} \qquad (17)$$

где T_e - постоянная времени старения изоляционного покрытия в зависимости от типа изоляционного покрытия и удельного сопротивления грунта (см, табл. 3 приложения 4);

$R_{п.к.}$ - конечное переходное сопротивление труба-земля, определяется по номограмме (см.рис.I приложения 4)

Ввду того, что значения T_e и $R_{п.к.}$ представлены интервальными оценками (например $R_{п.к.}(\rho_г, \mathcal{D}_т)$), то целесообразно определить интервал возможных значений $R_{п.н.}$

4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТА ЛТР.

4.1. Для прогнозирования показателей надежности элемента ЛТР могут быть использованы аналитические зависимости протекания энтропийных процессов в изоляционных покрытиях и металле трубопроводов под воздействием почвенной коррозии.

4.2. Процесс старения изоляционных покрытий происходит по экспоненциальному закону и описывается выражением /5/

$$t_{из} = \frac{T_c[\ln R_{н.н.} - \ln R_{от}]}{\ln R_{от} - \ln R_{к.к.}} \qquad (18)$$

где $t_{из}$ – время достижения изоляционным покрытием критического состояния, характеризуемого $R_{от}$ –критическим переходным сопротивлением изоляции, при котором начинаются активные коррозионные процессы в металле трубопровода;

Тс – постоянная времени старения изоляционного покрытия;

– соответственно, начальное и конечное переходные сопротивления.

Рекомендуемые значения $R_{от}$ и Тс для типов изоляционных покрытий и почвенно-климатических зон приведены в приложении 4)

4.3. Процесс коррозионного износа металла (стенки трубы) происходит с относительно постоянной средней скоростью, начиная со 2-3 года /11/, определяемой коррозионной активностью грунтов, описывается выражением вида

$$t_{н} = \frac{\alpha\delta}{V_к} \qquad (19)$$

где: $t_{н}$ – время достижения критической глубины коррозионных каверн;

δ – толщина стенки трубопровода;

α – коэффициент критической глубины коррозионных каверн, выбираемый из анализа статистической информации о полных коррозионных отказах (см. п. 4.8.2)

$V_к$ – средняя скорость коррозии металла (мм/год) в кавернах

для рассматриваемого участка (см. приложение 4)

4.4. Общее время наступления коррозионного отказа $t_{кор.}$ определяется таким образом, как сумма

$$t_{кор} = t_{из} + t_{м} \qquad (20)$$

Выражение (20) справедливо для полных коррозионных отказов, когда процесс сплошного старения изоляционного покрытия и активных коррозионных явлений происходит последовательно. При наличии повреждений изоляционных покрытий с начала эксплуатации имеют место частичные отказы (свищи), для которых составляющую $t_{из}$ можно не учитывать.

$$t_{ио} \equiv t_{м}$$

4.5. Общепринятые аналитические выражения (18,19) не учитывают всего многообразия эксплуатационных характеристик и случайных факторов, влияющих на скорость протекания энтропийных процессов. Вследствие чего полученная точечная оценка $t_{кор}$ может существенно отличаться от фактической в обе стороны.

Для повышения достоверности прогноза надежности трубопроводов примем аналитическую оценку $t_{кор}$, как среднестатистическое время наступления отказа и введем в выражение (20) корректирующую функцию $\sigma_{кор}$, учитывающую фактические воздействия случайны факторов.

$$t_{кор} = t_{из} + t_{м} \pm \sigma_{кор} \qquad (21)$$

где: $\sigma_{кор}$- СКО наработки до коррозионного отказа.

4.6. Для определения величины $\sigma_{кор}$ используются исходные данные об отказах и условиях эксплуатации трубопроводов (см.при.I).

4.7. Определение корректирующей функции для величины $t_{из}$.

4.7.I. На достоверность расчета по (21) влияют: погрешность определения начальных и конечных условий ($R_{п.н.}$, $R_{п.к}$, $T_{г}$), а также обоснованность критерия отказа изоляционного покрытия ($R_{от}$). Область разброса $\Delta t_{из}$ возможных значений величины $t_{из}$, обуславливающая начало активных коррозионных процессов в металле трубы может быть существенно уменьшена за счет:

- более точных измерений и оценки начальных и конечных условий - $R_{п.н.}$, $\rho_{гр}$, т.к. $R_{п.к.} = f(\rho_{гр})$
- дифференцированного назначения величины $R_{от}$ (см.приложение) в зависимости от типа изоляции и почвенно-климатических зон;
- вероятностной оценки распределения величины $t_{из}$ на интервале ΔT_c.

4.7.2. Мероприятия по уточнению $R_{п.н.}$, $R_{п.к.}$, $R_{от}$ обеспечивают повышение точности оценки $t_{из}(R_{от})$ в пределе

$$|t_{из}| - |\Delta T_c| \Rightarrow min \qquad (22)$$

Чтобы доопределить величину $t_{из}$ на интервале ΔT_c воспользуемся вероятностными методами. Согласно /3/ процессы старения конструкций (в нашем случае изоляционных покрытий) подчиняются, в зависимости от скорости протекания, Гамма - или нормальному закону. Приведенные в приложении значения интервалов ΔT_c в таком случае, можно рассматривать как дисперсию времени старения изоляционного покрытия. Положим

$$\left.\begin{aligned} T_c^{max} - T_c^{min} &\approx 2\sigma \\ T_c^{max} - T_c^{min}/2 &\approx M(t_{из}) \end{aligned}\right\} \qquad (23)$$

тогда для 4-х основных типов изоляционных покрытий и 3-х групп грунтов /5/ можно построить семейство распределений, характеризующих процесс старения и для каждого распределения определить с требуемой вероятностью (95%, 99%,...) время наступления отказа изоляционного покрытия $t_{из}$ ($R_{от}$). Величина $t_{из}$ определяется из выражения

$$t_{из}(R_{от}) = M\{T_c\} - \sigma_p \qquad (24)$$

где σ_p - корректирующая функция времени старения изоляционного покрытия, найденная из номинальных начальных условий ($R_{п.н.} = R_{п.н.}^{норм}$); значения σ_p для P = 0,95;0,99 и соответствующие им $t_{из}$ приведены в прил.

4.7.3. В случае отличия значений $R_п$ от $R_{п.н.}^{норм}$ (при $R_{п.н.}^{факт} < R_{п.н.}^{норм}$ или $R_п(t) < R_п^{норм}(t)$ время $t_{из}(R_{от})$ определяется из (18) по формуле:

$$t_{из} = \frac{M[T_2](\ln R_{п.н.}^{факт} - \ln R_{ст})}{\ln R_{ст} - \ln R_{п.н.}} - \sigma_{P_i} \qquad (25)$$

где $R_{п.н.}^{факт}$ - измеренное значение переходного сопротивления для элемента $l_э$ на рассматриваемом участке трубопровода;

- для $R_п(t_i)$ при $t > 1$ года, сначала определяется $R_{п.н.}^{факт}$ ($t = 0$), см. р.5 настоящей методики, а затем по (25) находится $t_{из}$ и оставшееся время до отказа изоляционного покрытия $t_{из}^{ост} = t_{из} - t_i$.

4.8. Определение корректирующей функции для величины $t_м$

4.8.1. На достоверность прогнозирования времени коррозии металла трубы $t_м$ до полного отказа влияют:

- выбранная величина критерия отказа $\alpha_{по}$
- величина ожидаемой скорости коррозии $v_к$ (мм/год) в каверна для элемента $l_э$ на рассматриваемом участке трубопровода при уровне защищенности участка средствами ЭХЗ менее нормативного; при нормативном уровне защищенности (не менее 97% по ГОСТ 25812-83) скорость коррозии может быть принята равной /6,7,8/ 0,01÷0,03 мм/год.

4.8.2. Величина коэффициента $\alpha_{по}$, характеризующая максимальную глубину коррозионных каверн по критерию "полный отказ", принимается равной

$$\alpha_{по} = 0,75/_{p=0,95}$$

$$\alpha_{по} = 0,7/_{p=0,99} \qquad (26)$$

4.8.3. За величину ожидаемой скорости коррозии $v_к$ в каверна могут быть приняты интервалы значений $v_к$ для различных грунтовых условий, рекомендованные в /9,10/ при условии отсутствия ЭХЗ, приведенные в прил. 4. Указанным интервалам $v_к$ не противоречат результаты анализа статистики полных и частичных коррозионных отказов. Выбранную скорость коррозии $v_к$ можно считать /11/ со 2÷3^{его} года эксплуатации равномерной.

4.8.4. На интервалах своих значений V_k зависит от множества дополнительно влияющих факторов и подчиняется нормальному закону

4.8.5. Таким образом, величина t_M определяется

$$t_M = \frac{\alpha_{no}(P) \cdot \delta}{V_k(P)} \qquad (27)$$

4.9. Суммарное время $t_{кор}$ до полного коррозионного отказа элемента трубопровода определяется

$$t_{кор} = M\{T_c\} - \sigma_p + \frac{\alpha_{no}(P) \cdot \delta}{V_k(P)} \qquad (28)$$

4.10. Время $t_{кр}$ до частичного коррозионного отказа элемента определяется по (27), где $\alpha_{no} = 1$.

Пример прогнозирования показателей надежности элемента трубопровода см. приложение 3.

Литература.

I. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В. и др. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. М., "Наука", 1985.

2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М., "Высшая школа", 1977.

3. Кордонский Х.Б., Герцбах И.Б. Модели отказов. М., Сов. радио, 1966.

4. Венцель Е.С. Теория вероятностей. М., Наука, 1975

5. В.Л. Березин, К.Е. Ращепкин, Л.Г. Телегин и др. Капитальный ремонт магистральных трубопроводов. М. Недра, 1978.

6. Ачильдиев И.Я., Винокурцев Г.Г. Опыт эксплуатации и пути повышения коррозионной устойчивости подземных газопроводов Средней Азии, М., ВНИИЭгазпром. Обз. информ. Сер. транспорт и хранение газа, 1986, вып.6.

7. Baeckmann W. und Schwenk W. Handbuch des kathodischen Korrosions-schutzes. Verlag chemie, Weinheim, 1980

8. Зиневич А.М., Храмихина Б.Ф. "Воздействие катодной поляризации на стальную поверхность под пленочным покрытием. Стр-во тр-дов. №8, 1979.

9. Зиневич А.М., Гладков В.И., Котик В.Г., Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. М., Недра, 1975.

10. Храмихина В.Ф. Автореферат диссертации, М. 1970.

11. О.М. Иванцов. Надежность строительных конструкций магистральных трубопроводов. М., Недра, 1985.

Исходные данные, необходимые для оценки и прогнозирования показателей надежности линейной части трубопровода

Приложение I
Рекомендуемое

I. Конструктивные характеристики трубопровода

Табл. I п. I

№№ п/п	Наименование трубопровода	Год ввода в эксплуатацию	Климатическая характеристика периода строительства: Год строительства	Сезон	Осадки	t° окружающей среды	Геометрическая характеристика трубопровода: Диаметр мм	Толщина стенки мм	Марка стали	Почвенно-климатическая характеристика прилегания трубопровода: завод изготовитель	район строительства	тип грунта	ρ гр.	глубина залегания	заселенность	Рабочее давление
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7

2. Эксплуатационные характеристики трубопровода

Результаты обследования состояния изоляционного покрытия

Табл. 2 п. I

№№ п/п	Тип изоляционного покрытия: Грунтовка: наименование	толщина	Изоляционное покрытие: наименование	толщина	Обертка: наименование	толщина	Нормативное значение переходного сопротивления	Состояние покрытия на i-ый год обследования: Пикетаж	Прилипаемость	площадь оголения	характеристика поверхности	Плотность защитного тока	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4

Характеристика работы средств электрохимзащиты

Табл. 3 п. I

№№ п/п	Пикетаж СКЗ км	Год ввода в эксплуатацию	Год обследования	Защитный потенциал	Расстояние между двумя соседними СКЗ	Количество обслуживаемых ниток	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8

Сведения о капитальном ремонте

Табл. 4 п. I

№№ п/п	Год ремонта	Пикетаж	Характеристика отремонтированного изоляционного покрытия: Грунтовка: наименование	толщина	Покрытие: наименование	толщина	обертка: наименование	толщина	Длина отремонтированного участка	Диаметр Д мм	Характеристика отремонтированных труб: Толщина стенки трубопровода мм	Марка стали	Завод изготовитель	Длина замененного участка
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5

Приложение 2
Рекомендуемое

Пример оценки показателей надежности.

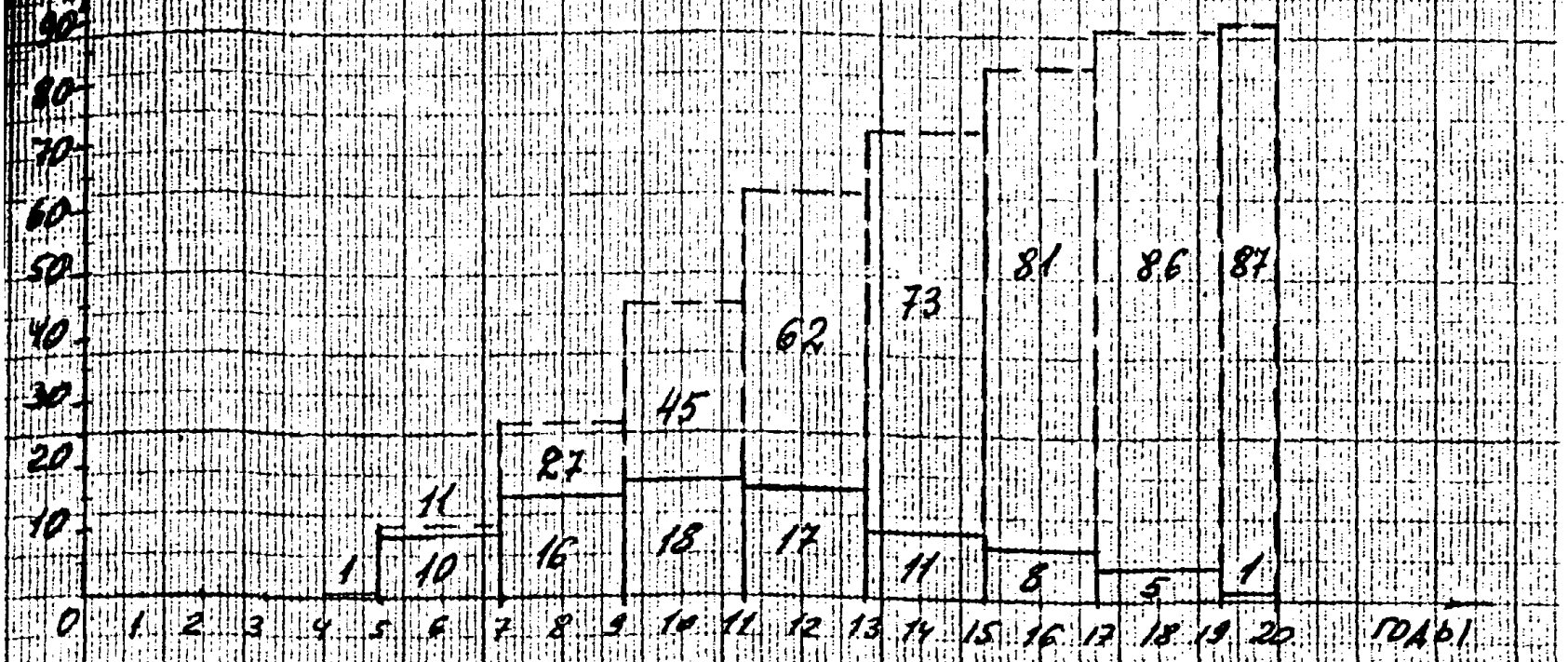


Рис. 1п.2 Гистограмма количества отказов в зависимости от наработки (для участка L=400 км г/п Бухара-Урал).

— Абсолютное значение количества отказов

– – Накопленное значение

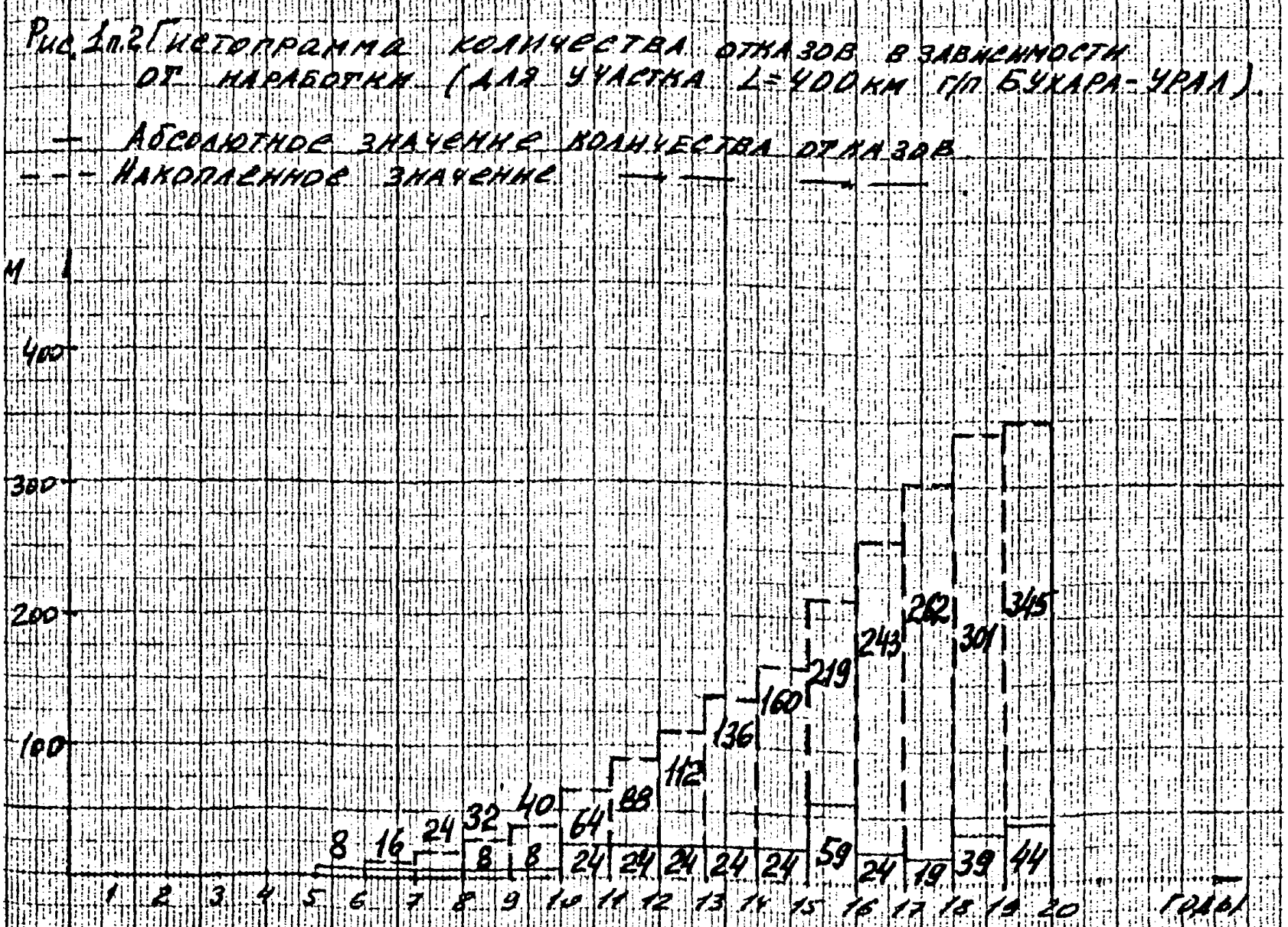


Рис 2.п.2 Гистограмма замены участков трубопровода в результате капремонта.

— Абсолютное значение

– – Накопленное значение

$$f(\tau) = \frac{1}{\Gamma(z)} \lambda^z \cdot \tau^{z-1} \cdot e^{-\lambda\tau}, \quad \tau > 0$$

$\tau = t - t_0$, t_0 – порог чувствительности.

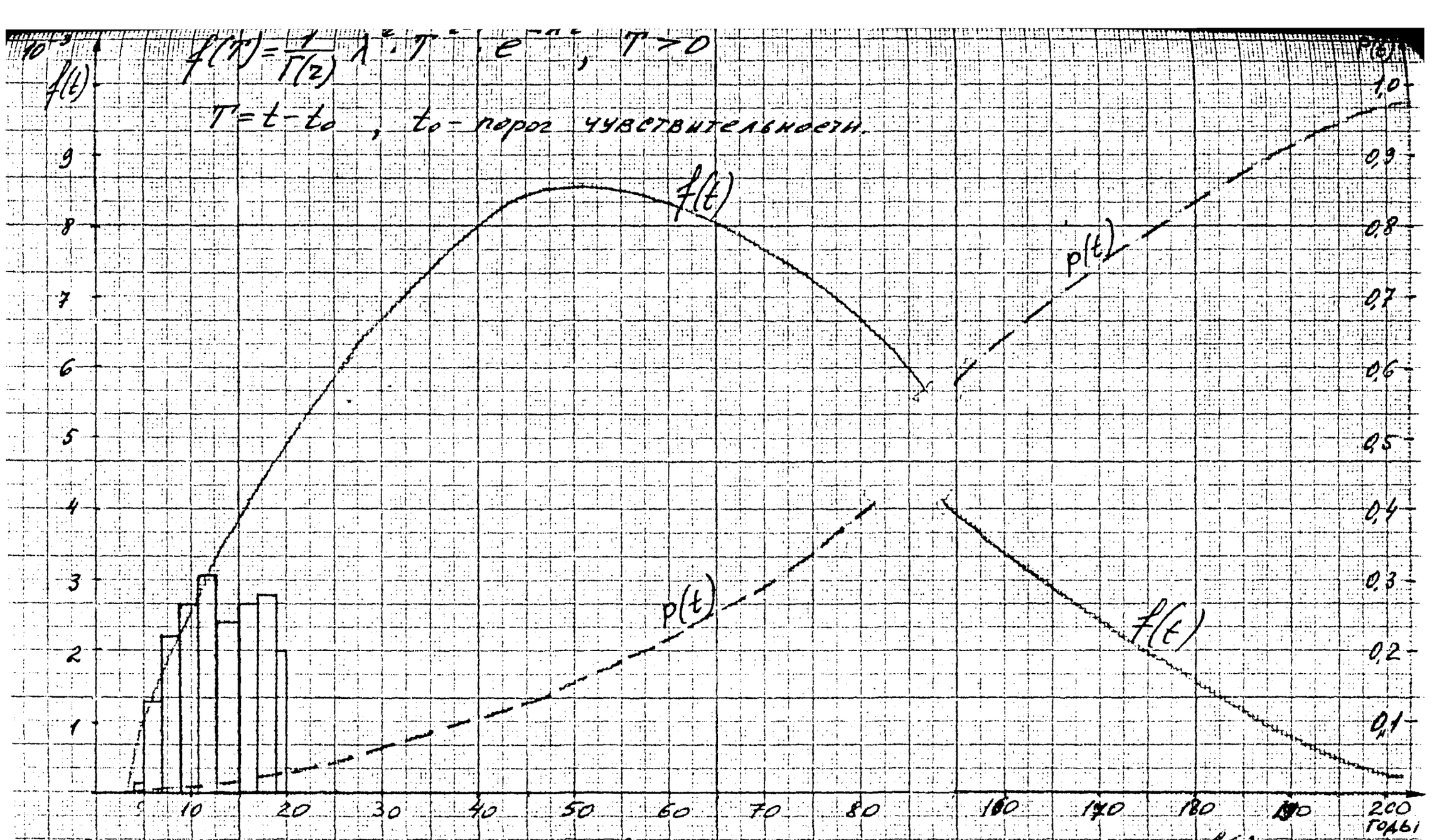


Рис. 3п.2. Плотность вероятности времени до коррозионного отказа $f(t)$ и вероятность безотказной работы $P(t)$, построенные с учетом замеченных участков.

Параметры распределения

Табл. 1. п. 2

λ	r	$M\{\tau\}$	$\sigma\{\tau\}$	t_o
0.24	2.0	87.0	59.9	4.0

Средняя наработка до коррозионного отказа элемента равна:

$$t_э = M\{\tau\} = 87 \text{ лет}$$

Вероятность безотказной работы элемента $P_э(t)$ на i-ый год см. рис.3.

Средний срок службы элемента равен:

$$T_э = t_э = 87 \text{ лет}$$

Пример прогнозирования времени до коррозионного отказа.

Тип покрытия: битумно-резиновая изоляция нормального типа.

Грунты: солончаки Средней Азии.

Время до износа изоляционного покрытия при условии равновероятного закона распределения отказов на интервале ($T_e^{max} - T_e^{min}$) равно:

$t_{из}$ = 4года с вероятностью P = 0.99

$t_{из}$ = 6лет с вероятностью P = 0.50

Время до коррозионного износа стенки трубопровода при условии нормального закона распределения отказов на интервале ($V_k^{max} - V_k^{min}$) равно:

$t_м$ = 6.0лет с вероятностью P=0.99

$t_м$ = 8.0лет с вероятностью P = 0.67.

Время до коррозионного отказа трубопровода равно:

$t_{кор}$ = 10лет с вероятностью P = 0.99

$t_{кор}$ = 14лет с вероятностью P = 0.67.

Приложение 4
Рекомендуемое

Справочные данные

Табл. I п. 4

Гамма-функция $\Gamma(X) = (X-I)!$

X	$(X-I)!$	X	$(X-I)!$
I	I	7	720
2	I	8	5040
3	2	9	40320
4	6	I0	362880
5	24	II	3 628 800
6	I20	I2	39 9I6 800

Интервальные значения критического пере одного сопротивления труба-земля $R_{от}$ (по критерию полный "коррозионный отказ").

Табл. 2 п. 4

Изоляционное покрытие	Значения $R_{от}$ ($ом \cdot м^2$) для грунтов:		
	солончаковых	песчано-глинистых	
	ρ = 1÷10 ом.м	ρ = 10÷50 ом.м	ρ = 20÷200 ом.м
Битумное:			
нормальное - 4 мм	$0,25 \div 0,87 \cdot 10^3$	$0,87 \div 20 \cdot 10^3$	$1,22 \div 4,5 \cdot 10^3$
усиленное - 6 мм	$0,55 \div 1,95 \cdot 10^3$	$1,95 \div 4,5 \cdot 10^3$	$2,73 \div 10,1 \cdot 10^3$
Полимерное-пленочные:			
однослойное	$0,55 \div 1,95 \cdot 10^3$	$1,95 \div 4,5 \cdot 10^3$	$2,73 \div 10,1 \cdot 10^3$
двухслойное	$0,78 \div 2,77 \cdot 10^3$	$2,77 \div 6,36 \cdot 10^3$	$4,8 \div 14,3 \cdot 10^3$

Пределы изменения постоянной времени старения покрытия T_c

Табл. 3 п. 4.

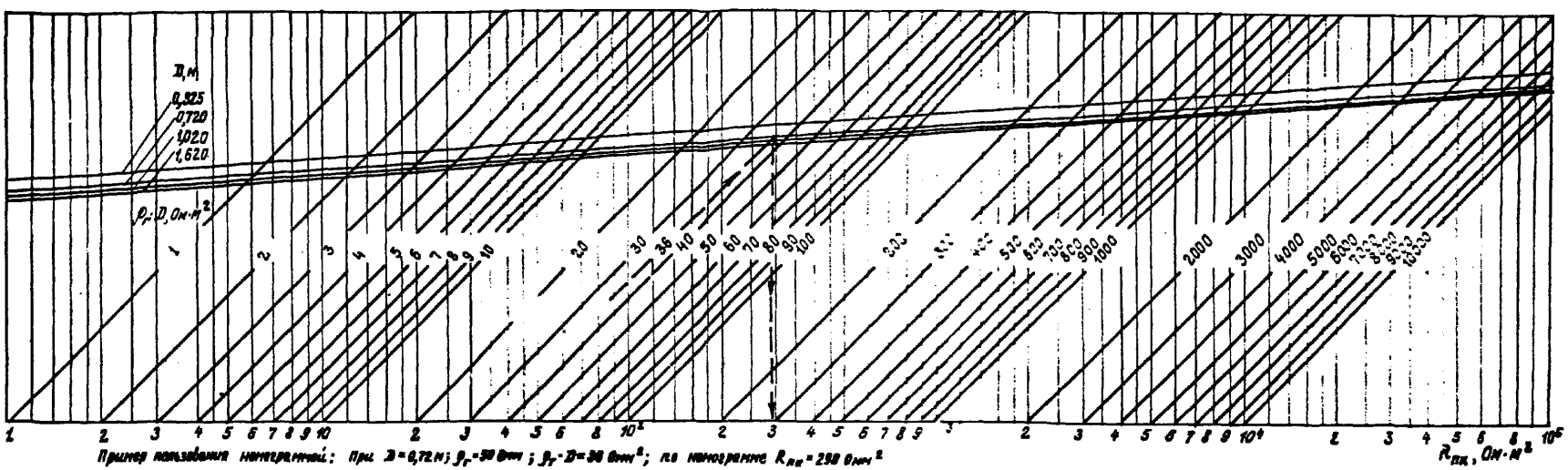
Изоляционное покрытие	Грунт		
	Солончаковый	песчано-гинистый	
	ρ = 1÷10 ом.м	ρ = 10÷50 ом.м	ρ = 20÷200 ом.м
Битумное:			
нормальное - 4 мм	4-8	8-16	16-30
усиленное - 6 мм	8-16	12-20	20-40
Полимерное пленочное:			
однослойное	6-12	12-25	25-45
двухслойное	10-20	20-40	40-50

Глубинный показатель скорости коррозии.

Табл.4 п.4

Источник информации	Значения $V_к$ (мм/год) для грунтов		
	солончаковых почв (Бухара, каган)	Черноземных и каштановых почв Украины, Поволжья, Сев. Кавказа	Дерново-подзолистых почв
	ρ = I÷I0	ρ = I0÷50	ρ = 20÷200
[9]	0,5 - I,0	0,I - 0,5	0,0I - 0,I
[I0]	0,6 - 0,8	0,2 - 0,4	0,0I - 0,05
[II]	0,I5 - 2,0	0,I5 - I,0	0,05 - 0,I
Статистика полных коррозионных отказов	0,6 - I,7	0,4 - 0,65	-

Рис. Ln.4. Номограмма для определения конечного переходного сопротивления труба-земля $R_{пк}$



Пример пользования номограммой: при $D = 0{,}72$ м; $\rho_г = 30$ Ом·м; $\rho_г \cdot D = 30$ Ом·м²; по номограмме $R_{пк} = 290$ Ом·м²

gost.e-ecolog.ru