МИННЕФТЕГАЗСТРОЙ

УТВЕРЖДЕНО
Начальник Государственной инспекции
по качеству строительства
_____ Б.С.Ланге
"25" XII 1986 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по нормированию точности технического диагностирования объектов трубопроводного строительства

РД 102-59-87

Директор ВНИИСТ
_____ Р.М.Шакиров
"5" XI 1986 г.

Начальник Московской
(центральной) инспекции
по качеству строительства
Миннефтегазстроя
_____ Ю.А.Пименов
"18" сентября 1986 г.

СОГЛАСОВАНО
Директор СПКБ
"Проектнефтегазспецмонтаж"
_____ Н.М.Белкин
"28" сентября 1986 г.

Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

1.9. Количественные критерии точности диагностирования устанавливаются в соответствии с характером поставленных задач.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

2.1. Основными ОД в трубопроводном строительстве являются:

трубопроводные конструкции, их участки и конструктивные элементы;

технологические процессы сооружения линейной части магистральных трубопроводов и их составляющие;

строительная техника для производства работ;

контрольно-измерительная техника и оборудование.

2.2. Основной прием диагностирования трубопроводных конструкций заключается в проверке их исправности и поиске дефектов в конструктивных элементах.

Диагностика качества ОД предусматривает разработку методов решения следующих задач:

определение основных элементов диагностируемой системы: формируемый объект - условия строительства - качество объекта, - и установление связи между ними;

выделение возможных состояний конструкции по реализуемым критериям качества;

изучение условий обеспечения нормативного уровня качества строительства ОД;

анализ технических возможностей производственного контроля параметров и признаков, характеризующих состояние ОД;

сбор и обработка статистических данных, позволяющих устанавливать распределения вероятностей возможных состояний ОД, а также закономерностей возникновения брака.

2.2.I. Диагностирование качества строительных конструкций (рис.I) предусматривает определение технического состояния:

конструктивных элементов ;

участков трубопровода ;

линейной части магистрального трубопровода в целом.[x]

Диагноз исследуемого объекта осуществляется посредством единичных показателей (оценка состояния конструктивных элементов) или интегральных признаков состояния (например, при испытаниях трубопровода признак состояния - отклонение давления в трубопроводе от первоначально установленного уровня - является интегральной характеристикой его прочности и герметичности).

2.2.2. Объектами технологического (рис.2) диагностирования могут быть:технологические операции ;

технологические процессы по видам работ ;

технологические процессы строительства трубопровода в целом.

По результатам диагностирования осуществляется:

оценка устойчивости (стабильности) технологического процесса ;

оценка его точности ;

определение соответствия точности характеристик оборудования нормам точности, установленным в нормативно-технической документации ;

выявление факторов, приводящих к нарушению точности технологического процесса ;

установление значимости влияния различных причин на точность технологического процесса ;

---

x). Состав линейной части магистрального трубопровода по СНиП 2.05.06-85

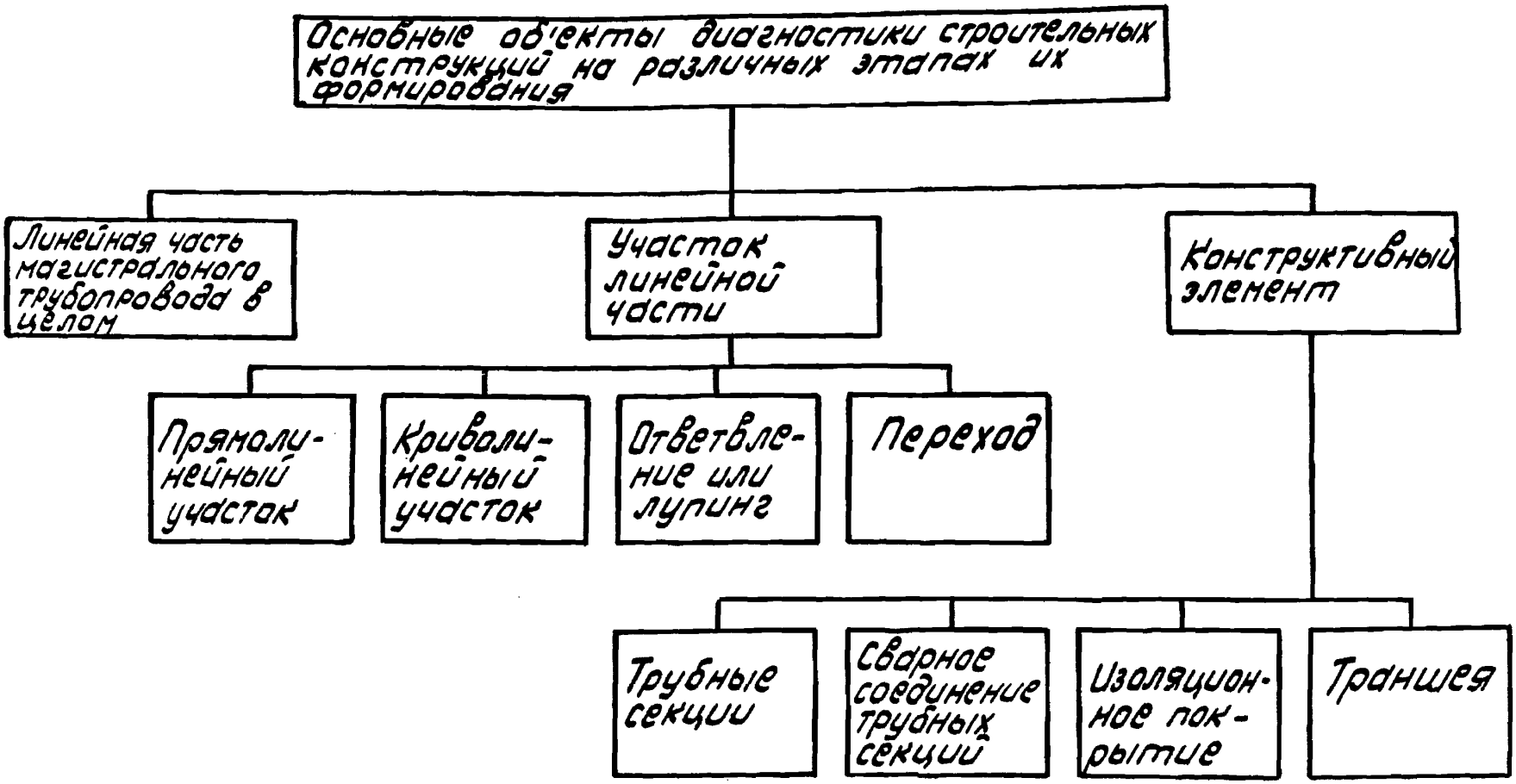


Рис. 1 Структурная схема диагностирования качества объектов трубопроводного строительства.

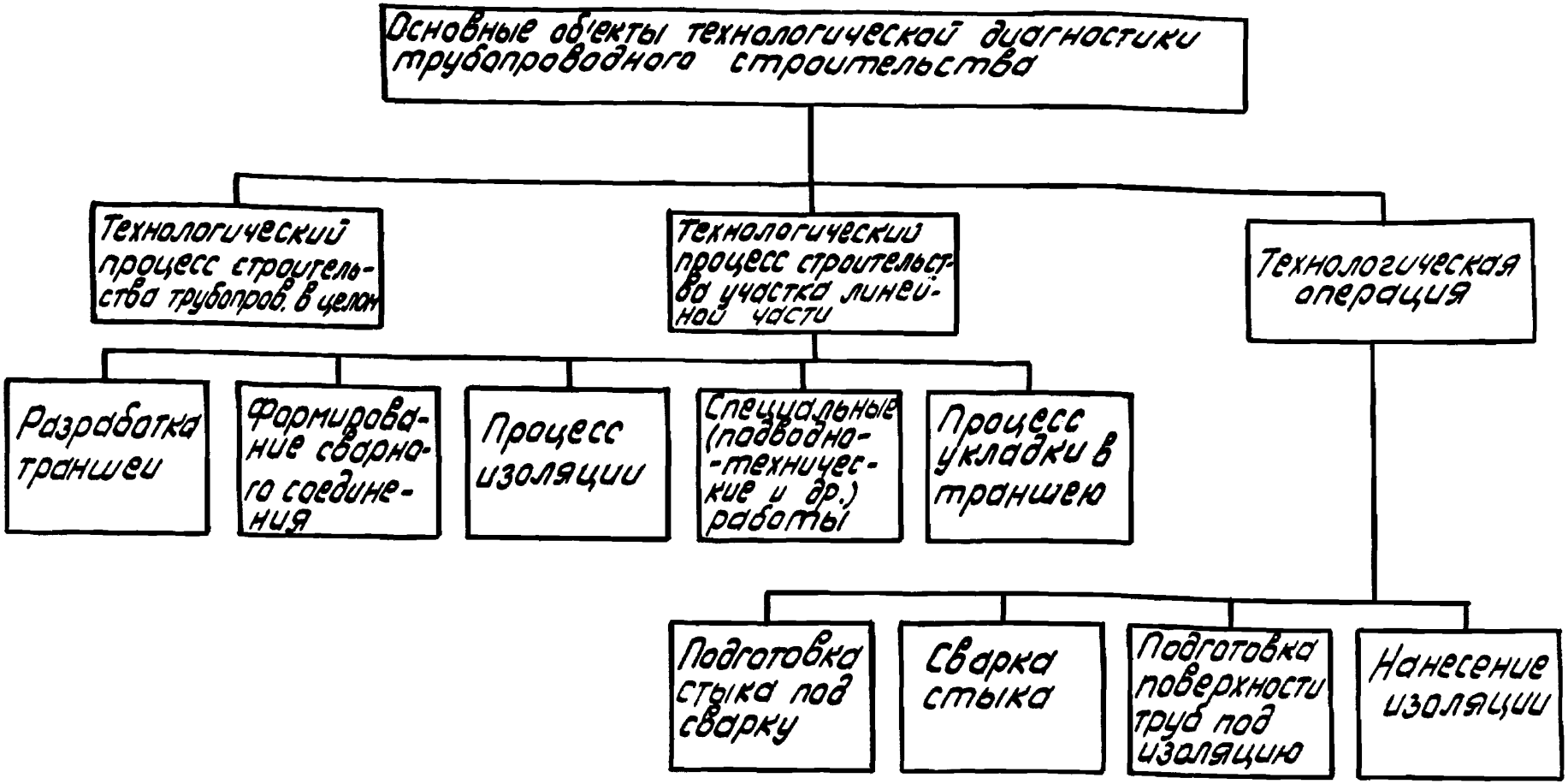


Рис. 2 Структурная схема технологического диагностирования трубопроводного строительства.

обоснование границ регулирования параметров технологического процесса.

Интегральная оценка состояния технологического процесса осуществляется посредством оценок состояний его элементов с учетом их взаимосвязи и проводится по параметрам, оказывающим решающее влияние на функциональные показатели конструкции в целом и определяющим нормальный ход технологического процесса.

2.3. Выбор ОД производится на основе инженерно-технических и экономических критериев:

параметры потока отказов по рассматриваемым объектам;

необходимый уровень надежности ОД - определяет максимально возможные ошибки контроля I и 2 рода;

характер причинно-следственной связи между конструктивными и технологическими дефектами;

данные ретроспективного анализа динамики накопления неисправностей (предельных состояний) - определяют наиболее опасные участки;

исходные технические характеристики участка (отношение максимального рабочего давления P к наименьшему пределу текучести $\sigma_т$ материала труб и отношения внешнего диаметра труб $Д_н$ к номинальной толщине стенок);

эксплуатационные характеристики участка - степень агрессивности перекачиваемого продукта (наличие H_2S и т.п.), коррозионная активность грунтов и другие возможные нагрузки и воздействия;

плотность населения - определяет степень опасности для населения в случае утечки или аварии на рассматриваемом участке;

величина ущерба (экономического и экологического) в случае аварии и стоимость ликвидации последствий;

готовность объекта к обследованию – наличие контрольно-измерительной техники и технологии;

сбалансированное финансирование – распределение средств по объектам контроля.

2.4. Значимость вышеуказанных критериев выбора оценивается индивидуально для конкретных ОД.

3. КЛАССИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОД

3.1. Выбор совокупности определяемых характеристик состояния производится в соответствии с критериями:

полноты (достаточности) информации $\mathcal{J}_к$ для решения конкретной диагностической задачи;

точности и достоверности оценки технического состояния ОД по известным значениям контролируемых характеристик (единичная $e_к$ и комплексная $E_к$ оценки технического состояния).

Основные требования к определяющей совокупности распознающих характеристик диагностируемого объекта:

полнота описания всех классов технического состояния;

техническая возможность измерения и контроля;

минимальный состав – совокупность характеристик не должна быть избыточной, т.е. включать функционально зависимые параметры, оценку которых можно производить по другим параметрам; исключаются также статистически зависимые характеристики, для чего необходим анализ корреляционных связей между ними.

3.2. Объективная количественная оценка ОД реализуется посредством установления определенного набора параметров и признаков состояния ОД.

3.2.1. Параметр – это непосредственная характеристика конкретного свойства ОД или его составной части. Выбор контроли-

руемых параметров определяется, с одной стороны, возможностями контрольно-измерительной техники, с другой - экономичностью системы контроля, предполагающей ограничение количества контролируемых параметров, и производится с учетом:

чувствительности параметров S_{ni} к состояниям элементов систем;

степени влияния параметра на эксплуатационные показатели ОД или его элементов.

3.2.2. Признак состояния - это косвенная характеристика конкретного свойства ОД, связанная с одним или несколькими его параметрами детерминированной или стохастической зависимостью. Косвенные характеристики являются первичными элементами-признаками, содержащими количественную меру измеряемой физической величины и, в конечном счете, - контролируемого параметра, т.е.:

$$\sum_{j=1}^{n} S_{kj} \rightarrow X_y \rightarrow K_y$$

Выбор информативных признаков осуществляется с учетом:

степени разделимости при распознавании отдельных дефектов и соотношения по видам технического состояния;

их чувствительности к изменению значений контролируемых параметров конструктивных элементов трубопровода или технологических операций и процессов строительства.

3.3. Номенклатура параметров и признаков состояния для конкретного ОД принимается в соответствии с характером поставленной задачи, а также видом и особенностями ОД.

Процедура выбора совокупности контролируемых параметров и признаков состояния предусматривает:

1). определение множества S_n прямых показателей, характеризующих состояние $S_n = \{S_{ni}\}$, $i = 1, 2, \ldots, N$, где

N – мощность множества;

2). выбор подмножества $\overline{S}_n$ оцениваемых прямых показателей; подмножество $\overline{S}_n$ формируется с учетом технических возможностей и экономической целесообразности. При этом

$$\overline{S}_n = \{S_{nk}\}, \quad k = 1,2,\dots,m; \quad m < N$$

3). определение совокупности B не подлежащих оценке параметров

$$B = S_n - \overline{S}_n$$

4). выбор множества S_k признаков состояния ОД

$$S_k = \{S_{kj}\}, \quad j = 1,2,\dots,n$$

Мощность множества S_k (число n) выбирается так, чтобы полностью компенсировать подмножество B не подлежащих оценке параметров.

В таблице I приведен перечень параметров и признаков, контролируемых в процессе определения технического состояния ОД в трубопроводном строительстве.

3.4. Поскольку существует причинно-следственная связь между параметрами технологического процесса и качеством конструкции, параметры технологического процесса могут являться диагностическими признаками при определении технического состояния строительной конструкции.

В свою очередь фактические значения параметров конструктивного элемента, определяемые в процессе операционного контроля, являются диагностическими признаками состояния технологического процесса (операции). В этом случае контролируемыми параметрами являются те, которые определяют качественное изменение объекта, осуществленное при данном процессе.

Таблица 1

Объект диагностирования		Контролируемые параметры	Признаки состояния	
Технологический процесс	Формируемая конструкция		Качественные $q(t)$	Количественные $S(t)$
1	2	3	4	5
Разработка траншеи (Земляные работы)		Параметры положения рабочих органов; Кинематические параметры движения экскаватора	Положение экскаватора относительно оси траншеи;	Показания измерителей положения экскаватора и его рабочих органов; Объем вынутого грунта
	Траншея	Отклонение оси траншеи от прямой на длине 100 D; Глубина траншеи; Ширина траншеи по низу на прямолинейных и криволинейных участках	Результаты визуального контроля качества траншеи	Показания средств геодезического контроля геометрических параметров траншеи
Сварка труб		Параметры сборки стыка под сварку (зазор, превышение кромок и др.); Параметры режима сварки (сила сварочного тока, напряжение на дуге, скорость сварки и др.)	Положение рабочих органов центратора; Изменения показаний контрольно-измерительных приборов	Показания средств измерений: линейно-угловых, кинематических и электрических величин
	Сварной шов	Ширина и высота шва; Смещение кромок после сварки; Размеры наружных дефектов шва (подрезы, наплывы, каверны, свищи и др.); Размеры внутренних дефектов шва (непровары, поры, неметаллические включения, трещины и др.)	Результаты визуального контроля качества сварного шва	Результаты дефектометрии и дефектоскопии сварного шва

продолжение табл 1

1	2	3	4	5
Изоляция трубопровода		Угол наклона шпули ; Нормальное усилие прижатия рабочего органа трубоочистной машины ; Тормозное усилие на шпулях ; Линейная скорость разматывания рулона	Степень очистки поверхности труб ; Усилие отрыва пленки от рулона ; Наклон шпули ; Прижатие рабочего органа	Показания средств измерений величин: линейных и угловых ; скорости ; сил и давлений
	Изоляционное покрытие	Прилипаемость покрытия ; Сплошность покрытия ; Сила тока в цепи "труба-земля" ; Разность потенциалов "труба-земля"	Результаты визуального контроля качества изоляционного покрытия	Усилие отрыва ; Испытательное напряжение при искровой дефектоскопии ; Показания электроизмерительных приборов
Гидро(пневмо) испытания трубопровода		Скорость перемещения очистного поршня при промывке ; Скорость подъема давления испытательной среды ; Величина испытательного давления ; Скорость движения поршня - разделителя при удалении воды	Изменение расхода заполняемой среды ; Изменение показания манометра ; Наличие гидро (пневмо) напора перед технологическим поршнем	Показания измерителей: скорости перемещения технологического поршня ; давления среды
	Трубопровод	Напряжения в стенке трубопровода ; Вид, размеры и ориентация дефектов стенки трубопровода	Изменение начальных геометрических параметров и деформаций ; Изменение установившейся величины испытательного давления	Размеры деформаций и отклонений геометрии ; Размер отклонения величины испытательного давления от нормативного ; Величина утечки испытательной среды

1	2	3	4	5
Разработка подводной траншеи (подводные земляные работы)		Удаление грунторазрабатывающего судна от берега; Угол между продольной осью судна и створом; Глубина опускания рабочего органа земснаряда; Глубина воды в месте грунтозабора и отвала	Смещение фиксированной точки оси судна относительно створа; Боковой крен судна; Подвижка судна по становому тросу; Нагрузка на механические грунтозаборные устройства	Расход пульпы. Показания измерителей: перемещений (линейных и угловых), скорости, сил
	Траншея	Ширина траншеи по низу; Глубина воды в створе перехода; Геометрические параметры продольного и поперечного профилей траншеи	Результаты водолазного обследования состояния траншеи	Показания геодезических и гидроакустических приборов и комплексов контроля
Укладка трубопровода		Усилия на рабочие органы трубоукладчиков и технологического оборудования (лебедки, полистпасы, блоки и т.п.) Перемещения участков и конструктивных элементов трубопровода	Положения трубоукладчиков и вспомогательного технологического оборудования; Деформация трубопровода в процессе укладки	Результаты аналоговых измерений в фиксированных точках и зонах укладочной техники и укладываемого трубопровода
	Линейная часть магистрального тру-	Параметры проектного положения (глубина заложения до верхней образующей, радиусы кривизны и углы поворота в	Результаты визуального контроля: положения (касание стенки тран-	Результаты линейно-угловых измерений (оптико-механическим и оптико-электронным

продолжение табл 1.

1	2	3	4	5
		ктрохимической защиты и др.	чие гофр, изломов, вмятин и т.п.)	Результаты дефектоскопии и дефектометрии трубопровода

4. ПОКАЗАТЕЛИ ИНФОРМАТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

4.I. Количественной характеристикой неопределенности информации как некоторой совокупности значений случайных величин, получаемой в процессе определения технического состояния ОД, может служить энтропия, представляющая собой меру недостающей информации об истинных значениях его параметров. Под количеством информации понимается некоторая функция числа и вероятностей возможных оценок истинного значения контролируемого параметра до и после получения информации.

Количество информации J , получаемой в процессе ТД, зависит от выбора доверительного интервала ε_ω для оценки состояния ОД и определяется выражением

$$J = P_\beta \log \frac{P_\beta}{P_\alpha} + (1-P_\beta) \log \left(\frac{1-P_\beta}{1-P_\alpha} \right) \qquad (1)$$

где P_β и P_α – соответственно апостериорная и априорная вероятности того, что интервал ε_ω включит истинное значение контролируемого параметра ω_0 .

Количество полученной при ТД информации определяется выбором доверительного интервала. При этом наиболее объективным критерием информативности статистических оценок, получаемых в процессе производственного контроля, является отношение количества полученной информации J к энтропии H, т.е.

$$\xi = \frac{J}{H} \; ; \quad 0 < \xi \leq 1 \qquad (2)$$

Чем ближе этот критерий к единице, тем более предпочтителен выбор соответствующей оценки (т.е. ближе ее значение истинному значению ω_0 контролируемого параметра ω .

Условие оптимальности значений показателей, отвечающих максимуму их информативности, может быть записано в виде энтропийного критерия:

$$opt\, J \longrightarrow max\, \xi(J,H)$$

В таблице 2 приведен перечень основных показателей информативности технического диагностирования, используемых при решении его конкретных задач.

Таблица 2

Обозначение		НАИМЕНОВАНИЕ	Задачи ТД		
			Ситуационный контроль	Ретроспективный анализ	Прогнозирование по результатам ТД
1		2	3	4	5
		Точностные показатели			
1.	$T_и$	Точность измерения физических величин $T_и = 1/\|\delta_и\|$ где $\|\delta_и\|$ – величина модуля относительной погрешности измерения.	x	x	x
2.	$T_к$	Точность измерительного контроля рабочих параметров $T_к = 1/\|\delta_к\|$ где $\|\delta_к\|$ – величина модуля относительной погрешности контроля. Характеризуется точностью составляющих его измерений (зависящей от состояния применяемого средства измерения и методики выполнения измерений) и способом получения необходимого объема измерительной информации (расположения контрольных точек, их числа и т.д.).	x	x	x
3.	$T_о$	Точность оценки технического состояния ОД $T_о = 1/\|\delta_о\|$ где – величина модуля относительной погрешности оценки технического сос-	x	x	x

продолжение табл.2

1	2	3	4	5
	тояния ОД (п.I.8 настоящих Указаний)			
	Показатели достоверности			
4. β_i, $i=\overline{1,n}$	Вероятность появления необнаруженных дефектов данного вида	x	x	x
5. α_j, $j=\overline{1,\ell}$	Вероятность появления ложных дефектов данного вида	x	x	x
6. $P(R_{л.о})$	Вероятность ложно-отрицательного диагноза ОД (Вероятность ложно-отрицательной интерпретации результатов контроля. Риск заказчика) $P(R_{л.о}) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\beta_i}{n}$	x		x
7. $P(R_{л.п})$	Вероятность ложно-положительного диагноза ОД. (Вероятность ложно-положительной интерпритации результатов контроля. Риск поставщика) $P(R_{л.п}) = \frac{\sum_{j=1}^{\ell}\alpha_j}{\ell}$	x		x
8. $P(U^{\Delta t}_{работ} \mid U_0)$	Оценка истинности прогноза. Вероятность безотказной работы ОД в течение прогнозируемого периода Δt при уровне технического состояния на начальный момент эксплуатации U_0.			x
9. $P(U_{\Delta t} \in U_н)$	Доверительная вероятность прогнозной оценки. Вероятность соответствия технического состояния $U_{\Delta t}$ ОД нормативному уровню $U_н$ в течение прогнозируемого периода Δt.			x
	Мера адекватности соответствия Р и теснота причинно-следственной связи : вид дефекта D_i, $i=\overline{1,n}$ — причина (влияющий фактор) ω_j, $j=\overline{1,m}$:			

1	2	3	4	5
10. P_l	$P_l = P(l_i / \omega_j)$		x	
11. τ_D	$\tau_D = \tau(l_i : \omega_j)$		x	
12. P_B	размер дефекта B_i – влияющий фактор ω_j		x	
	$P_B = P(B_i / \omega_j)$		x	
13. τ_B	$\tau_B = \tau(B_i, \omega_j)$ ориентация дефекта $X_{\partial i}$ – влияющий фактор ω_j		x	
14. $P_{\bar{X}}$	$P_{\bar{X}} = P\{X_{\partial i}(X_1, X_2, \ldots, X_k) / \omega_j\}$		x	
15. $\tau_{\bar{X}}$	$\tau_{\bar{X}} = \tau(\bar{X}_{\partial i}, \omega_j)$ дислокация дефекта $S_{\partial i}$ – причина ω_j			
16. P_S	$P_S = P(S_{\partial i} / \omega_j)$		x	
17. τ_S	$\tau_S = \tau(S_{\partial i}, \omega_j)$		x	
18. τ_∂	теснота взаимосвязи дефект d_i – причина ω_j $\tau_{\partial i} = \tau(\partial_i, \omega_j)$		x	
19. P^M	Вероятность соотнесения множества причин установленному виду технического состояния $P^M = P\{U_k = f(\sum_{j=1}^{r} \omega_j)\}$		x	

продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
20. $P^{ЖК}$	Мера опасности дефекта. Вероятность отказа $U_{отк.}$ обусловленного дефектом d_i $P_i^{**}=P_i\{U_{отк}/\Phi(D_i;B_i;P_{ti};P_{Si})\}=$ $=P_i(U_{отк}/d_i)$, $i=\{1,n\}$			x
	Показатели выявляемости			
21. n_{Hi} $i=\{1,m\}$	Количество дефектов данного вида, не обнаруженных при контроле ОД.	x	x	x
22. $n_{Лj}$ $j=\{1,k\}$	Количество ложных дефектов данного вида по результатам контроля ОД.	x	x	x
23. n_H	Суммарное количество необнаруженных дефектов $n_H=\sum_{i=1}^{m} n_{Hi}$	x		x
24. $n_Л$	Суммарное количество ложных дефектов $n_Л=\sum_{j=1}^{k} n_{Лi}$	x		x
	Метрологические характеристики средств диагностирования (СД)			
25. $\delta_{сд}$	Погрешность СД	x	x	x
26. Ч	Чувствительность СД	x		x

продолжение табл. 2

1	2	3	4	5
27. ε	Разрешающая способность СД	x		x
28. λ^{c}_{10}	Интенсивность скрытого отказа СД, приводящего к установлению ложно-отрицательного диагноза ОД (необнаружению дефекта)	x	x	x
29. λ^{c}_{1n}	Интенсивность скрытого отказа СД, приводящего к установлению ложно-положительного диагноза ОД (констатация ложного дефекта)	x	x	x
	Прочие показатели			
30. Δt	Время прогнозируемого периода			x
31. W	Совокупность регламентированных нагрузок и воздействий на прогнозируемый период.			x

x) отмечены показатели, используемые при решении соответствующих задач ТД

5. КРИТЕРИИ НОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

5.1. Критерии точности ТД должны удовлетворять следующим общим требованиям:

достаточная чувствительность по отношению к показателям точности, отвечающим данному критерию;

необходимая конструктивность, позволяющая наиболее просто определять численное значение критерия ;

достаточная универсальность с точки зрения возможности сравнения эффективности диагностирования конструктивного элемента или технологической операции.

Формализуя требования к критерию точности, его можно представить в виде функционала:

$$K = \Phi\left[W_T\left(\sum_{i=1}^{n}\omega_i\right); W_Э\left(\sum_{j=1}^{m}\omega_j\right)\right], \qquad (3)$$

где $W_T\left(\sum_{i=1}^{n}\omega_i\right)$ – вектор, характеризующий точностные показатели диагностирования;

$W_Э\left(\sum_{j=1}^{m}\omega_j\right)$ – вектор, характеризующий показатели ТД, определяющие его эффективность.

5.2. Процесс диагностирования, имеющий в своей основе определенные научно-методические принципы, организационную структуру и техническую базу, должен отвечать необходимым информативным и экономическим требованиям. Исходя из этих требований определяются критерии нормирования точности диагностирования объектов трубопроводного строительства (рис. 3), т.е. в общем случае:

$$K_T[c.к.; Р.А.; П_Р] = \Phi(Т, Э) \qquad (4)$$

В табл.3 представлены критерии нормирования точности диагностирования для решения его конкретных задач.

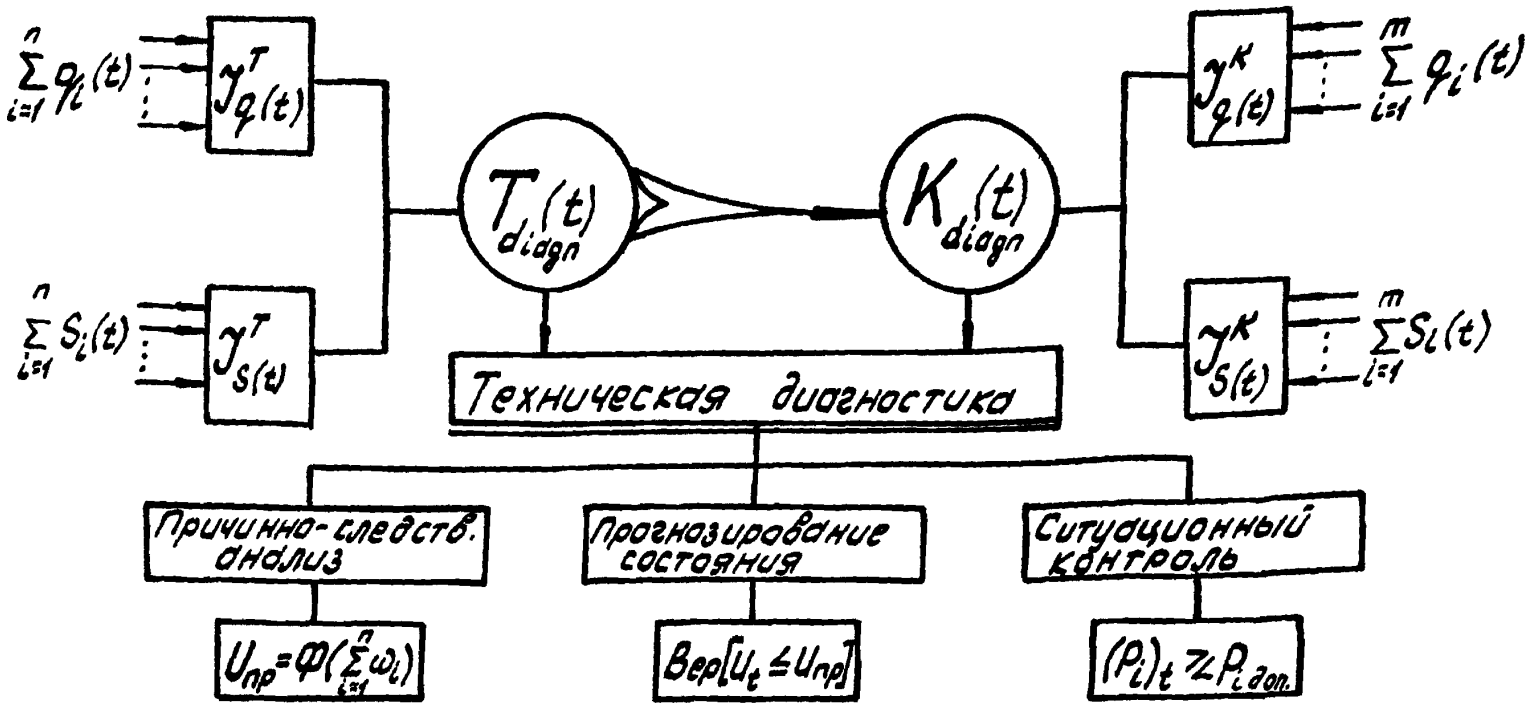


Рис. 3 Структурная схема организации технического диагностирования трубопроводного строительства

Таблица 3

Исходная задача диагностирования	Наименование критерия	Обозначение критерия
1. Ситуационный контроль $T_{с.к.} = f(\Delta_н, \rho^{с.к})$	Нормативный допуск на параметр;	$\Delta_{нi}$
	достоверность измерительного контроля	$P^{с.к.}$
2. Ретроспективный анализ причин возникновения неисправностей и дефектов $T^{рд} = f([\Delta_{B_i}]_{min}, \rho^{рд})$	минимальный интервал соответствия значений параметра B_i с влияющим фактором (причиной) ω_j ;	
	достоверность ретроспективного анализа причинно-следственных связей	$P^{р.а.}$
3. Прогнозирование технического состояния ОД $T^{пр} = f([V]_i, \rho^{пр})$	предельная интенсивность изменения измеряемого параметра;	$[V]_i$
	достоверность прогнозирования.	$P^{пр.}$

6. ТОЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

6.1. Точность технического диагностирования есть его качество, отражающее близость диагноза фактическому состоянию объекта. Количественно точность диагностирования выражается обратной величиной модуля относительной погрешности, т.е.:

$$T^{D} = 1/|\delta_0|$$

и характеризуется суммарной погрешностью диагностирования Δ_{Σ}^{D}, в общем случае равной

$$\Delta_{\Sigma}^{D} = \sqrt{\Delta_{\Sigma u}^{2} + \Delta_{\Sigma O}^{2} + \Delta_{\Sigma id}^{2}} \qquad (5)$$

где $\Delta_{\Sigma u}$ - суммарная погрешность измерения параметров и признаков; устанавливается путем проведения специальных (эталонных) измерений. Суммарная погрешность измерения обусловлена неточностью используемого прибора и несовершенством методики выполнения измерения и характеризуется двумя составляющими - систематической Δ_u и случайной δ:

В таблице Приложения 1 приведены суммарные погрешности измерения параметров, контролируемых в трубопроводном строительстве.

$$\Delta_{\Sigma u}^{2} = (\mathring{\Delta}_u)^2 + \delta_u^{2} \qquad (6)$$

$\Delta_{\Sigma O}$ — суммарная методическая погрешность определения параметров по значениям признаков состоит

из систематической $\mathring{\Delta}_0$ и случайной δ_0 погрешностей:

$$\Delta_{\Sigma 0}^2 = (\mathring{\Delta}_0)^2 + \delta^2 \qquad (7)$$

Может быть вычислена с помощью регрессивного анализа.

$\Delta_{\Sigma id}$ - суммарная методическая погрешность идентификации, обусловлена систематической $\mathring{\Delta}_{id}$ и случайной δ_{id} составляющими:

$$\Delta_{\Sigma id} = (\mathring{\Delta}_{id})^2 + \delta_{id}^2 \qquad (8)$$

Вычисляется на основе многофакторного корреляционного анализа.

$$\Delta_{id\Sigma} = \begin{cases} 0, & \text{если } P_{id} \approx 1 \\ max, & \text{если } P_{id} \approx 0 \end{cases} \qquad (9)$$

P_{id} - достоверность идентификации

6.2. Достоверность диагностирования определяется вероятностью того, что диагноз будет соответствовать действительности. Критериями достоверности диагноза служат:

- вероятность ложно-положительного диагноза (вероятность ложно-положительной интерпретации результатов диагностирования);

$$P(R_{л.п.}) = \frac{\sum_{i=1}^{\ell} \alpha_i}{\ell} \qquad (10)$$

- вероятность ложно-отрицательного диагноза (вероятность ложно-отрицательной интерпретации результатов диагностирования)

$$P(R_{л.о}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \beta_i}{n} \qquad (11)$$

где α_j - вероятность появления ложных дефектов данного вида;

β_i - вероятность появления необнаруженных дефектов данного вида.

Вероятность правильного заключения о качестве, характеризующая достоверность диагностирования, определяется по формуле:

$$P_{diagn} = 0{,}5 + 10^{-3} \left(\sum_{j=1}^{\ell} \alpha_j - \sum_{i=1}^{n} \beta_i \right) \qquad (12)$$

Таким образом, достоверность диагноза P_{diagn} является интегральной характеристикой процесса диагностирования, и представляется возможным выразить ее, введя нормируемый коэффициент запаса точности диагностирования:

$$K_{diagn} = f\left(P_{diagn}\right) \qquad (13)$$

или через нормируемые кооэфициенты запаса по всем составляющим суммарной погрешности:

K_{μ} - метрологического обеспечения, характеризующий возможность отступлений от расчетных метрологических свойств средств и методик измерения, выбирается из табл.4 с учетом заданной вероятности необнаруженного брака - риска заказчика.

Таблица 4

Вероятность необнаруженного брака, β	0,45	0,90	1,8	2,25	2,75	3,4	3,85	4,3	4,75
Коэффициент метрологического обеспечения, $K_м$	0,05	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50

K_o – тождественности, характеризующий вероятность правильного определения величины параметра по значению признака P_o:

$$K_o = f(P_o) \qquad (14)$$

Рекомендуемые значения коэффициента $0 < K_o \leq 0{,}5$

K_{id} – идентификации, характеризующий достоверность отнесения ОД к определенному классу по совокупности общих и частных признаков.

Рекомендуемые значения коэффициента идентификации $0 < K \leq 0{,}3$

6.3. Точность диагностирования обусловливается точностью решения его конкретных задач и характеризуется суммарной погрешностью, в общем случае равной:

$$\Delta_{\Sigma Д} = \sqrt{\left(\Delta_{\Sigma}^{с.к.}\right)^2 + \left(\Delta_{\Sigma}^{р.д.}\right)^2 + \left(\Delta_{\Sigma}^{пр}\right)} \qquad (15)$$

6.4. Методики нормирования точности разработанны в соответствии с конкретными задачами ТД для диагностирования по одному параметру. Если диагностирование ведется по n параметрам, его погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma Д} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i \mu_i}{\sum_{i=1}^{n} \mu_i} \qquad (16)$$

где μ_i – коэффициент весомости точности по i-му параметру

Если влияние погрешностей всех параметров принимается одинаковым, формула (16) принимает вид:

$$\Delta_{\Sigma Д}^2 = \sum_{i=1}^{n} \Delta_i^2 \qquad (17)$$

На рис. 4 дана обобщенная схема нормирования точности технического диагностирования.

7. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВИДА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОД

7.I. Критериями оптимального нормирования точности диагностирования при решении задач ситуационного контроля являются:

нормативный допуск на формируемый параметр, $\Delta_н$;

достоверность измерительного контроля, $P^{с.к.}$

$$T^{с.к.} = \Phi(\Delta_н, P^{с.к.}) \qquad (I8)$$

Максимальная суммарная погрешность диагностирования в этом случае назначается в зависимости от величины этих характеристик:

$$\Delta_\Sigma^{с.к.}(\Delta_{u\Sigma}, \Delta_{o\Sigma}, \Delta_{id\Sigma}) = \Phi(\Delta_н, P^{с.к.}) \qquad (I9)$$

7.2. При определении вида технического состояния ОД суммарная погрешность идентификации $\Delta_{\Sigma id}$ легко может быть приведена к нулю. В этом случае суммарная погрешность диагностирования определяется следующим выражением:

$$\Delta_\Sigma^{с.к.} = \sqrt{\Delta_{u\Sigma}^2 + \Delta_{o\Sigma}^2} \qquad (20)$$

7.3. Нормативный допуск $\Delta_н$ - величина алгебраической разности между верхним $X_в$ и нижним $X_н$ предельными отклонениями формируемого параметра, регламентируемая соответствующим нормативным документом:

$$\begin{aligned} \Delta_н &= X_в - X_н \\ X_в &= X_N + \Delta_{нв} \\ X_н &= X_N - \Delta_{нн} \end{aligned} \qquad (2I)$$

где X_N - номинальное значение параметра;

$\Delta_{нв}, \Delta_{нн}$ - соответственно верхнее и нижнее допускаемые отклонения $\Delta_н = \Delta_{нв} + \Delta_{нн}$

7.4. Критерием точности диагностирования при решении задач ситуационного контроля является обеспечение соответствия контролируемых параметров нормативному допуску. Условием такой гарантии служит назначенный коэффициент запаса K_{diagn}, выбираемый в соответствии с заданной достоверностью производственного контроля:

$$K_{diagn}^{c.k.} = \frac{\Delta_{\Sigma}^{c.k.}}{\Delta_{H}} = \Phi(P^{c.k.}) \qquad (22)$$

Коэффициенты запаса по составляющим погрешности:

$$K_{u}^{c.k.} = \frac{\Delta_{u\Sigma}}{\Delta_{H}}$$
$$K_{o}^{c.k.} = \frac{\Delta_{o\Sigma}}{\Delta_{H}} \qquad (23)$$

Выразим частные погрешности диагностирования через нормативный допуск на формируемый параметр:

$$\Delta_{u\Sigma}^{c.k.} = K_{u}^{c.k.}\Delta_{H}$$
$$\Delta_{o\Sigma}^{c.k.} = K_{o}^{c.k}\Delta_{H} \qquad (24)$$

Подставив значения частных погрешностей диагностирования (24) в формулу (20), получим выражение для суммарной погрешности диагностирования при решении задач ситуационного контроля:

$$\Delta_{\Sigma}^{c.k.} = \Delta_{H}\sqrt{K_{u}^{2} + K_{o}^{2}} \qquad (25)$$

Функциональная схема последовательного нормирования точности ситуационного контроля приведена на рис.5.

8. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ РЕТРОСПЕКТИВНОМ АНАЛИЗЕ СОСТОЯНИЯ ОД

8.1. Критериями нормирования точности диагностирования, проводимого с целью ретроспективного анализа состояния ОД, являются:

минимальный интервал $[\Delta_{B_i}]_{min}$ соотнесения значений параметра B_i с влияющим фактором (причиной) ω_j ;

достоверность ретроспективного анализа причинно-следственных связей.

$$T_{\Sigma}^{P.A.} = f([\Delta_{B_i}]_{min}, P_{diagn}) \qquad (26)$$

т.е.

$$\Delta_{\Sigma}^{P.A.}(\Delta_{u\Sigma}, \Delta_{o\Sigma}, \Delta_{id\Sigma}) = \Phi([\Delta_{B_i}]_{min}, P_{diagn}^{P.A.}) \qquad (27)$$

8,2 Интервалы соотнесения значений параметров B_I, B_2,... B_i ,.... B_n с влияющими факторами (причинами) $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_j, \ldots \omega_m$ задаются в зависимости от необходимой достоверности ретроспективного анализа причинно-следственных связей после проведения многофакторного корреляционного анализа, позволяющего установить количественные соотношения между исследуемыми показателями и определяющими их значения факторами, при которых достигается наиболее тесная связь между формирующими и формируемыми параметрами.

Минимальный интервал $[\Delta_{B_i}]_{min}$ выбирается из совокупности назначенных интервалов значений параметра B_i .

8.3. Коэффициент запаса точности диагностирования, проводимого с целью выявления причин возникновения и развития дефектов, назначается в соответствии с заданной достоверностью ретроспективного анализа:

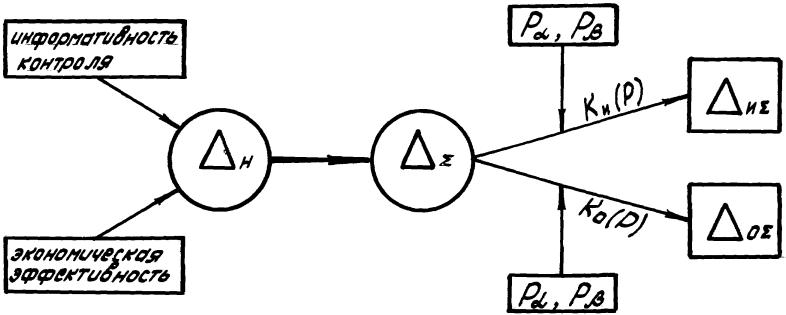


Рис. 5 Функциональная схема последовательного нормирования точности ситуационного контроля.

$$K_{diagn}^{P.A.} = \frac{\Delta_{\Sigma}^{P.A.}}{[\Delta_{B_i}]_{min}} = \Phi(P^{P.A.}) \qquad (28)$$

Коэффициенты запаса по составляющим погрешности:

$$\left.\begin{aligned} K_{u}^{P.A.} &= \frac{(\Delta_{u\Sigma})_i}{[\Delta_{B_i}]_{min}} \\ K_{o}^{P.A.} &= \frac{(\Delta_{o\Sigma})_i}{[\Delta_{B_i}]_{min}} \\ K_{id}^{P.A.} &= \frac{(\Delta_{id\Sigma})_i}{[\Delta_{B_i}]_{min}} \end{aligned}\right\} \qquad (29)$$

Выразив частные погрешности диагностирования по одному параметру через минимальный интервал его значений и подставив полученные выражения в формулу (I5), придем к формуле для вычисления суммарной погрешности диагностирования по одному параметру:

$$\Delta_{\Sigma i}^{P.A.} = [\Delta_{B_i}]_{min} \sqrt{(K_u^{P.A.})^2 + (K_o^{P.A.})^2 + (K_{id}^{P.A.})^2} \qquad (30)$$

Для нормирования точности ретроспективного анализа предложена функциональная схема параллельного нормирования (рис.).

9. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОД

9.I. Критериями точности диагностирования при прогнозировании технического состояния объектов трубопроводного строительства следующие характеристики:

- предельная (максимально допустимая) интенсивность (скорость) изменения измеряемого параметра $[V]_i$;
- достоверность прогнозирования $P^{Пр.}$

$$T^{Пр} = f([V], P^{Пр}) \qquad (3I)$$

т.е.

$$\Delta_{\Sigma}^{Пр}(\Delta_{u\Sigma}, \Delta_{o\Sigma}, \Delta_{id\Sigma}) = \Phi([V], P^{Пр}) \qquad (32)$$

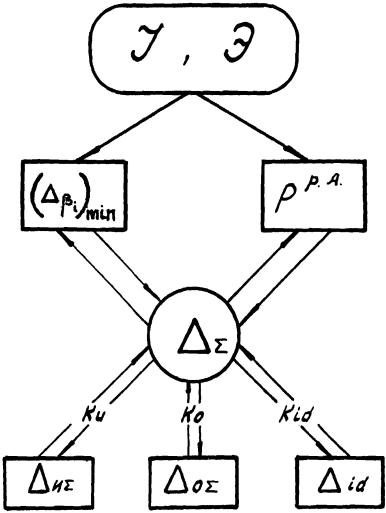


Рис. 6 Функциональная схема параллельного нормирования точности ретроспективного анализа

9.2. Интенсивность изменения параметра (роста дефекта) есть отношение приращения (абсолютной величины разности значений измеряемого параметра) ΔX к отрезку времени Δt, в течение которого произошло изменение величины параметра:

$$V = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{X_{t_{i+1}} - X_{t_i}}{t_{i+1} - t_i}$$

Значения параметра X_{t_i}, $X_{t_{i+1}}$ определяются путем натурных измерений, проводимых в процессе инструментального контроля или испытания трубопровода (аккустическая эмиссия, измерительная тензометрия, УЗ - сканирование и др.) для построения временной характеристики параметра на фиксированном интервале.

Максимально допустимая интенсивность изменения параметра обусловливается требованиями к надежности трубопроводной конструкции и ее элементов и должна назначаться в зависимости от заданной вероятности ненаступления предельного состояния на установленном интервале времени Δt.

9.3. Коэффициент запаса точности диагностирования, проводимого для прогнозирования технического состояния объектов трубопроводного строительства, назначается в соответствии с заданной достоверностью прогнозирования $P^{Пр}$.

$$K_{diagn}^{пр} = \frac{\Delta_{\Sigma}^{пр}}{[V]} = \Phi(P^{пр}) \qquad (33)$$

Коэффициенты запаса по составляющим погрешности:

$$\left.\begin{aligned} K_u^{пр} &= \frac{(\Delta_{u\Sigma})_i}{[V]_i} \\ K_o^{пр} &= \frac{(\Delta_{o\Sigma})_i}{[V]_i} \\ K_{id}^{пр} &= \frac{(\Delta_{id\Sigma})_i}{[V]_i} \end{aligned}\right\} \qquad (34)$$

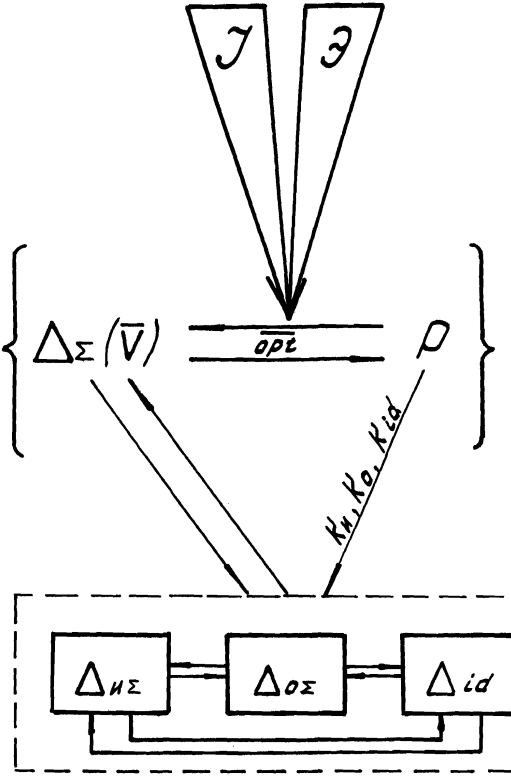


Рис. 7 Функциональная схема смешанного нормирования точности прогнозирования технического состояния

Выразив частные погрешности диагностирования по одному параметру через максимально допустимую скорость его роста и подставив полученные выражения в формулу (I5), получим выражение для вычисления суммарной погрешности диагностирования при прогнозировании технического состояния ОД по одному параметру:

$$\Delta_{\Sigma i}^{пр} = [V]_i \sqrt{(K_{ц}^{пр})^2 + (K_{о}^{пр})^2 + (K_{id}^{пр})^2} \qquad (35)$$

Для нормирования точности прогнозирования технического состояния ОД предлагается функциональная схема смешанного нормирования (рис. 7).

Начальник МТИКС — Н.А.Пименов

Руководитель темы, начальник отдела МТИКС, к.т.н. — О.И.Молдаванов

Ответственный исполнитель, асп. ВНИИСТ — И.В.Бочкова

НОРМЫ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ

Таблица

Контролируемый параметр	Пределы измерения		Погрешность измерения %
	минимальный	максимальный	
I	2	3	4
Для подготовительных и земляных работ			
Отклонение оси траншеи от прямой на длине 100D, см	0	500	1,0
Глубина траншей, м	1,0	3,0	2,0
Ширина траншеи по низу, м:			
на прямолинейных участках	1,0	3,0	5,0
на криволинейных участках	1,0	5,0	5,0
Отклонение дна траншеи от проектного положения по вертикали, см	0	50	5,0
Толщина, см:			
мягкой подсыпки траншеи в скальных грунтах	0	50	5,0
мягкой засыпки трубопровода	0	50	5,0
Для сварочно-монтажных работ			
Температура сушки сварочных материалов, °С	80	500	10
Эксцентричность покрытия электродов, мм	0,12	0,25	10
Дефекты, мм:			
покрытия электродов	0	12	5,0
поверхности стенки трубы	0	5,0	10
Овальность трубы по любому сечению, %	0	1,0	5,0
Угол скоса кромок под сварку, градусы	20	35	5,0
Зазор между кромками стыкуемых труб, мм	0,5	4,0	5,0

1	2	3	
Разностенность стыкуемых труб, мм	0	3,0	
Превышение кромок, мм	0	3,0	
Притупление кромок, мм	I,5	8,5	
Удельное контактное давление на торце трубы от действия внутреннего центратора, МПа	8,0	20	
Косина торцев свариваемых труб, градусы	0	5,0	
Сила сварочного тока, А	400	I000	
Напряжение на дуге, В	30	55	
Скорость сварки, м/ч	25	70	
Угол наклона электрода к вертикали, градусы	0	30	
Вылет электрода, мм	25	55	
Смещение электрода с зенита, мм	20	I20	)
Скорость подачи электродной проволоки, м/ч	I50	600	)
Поперечная коррекция электрода, мм	0	70	)
Ширина шва, мм	5	50	)
Высота усилия шва, мм	I,0	5,0	
Смещение кромок после сварки, мм	0	I,0	
Наружные дефекты шва (глубина), мм	0	I,0	
Длина непровара, мм	0	I50	,0
Ширина внутреннего дефекта, мм	0	5,0	,0
Экспозиционная доза рентгеновского излучения, Кл/кг	0	$2{,}58 \cdot I0^{-3}$	,0
Напряжение на ускоряющем аноде рентгеновской трубки, кВт	I00	300	
Мощность экспозиционной дозы излучения на расстоянии I м, А/кг	$2{,}58 \cdot I0^{-5}$	$I0{,}32 \cdot I0^{-6}$	,0
Предельно допустимая доза облучения до 6ч, Кл/кг	0	$5{,}I6 \cdot I0^{-4}$	,0

1	2	3	4
Для изоляционных работ			
Геометрический профиль рулона:			
длина телескопического сдвига, см	0	10	10
угол между боковой образующей и торцевой плоскостью, градусы	60	90	15
Усилие отрыва пленки от рулона, Н/м	0	1000	5,0
Угол наклона шпули, градусы	0	60	10
Нормальное усилие прижатия рабочего органа трубоочистной машины, кН	0,5	1,0	10
Тормозное усилие на шпулях, кН	0	0,5	5,0
Линейная скорость размотывания рулона, м/мин	0	50	10
Сплошность покрытия (величина испытательного напряжения при искровой дефектоскопии), В	$2 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$	10
Прилипаемость покрытия, Н/м	$1,5 \cdot 10^2$	$5,0 \cdot 10^2$	10
Толщина пленочного покрытия (один слой), мм	0,5	1,0	10
Для устройства электрозащиты			
Сила тока в цепи труба-земля для изолированного трубопровода, А	$0,5 \cdot 10^3$	20	5,0
Изменение разности потенциалов труба-земля, В	0,5	10	3,0
Удельное электросопротивление грунта, Ом·мм²/м	0,1	$100 \cdot 10^3$	5,0
Плотность тока при катодной поляризации, мА/м²	0,013	0,15	5,0

I	2	3	4
Для подводно-технических работ			
Удаление грунторазрабатывающего судна от берега, м	IO	2500	0,2
Смещение фиксированной точки оси судна относительно створа, м	0	I5	2,0
Угол между продольной осью судна и створом, градусы	0	20	5,0
Угол поворота стрелы относительно оси судна (для одночерпковых снарядов), градусы	0	90	5,0
Глубина опускания рабочего органа землесосного снаряда, м	0	30	2,0
Боковой крен судна, градусы	0	I0	5,0
Перемещение судна по становому тросу, м	0	300	5,0
Нагрузка на механические грунтозаборные устройства, кН	0	500	5,0
Глубина воды в месте грунтозабора и отвала, м	2	30	I,0
Расход пульпы, $м/с^3$	0,3	I,5	5,0
Глубина воды с фиксацией удаления от берега и местоположения от проектного и контрольного створа, м	I0	2500	0,2
Ширина траншеи по низу, м	2,5	20	5,0
Толщина слоя грунта над верхом трубопровода, м	0,5	5,0	5,0
Усилие лебедки, кН: тяговой	0	$3 \cdot I0^3$	2,0
тормозной	0	500	5,0
Глубина погружения опорных устройств, м	0	40	4,0
Нагрузка на опорные устройства при погружении трубопровода, кН	0	I00	5,0
Расстояние погружаемого (- образного) участка от берега, м	I00	2500	I,0
Деформация трубопровода в процессе укладки (радиус кривизны оси трубопровода), м	200	2000	2,0

1	2	3	4
Глубина воды до верха уложенного трубопровода, м	I,5	40	I,0
Горизонтальное смещение оси уложенного трубопровода от проектного створа,м	0	I,0	I,0
Для испытаний трубопроводов на прочность и герметичность			
Содержание кислорода в газовоздушной смеси при продувке или испытании трубопровода, %	0,5	5,0	2,0
Объем заполнения полости трубопровода при промывке, %	5,0	20	5,0
Скорость перемещения, км/ч:			
очистного поршня при промывке	0	3,0	10
поршней-разделителей при продувке трубопроводов, монтируемых на опорах	0	20	5,0
Скорость подъема давления при пневмоиспытании трубопровода, МПа/ч	0	0,7	2,0
Величина испытательного давления, МПа	0	40	1,0
Величина утечки при гидравлических испытаниях трубопровода, $м^3$/ч	0,1	-	10
Уровень снижения давления при пневмоиспытаниях (проверка на герметичность), %/ч	0	3,0	10
Скорость движения поршней-разделителей при удалении воды из газопровода, км/ч	0	15	1,0

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. ГОСТ 23564-79 Техническая диагностика. Показатели диагностирования. М., Изд-во стандартов, 1979.

2. РД 102-32-85 Методические указания по нормированию технологической точности и метрологического обеспечения производства сварочно-монтажных работ при сооружении магистральных трубопроводов. М., ВНИИСТ, 1985.

3. Молдаванов О.И., Андрианов В.Р., Молдаванова И.Г. Метрологическое обеспечение трубопроводного строительства. М., Недра, 1984.

4. Айвазян Г.Г., Тронь А.П., Копейкин Г.И. и др. Справочник по вероятностным расчетам. М., Воениздат, 1977.

gost.e-ecolog.ru