

**«Оценка риска с
использованием
результатов
технического
диагностирования»**

**В.Н. Панчиков, Иванов В.И.
ОАО «Оргэнергонефть», НТЦ ПБ
8-906-043-11-94; ivi@istel.ru**

Безопасность – основа всех требований в промышленности и обществе

Безопасность – состояние защищенности жизненно важных интересов человека, личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз.

Безопасность ↔ Опасность

Безопасность \approx 1 – Опасность

Б \approx 1 – О

S = 1 – R (риск)

Оценка Риска
позволяет установить
уровень безопасности

Величина Риска -
количественная мера
безопасности

Риск -
мера безопасности

Риск - позволяет
измерить безопасность

Система обеспечения безопасной работы с использованием НК-ТД



Вероятностные оценки

Вероятностные оценки

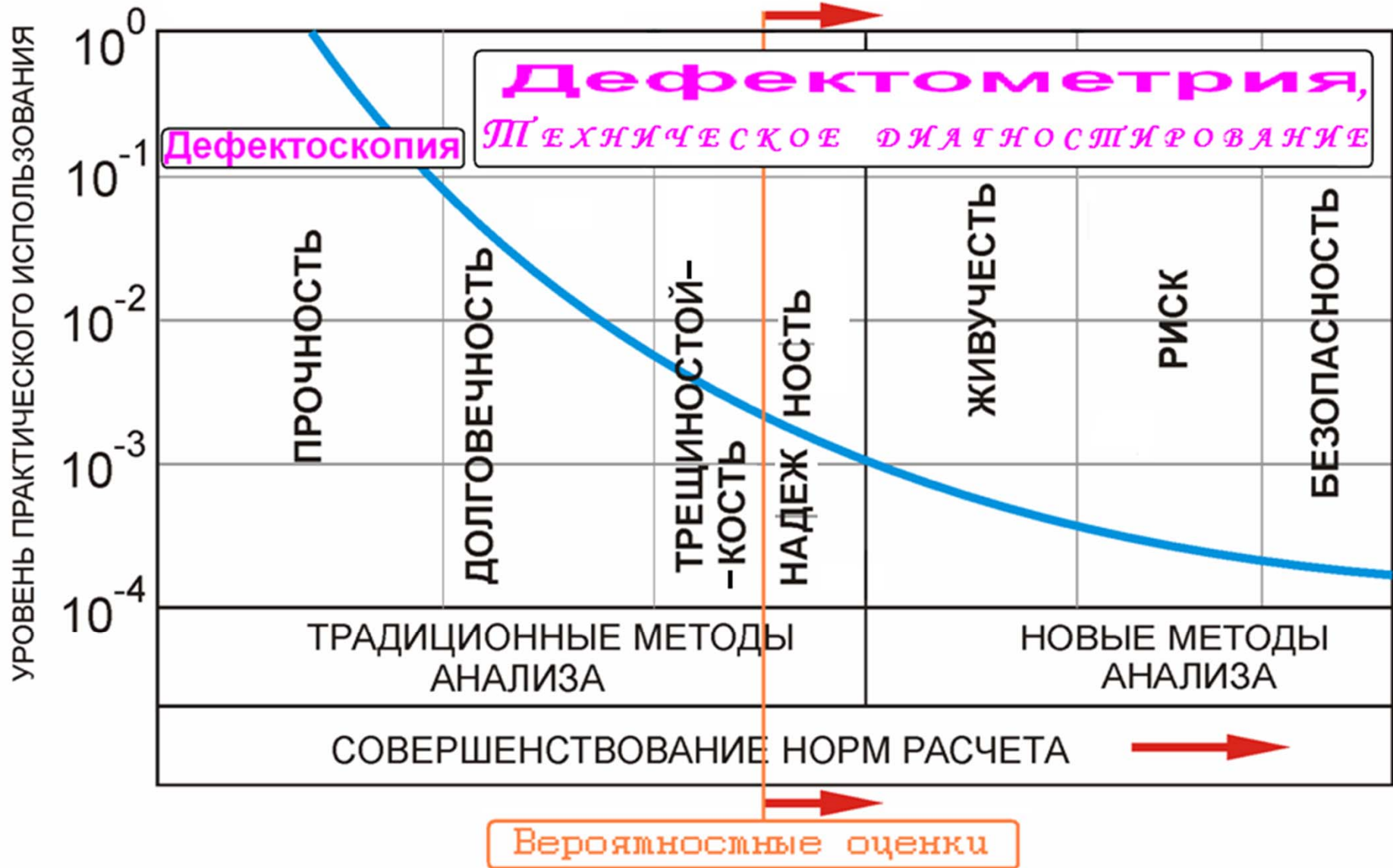
Вероятностные оценки



Вероятностные оценки



РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Анализ Рисков

Риск – совокупный фактор вероятности возникновения нежелательного события и его последствий.

Риск разрушения (**R**) объекта объединяет

- вероятность разрушения (**P**) с
- мерой (тяжестью) последствий этого разрушения (**V**).

$$R = P \cdot V$$

В основе менеджмента рисков лежит концепция приемлемого риска, определяемого с учетом достигнутого уровня техники и общественной пользы от осуществления опасной деятельности.

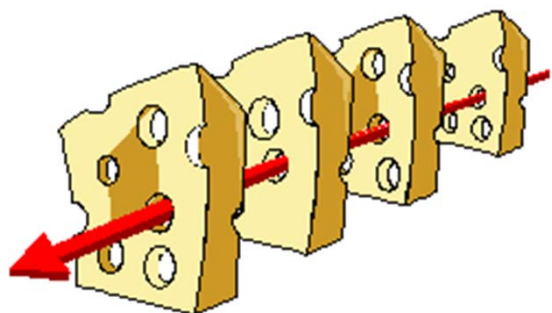
Матрица "Вероятность отказа – тяжесть последствий".

Классификация Рисков: 9 классов.
Классификация экспертов и организаций: 3 класса

Последствия		I	II	III	IV	V
Вероятность		10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}
5	10^{-2}	4	5	6	7	8
4	10^{-3}	3	4	5	6	7
3	10^{-4}	2	3	4	5	6
2	10^{-5}	1	2	3	4	5
1	10^{-6}	0	1	2	3	4

Модель причинной обусловленности событий «Швейцарский сыр»

(критика модели профессора Д. Ризона)

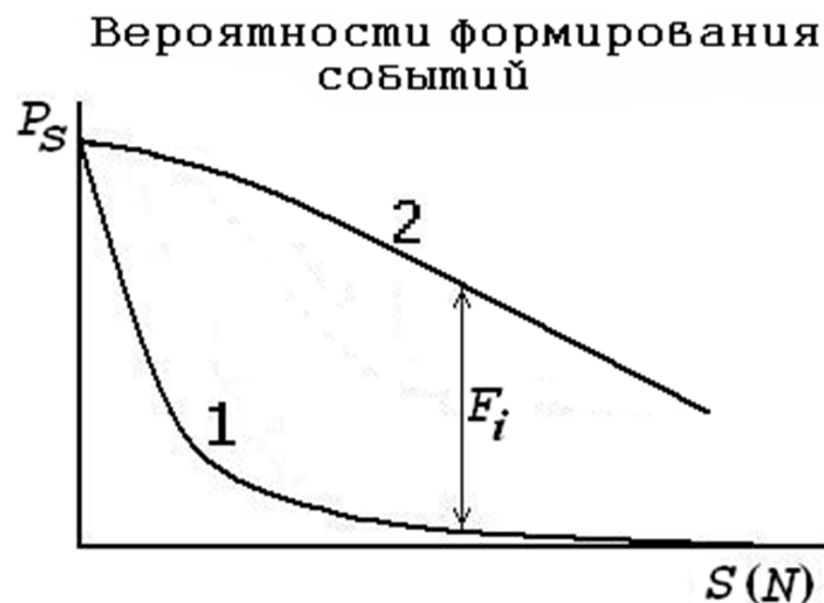


$$P_S = (P_0)^N$$

**Стандартный расчет
вероятности событий**

$$P_S = (P_0)^{\left(\frac{N}{i} - 1\right) + a(i-1)}$$

**Вероятность синергического
формирования событий**



1.Стандартное формирование.
2.Синергическое формирование.

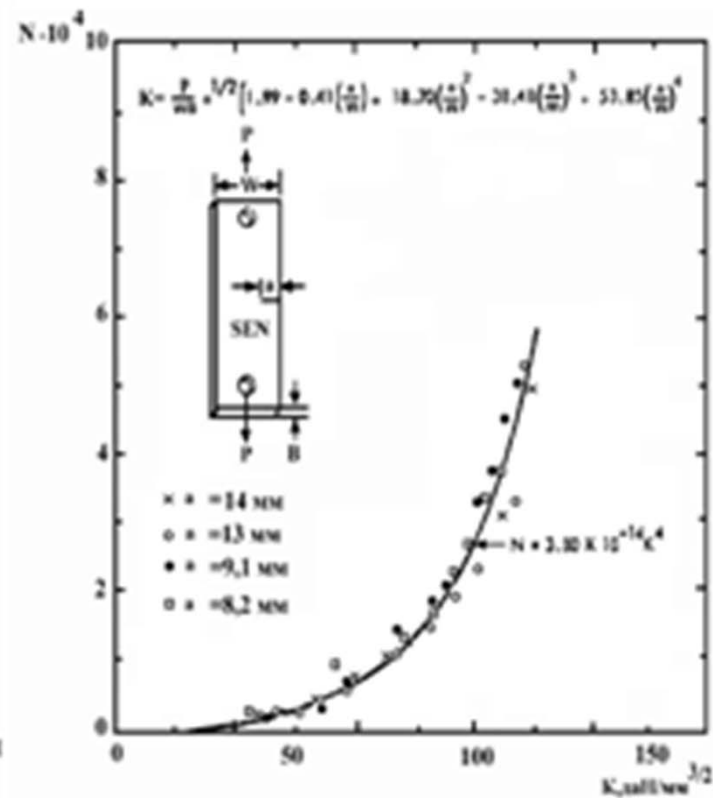
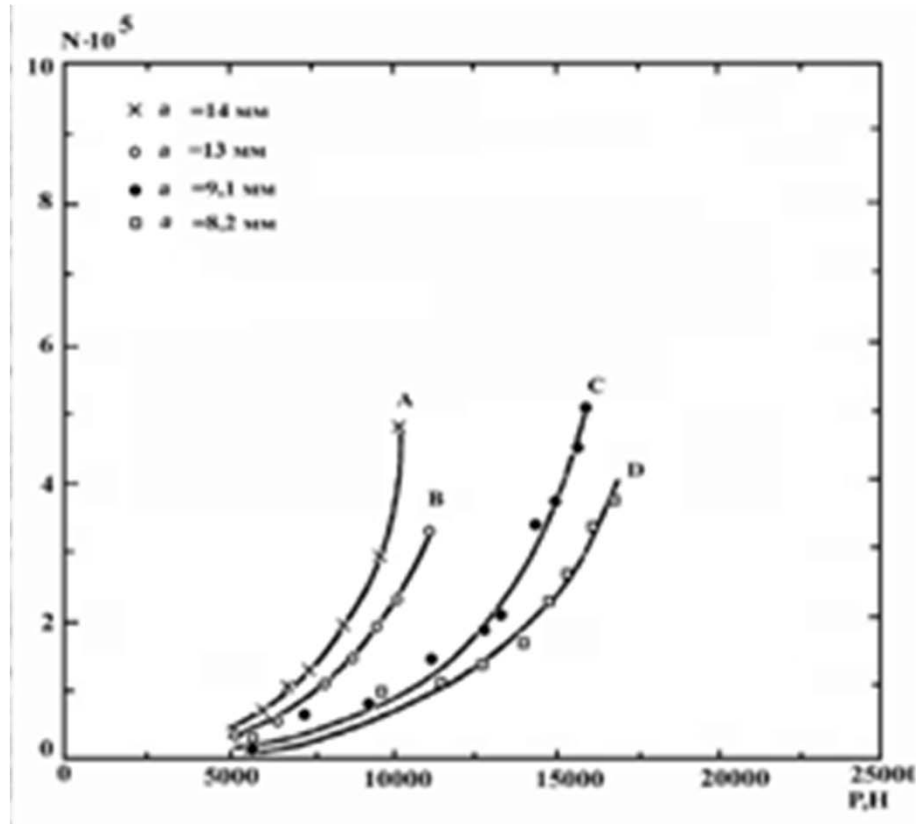
$$F_i = \frac{P_s}{P_s^{(\min)}} = P_0^{\left[N\left(\frac{1}{i} - 1\right) + a(i-1)\right]}$$

**Фактор увеличения
синергической вероятности**

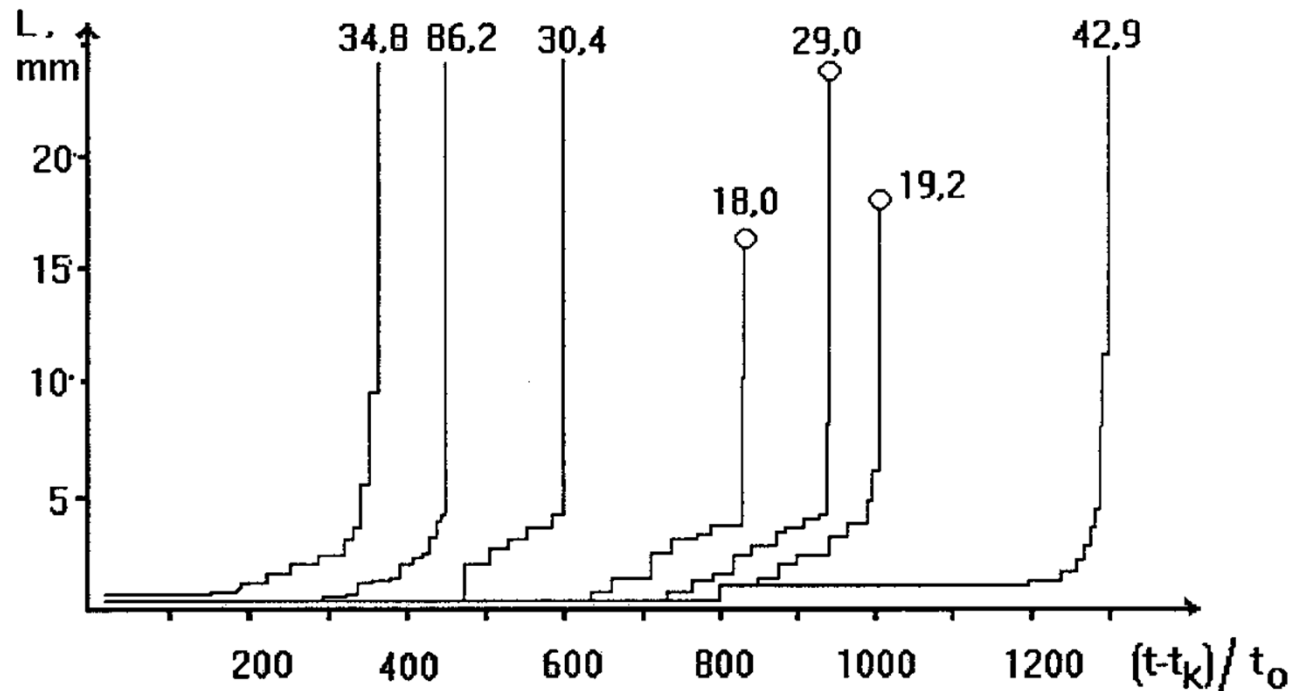
Система ЭПБ – ТД – НК

- **Экспертиза промышленной безопасности** - оценка соответствия объекта экспертизы предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности, результатом которой является заключение
- **Техническое диагностирование** - определение технического состояния объекта с целью оценки промышленной безопасности и прогнозирования ресурса
- **Неразрушающий контроль** – контроль, при котором не должна быть нарушена пригодность технических устройств, зданий и сооружений к применению и эксплуатации

Разброс моментов аварии при монотонном нагружении объекта



Разброс моментов аварии при случайном циклическом нагружении объекта



Исходный размер трещин – 0,5 мм.

Среднее число циклов до разрушения – 900.

$N_{max} = 1400;$

$N_{min} = 400;$

$N_{max} / N_{min} = 3,5;$

$L_{min} = 18 \text{ mm};$

$L_{max} = 102,7 \text{ mm};$

$L_{max} / L_{min} = 5,7.$

НК - ТД и оценка риска аварии

Проблемы:

1. Обнаружить дефект - НК
2. Идентифицировать природу дефекта - ДМ
3. Измерить параметры дефекта - ДМ
4. Расчитать прочность объекта - МР
5. Прогнозировать рост дефекта - МР
6. Оценить снижение надежности объекта - МР
7. Произвести оценку риска эксплуатации на всех стадиях жизни объекта - ТД

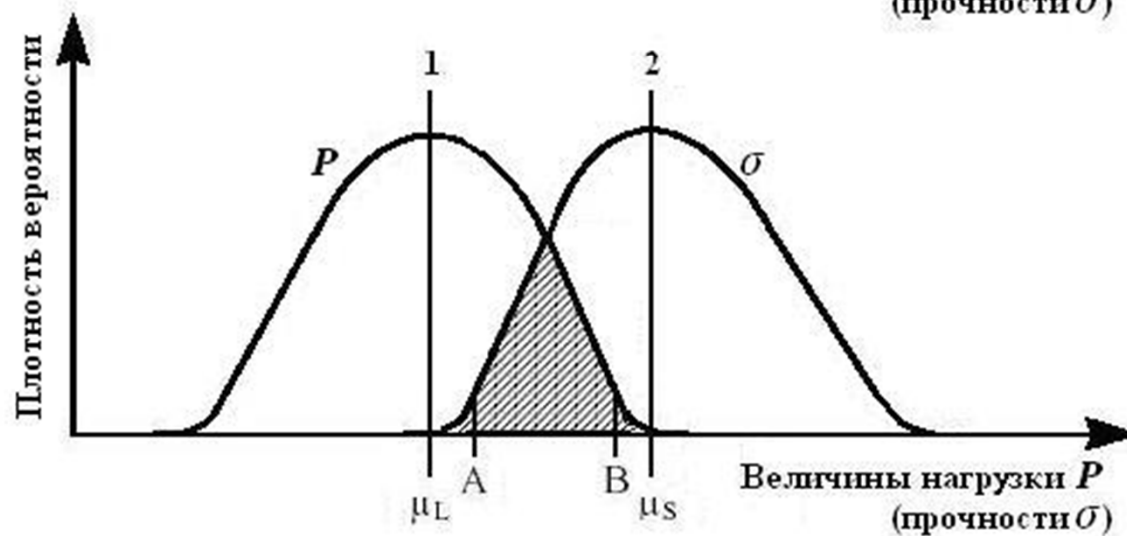
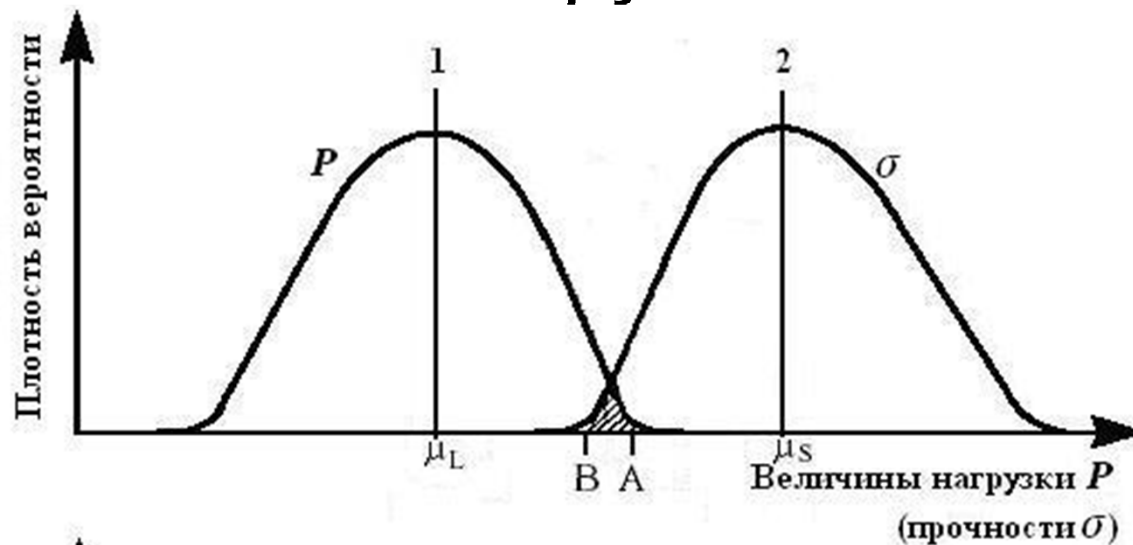
Техническое диагностирование -

определение технического состояния объекта ...
с целью оценки промышленной безопасности и
прогнозирования ресурса

Состав ТД

- Анализ технической документации;
 - Оперативная (функциональная) диагностика;
 - Неразрушающий контроль при системном подходе: поиск и обнаружение дефектов, измерение параметров дефектов;
 - Выяснение причины возникновения дефектов, металло-фрактографический и химический анализ, исследования коррозии;
 - Определение механических характеристик, расчет прочности (статической, циклической, долговременной), создание моделей развития дефектов;
 - Испытания объекта (гидравлические, пневматические);
 - Оценка промышленной безопасности объекта;
 - Управление развитием дефектов (компенсирующие мероприятия);
 - Прогнозирование остаточного ресурса с оценкой риска аварии.
- Основная проблема ТД – реальная связь между составляющими ТД

Распределения вероятностей прочности и нагрузки



Средние значения нагрузки (1) прочности (2)

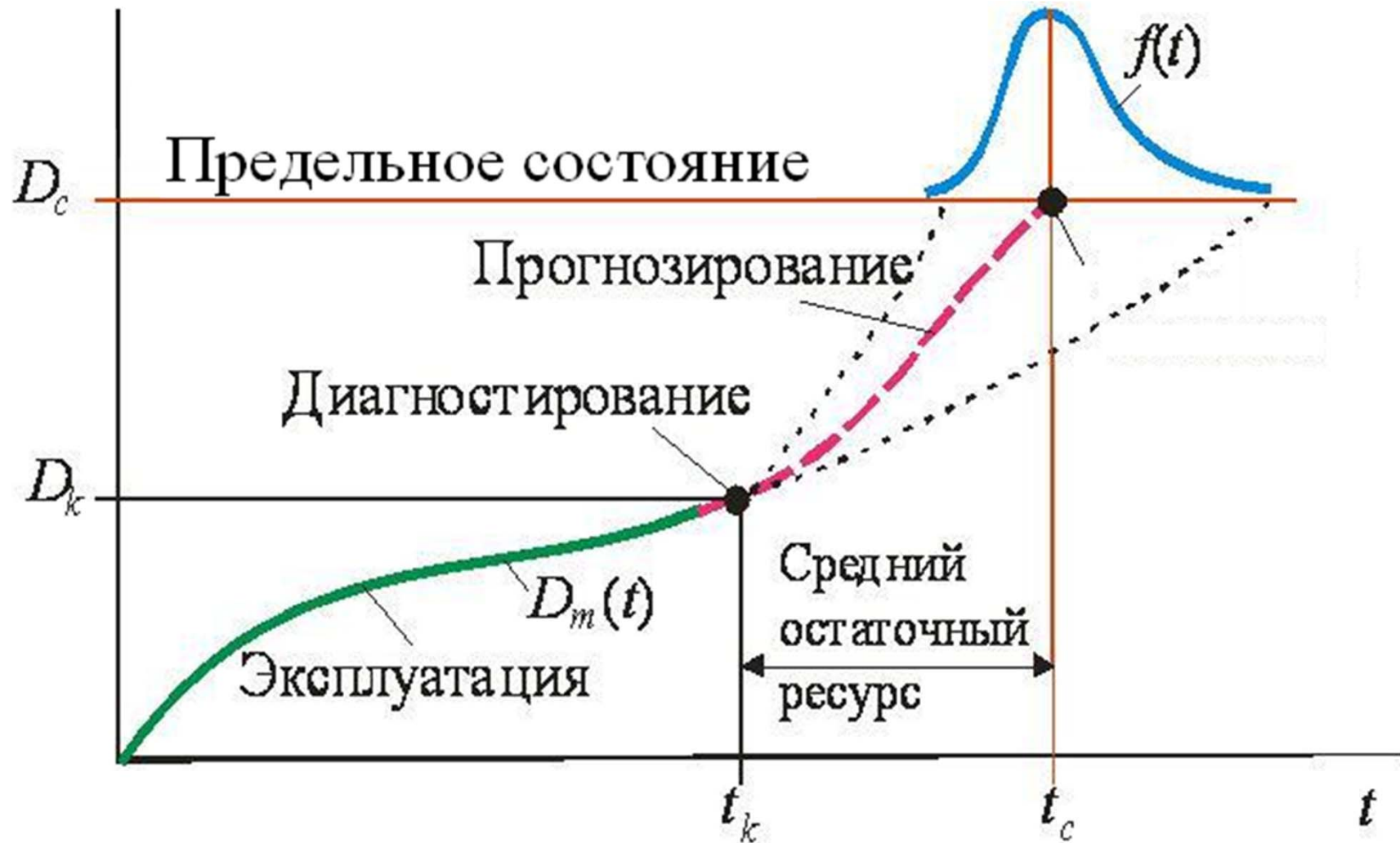
Развитие подходов оценки дефектов



Схема формирования решений в НК



Схема прогнозирования безопасности остаточного ресурса



Рассеяние амплитуд эхо-сигналов при УЗК сварных соединений (Nordtest)



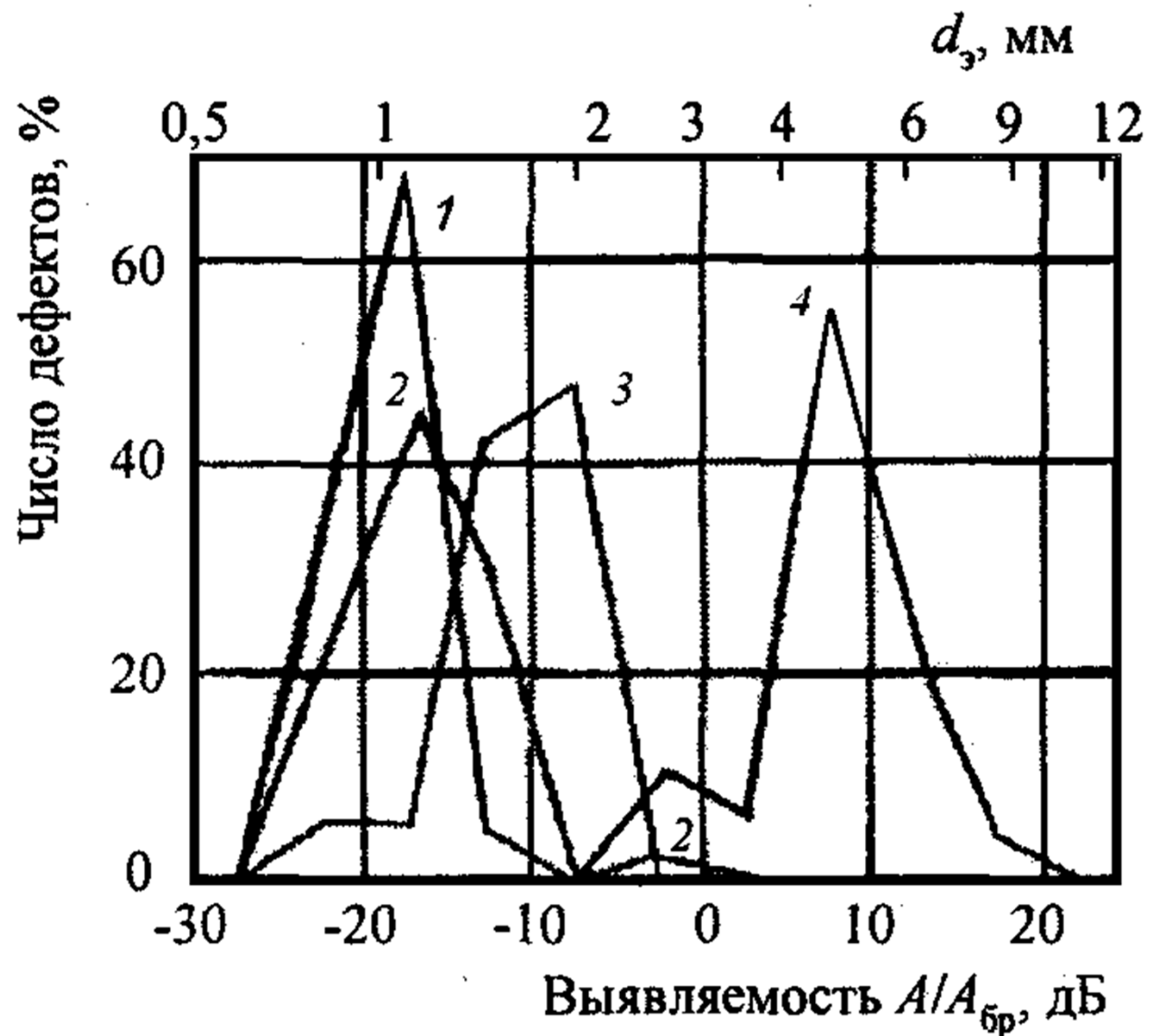
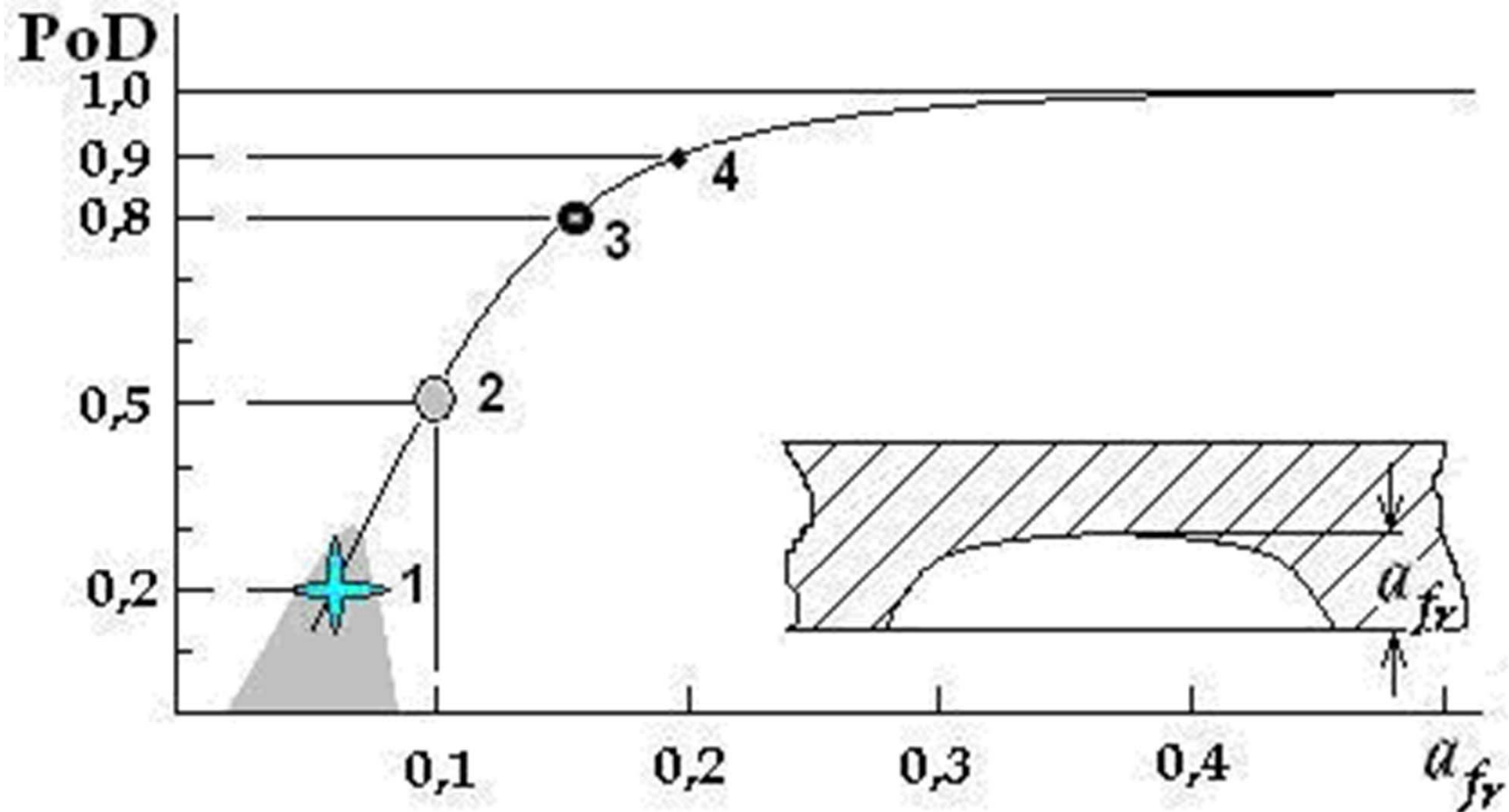
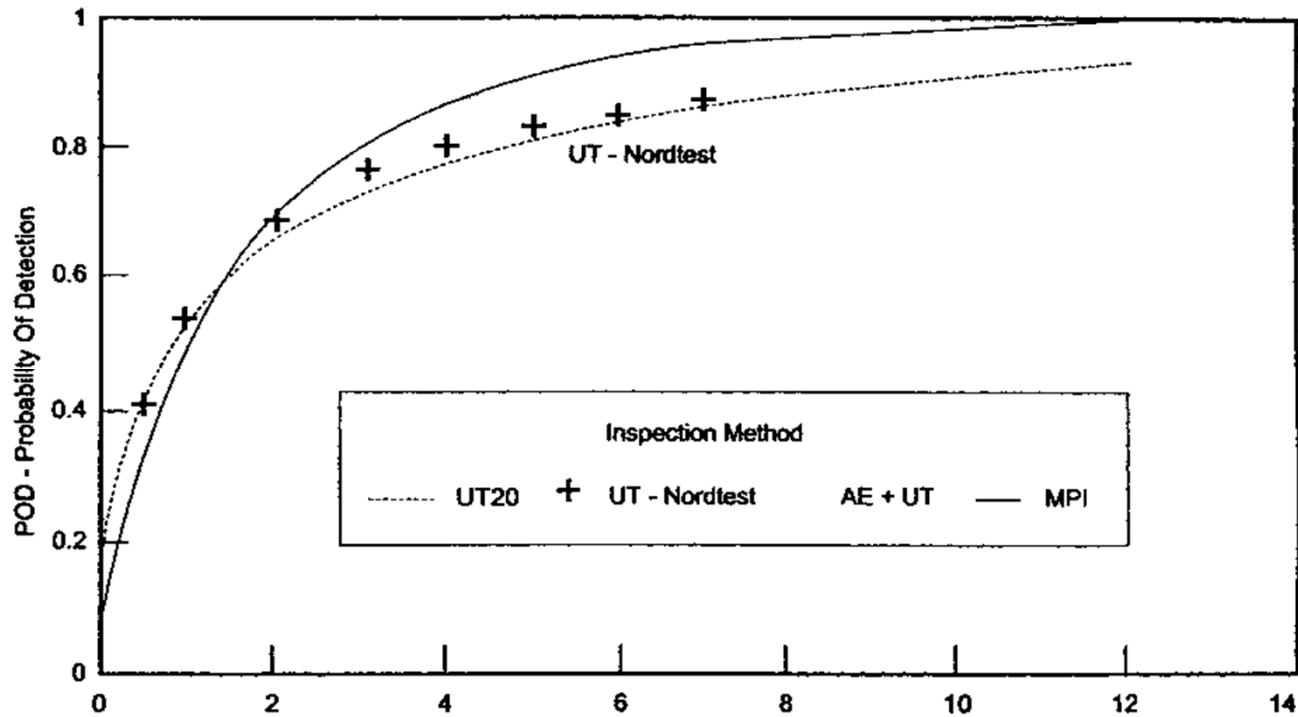


Рис. 8.38. Сравнительная среднестатистическая выявляемость трещин и непроваров в стыковых сварных соединениях:
 1 – ПЭП совмещенный $\beta = 30^\circ$; 2 – $\beta = 40^\circ$; 3 – $\beta = 50^\circ$; 4 – БС с углами

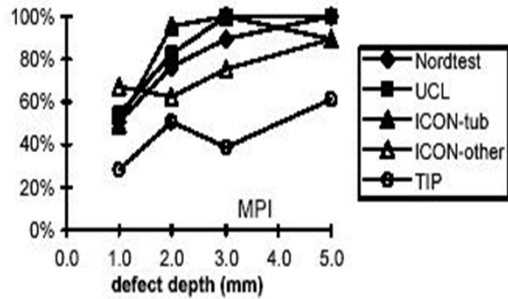
Типичная диаграмма Вероятности Обнаружения Дефекта (ВОД).



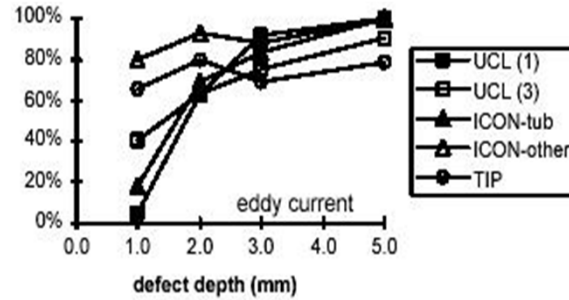
Вероятность (Достоверность) обнаружения дефектов POD - диаграмма



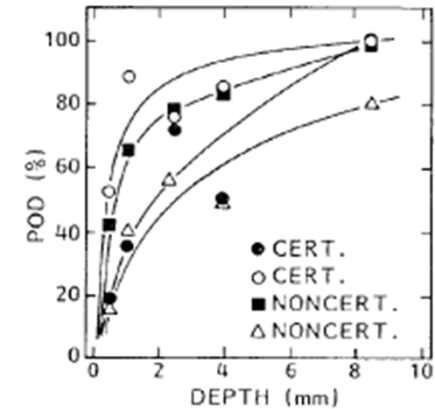
Примеры PoD диаграмм



MPI: PoD for surface defects



Eddy Current: PoD for surface defects



(c) Effect of inspectors' competence

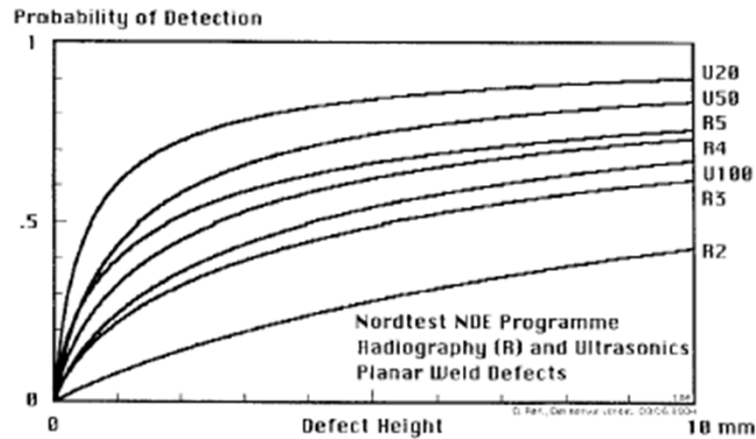


Figure 6.3 PoD versus defect height for planar weld defects using UT and RT (Nordtest)

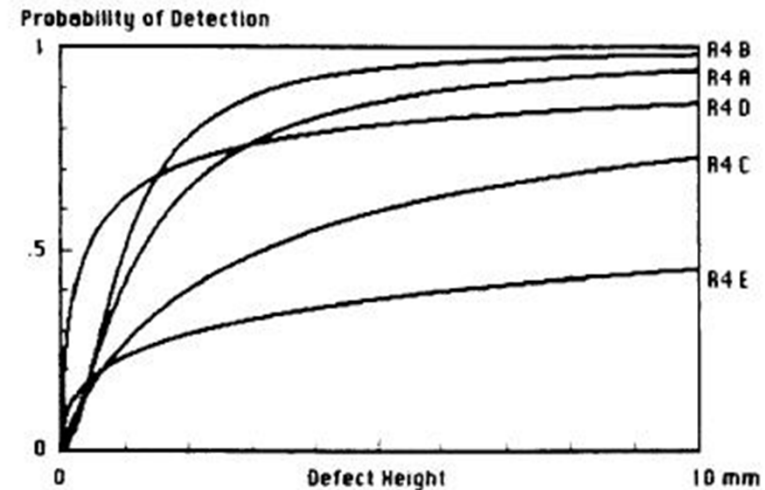
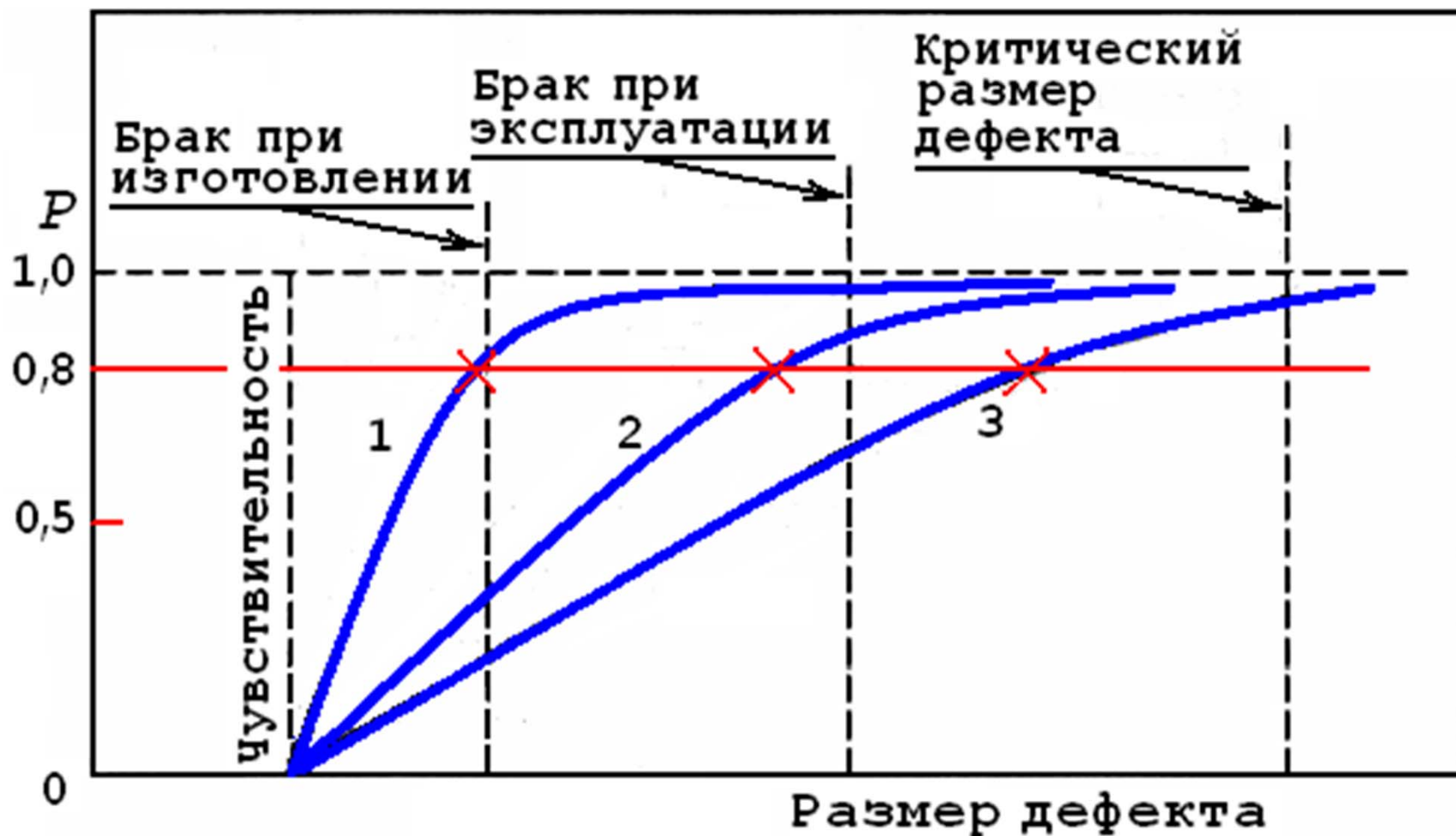


Figure 7.1: PoD curves for RT (sensitivity level R4) for different defect types

Практическое использование POD-диаграмм

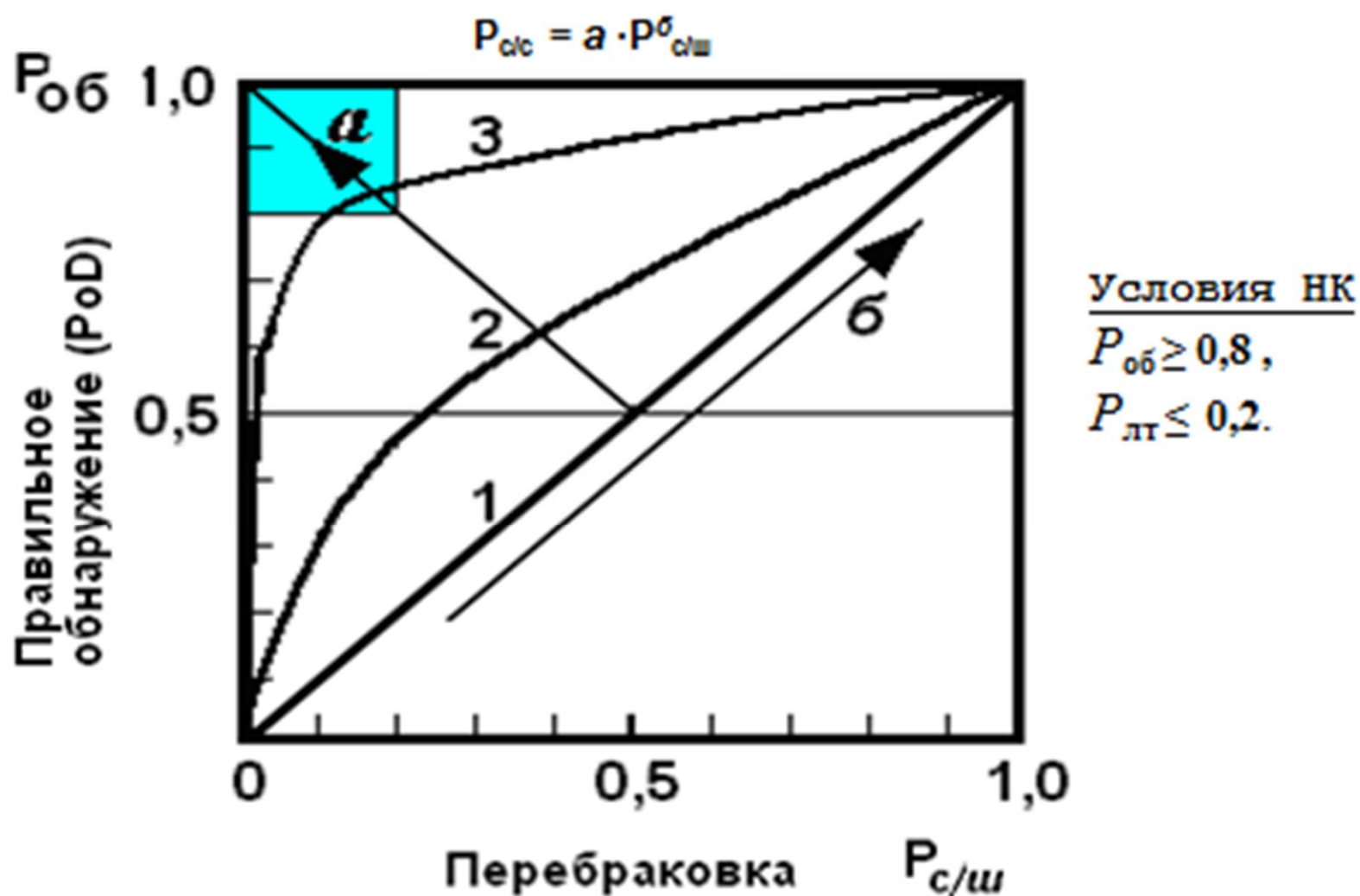


**Вероятность обнаружения дефекта –
стоимость получения шести
различных кривых (\$250,000 -
\$1,500,000)**

**Probability of Detection - An NDT Solution
Cost of conducting six different POD demonstrations
(\$250,000 - \$1,500,000)**

	FAA-737 Eddy Current	C-141 Second Layer SJ	C-141 First Layer SJ	C-130 Hat Section	C-141 Image Weep Holes	C-141 NN Weep Holes
Approximate Cost of POD	\$1,500,000	\$800,000	\$250,000	\$350,000	\$250,000	\$350,000

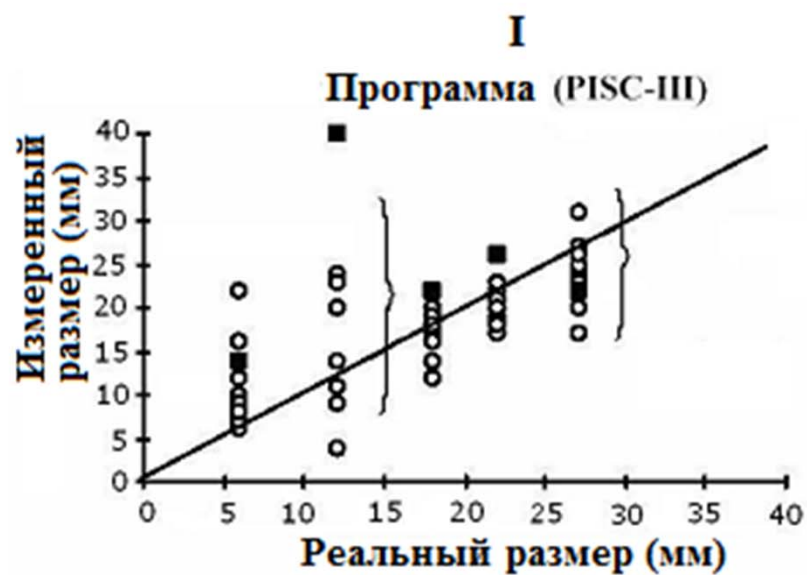
Рабочие характеристики процесса обнаружения
дефектов (сравнительные операционные
характеристики).
ROC – диаграмма.



Калибровочные характеристики УЗК систем:

I - Данные из программы PISC-III,

II - обобщенная калибровочная характеристика.



Модификация методик УЗК

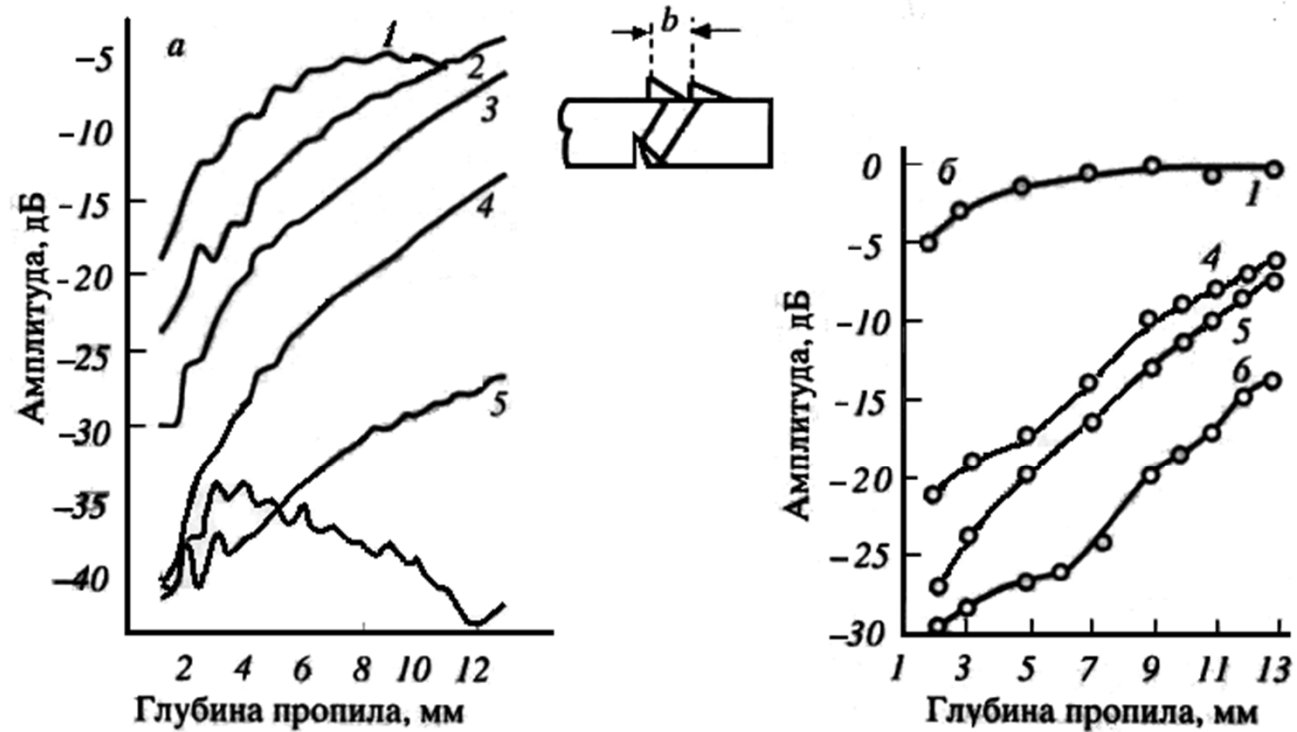
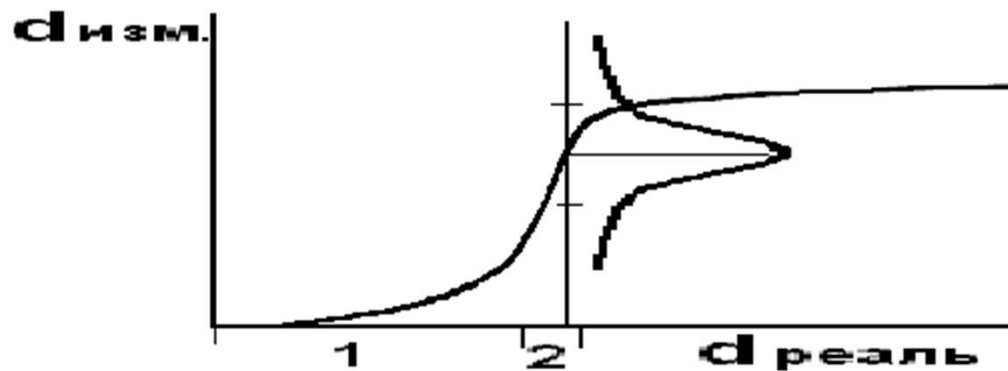


Рис. 3. Расчетные (а) и экспериментальные (б) зависимости амплитуд сигналов от глубины пропила при различных значениях базы, b — расстояния между двумя преобразователями ($f = 2,5$ МГц, $\beta = 30^\circ$).

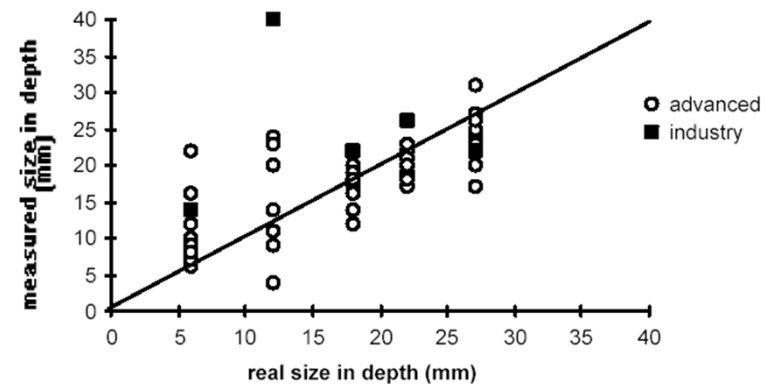
1 — $b = 0$; 2 — 10; 3 — 15; 4 — 20; 5 — 25; 6 — 30 мм.

Калибровочные характеристики в НК



а

а. Обобщенная калибровочная характеристика.

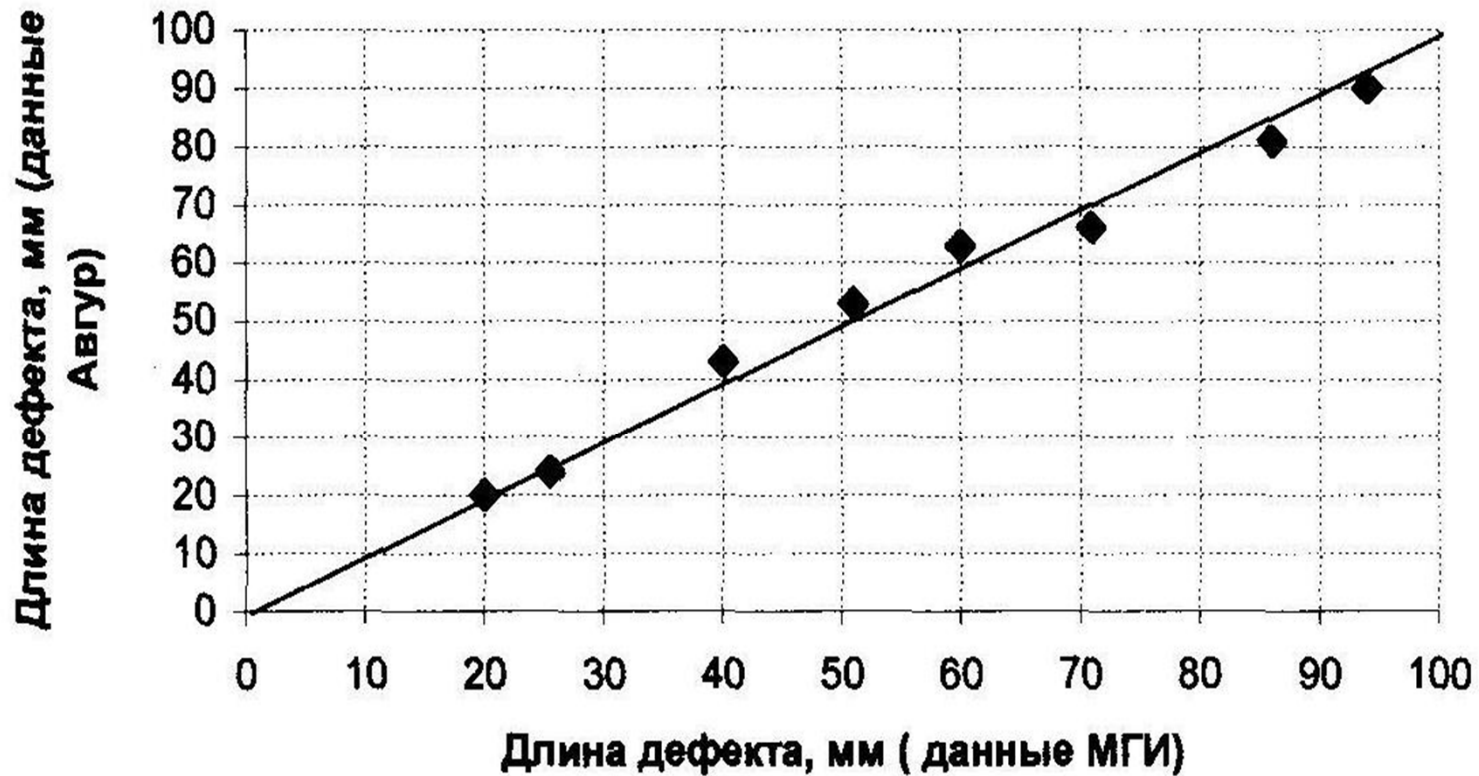


б

Sizing performance flaws in full scale vessel (PISC-III)
(flaws 1, 2, 7, 11, 12)

б. Калибровочная характеристика, полученная в программе PISC-III для УЗК.

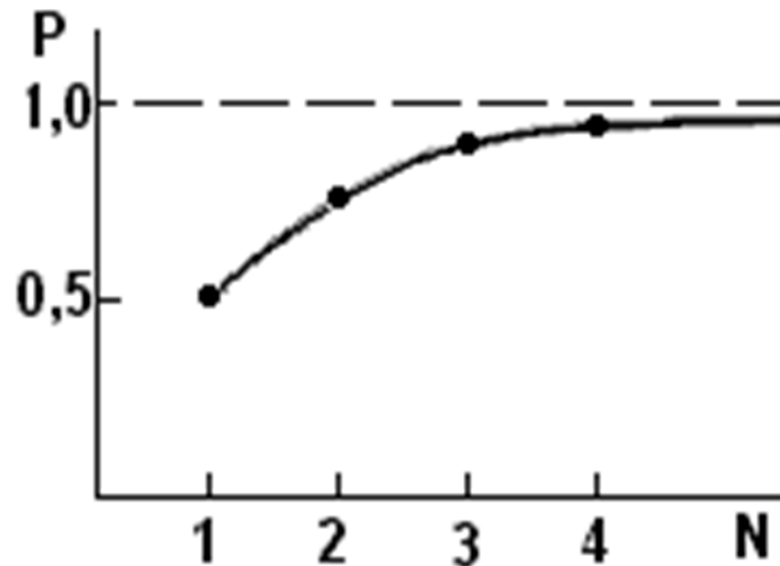
Калибровочная (корреляционная) характеристика экспертной УЗ системы



Сравнение результатов определения длины дефектов по данным Авгур и МГИ

Независимый контроль k числом операторов

$$P = 1 - (1 - P)^k \quad \text{или} \quad P = 1 - (1 - P_1) \dots (1 - P_k)$$



При $P_1 = 0,5$,
2-кратн = 0,75,
3-кратн = 0,875,
4-кратн = 0,94.

Два оператора:

1) $P_1 = 0,6$;

$P_2 = 0,6$;

$P_{\Sigma} = 0,84$;

2) $P_1 = 0,6$;

$P_2 = 0,9$;

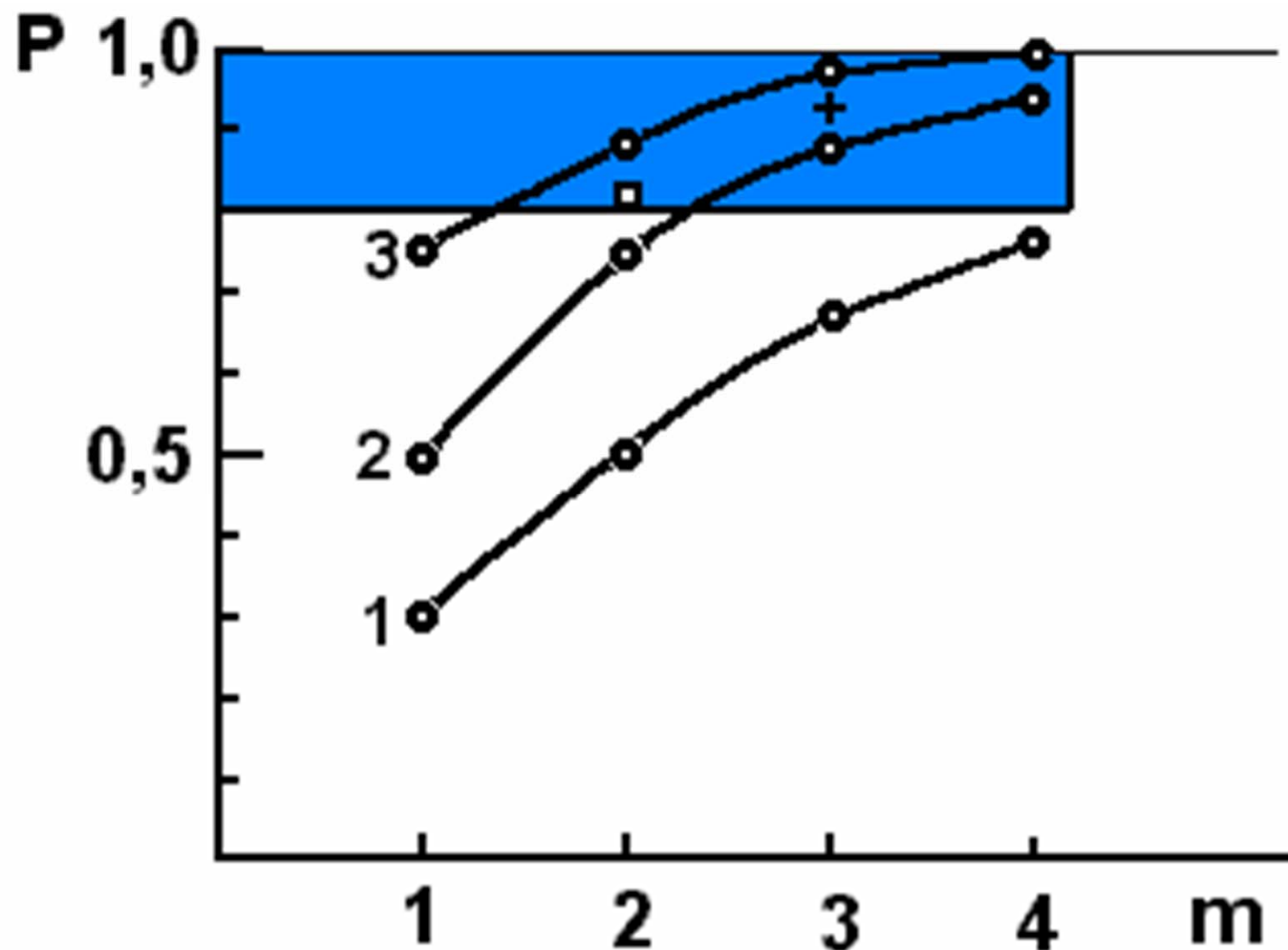
$P_{\Sigma} = 0,96$;

3) $P_1 = 0,6$;

$P_2 = 0,95$;

$P_{\Sigma} = 0,98$;

Связь достоверности P с числом статистически независимых испытаний m



Параметры контроля

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P_i)^k$$

- Пользуясь этим выражением можно установить ряд параметров НК. Например, можно определить количество необходимых контрольных проверок:

$$k = \frac{\lg(P_{\Sigma} - 1)}{\lg(1 - P_i)} \quad \text{либо:}$$

$$P_i = 1 - \sqrt[k]{1 - P_{\Sigma}}$$

Мульти-С-Тестинг

Корнилова А.В.К вопросу о комбинировании методов неразрушающего контроля». Безопасность труда в промышленности. 2007, № 6, с. 49-54

Таблица 1

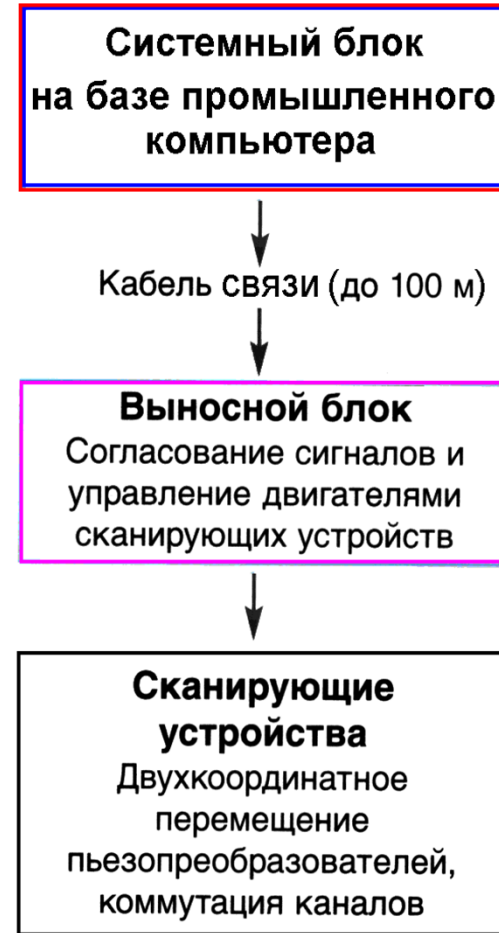
Вид НК (j)	Дефекты поверхности					Несоответствие по структуре		Несплошности в теле отливки					Несоответствие по геометрии		Вероятность обнаружения дефектности P_{Σ}	
	залив	плена	вмятина	другие механические повреждения	неметаллические, металлические включения	ликвидация	флокен	горячая трещина	холодная трещина	рыхлота	газовая раковина	утяжина	пористость	неслитина		разностенность
	Вероятность обнаружения $P_{обн\ ji}$															
Оптический (О)	0,8	0,6	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,25
Радиационный (Р)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4	0,6	0,44
Магнитный (М)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,6	0,12
Капиллярный (К)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,4	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,11
Вихретоковый (В)	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,4	0,6	0,25
Акустический (А)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,8	0,8	0,8	0,6	0,8	1,0	0,6	0,6	1,0	0,52

Вероятности обнаружения дефектов при комбинировании методов неразрушающего контроля (Корнилова А.В.)

Сочетание видов НК (<i>k</i>)	Залив	Плена	Вмятина	Другие механические повреждения	Неметаллические, металлические	Ликвидация	Флокен	Горячая трещина	Холодная трещина	Вероятность обнаружения дефектности
	Вероятность обнаружения $P_{обн\ k/}$									
O+M+K+A	0,80	0,60	0,80	0,80	0,80	0,00	0,96	0,88	0,93	0,78
O+M+K+P	0,80	0,60	0,80	0,80	0,80	0,40	0,80	0,76	0,86	0,77
O+K+B+A	0,88	0,60	0,88	0,80	0,88	0,00	0,80	0,93	0,96	0,81
O+K+B+P	0,88	0,60	0,88	0,80	0,88	0,40	0,00	0,86	0,91	0,75
O+P+K+A	0,80	0,60	0,80	0,80	0,96	0,40	0,80	0,95	0,97	0,82
O+B+A+P	0,88	0,60	0,88	0,80	0,98	0,40	0,80	0,95	0,97	0,87
O+M+B+A	0,88	0,60	0,88	0,80	0,88	0,00	0,96	0,88	0,93	0,76
O+P+M+K+B	0,88	0,60	0,88	0,80	0,88	0,40	0,80	0,86	0,91	0,81
O+P+M+K+A	0,80	0,60	0,80	0,80	0,96	0,40	0,96	0,95	0,97	0,87
O+P+K+B+A	0,88	0,88	0,60	0,80	0,98	0,40	0,80	0,97	0,98	0,87
O+P+A+M+B	0,88	0,88	0,60	0,80	0,98	0,40	0,96	0,96	0,97	0,88
O+M+K+B+A	0,88	0,60	0,88	0,80	0,88	0,00	0,96	0,93	0,96	0,82
O+P+M+K+B+A	0,88	0,60	0,88	0,80	0,98	0,40	0,96	0,97	0,98	0,89

ЭКСПЕРТНЫЙ УЗК

- Голографические системы
- Комплексные системы мультипараметрического комплексного УЗК:
 - SAFT
 - ALOK
 - TOFD
 - Многочастотная локация



Экспертный ультразвуковой контроль сварных соединений трубопроводов на АЭС

Типоразмер трубопровода	Количество швов представленных для Экспертного Контроля	Количество швов, в которых обнаружены дефекты (дополнительно)	Количество швов подвергаемых периодическому мониторингу	Направлено в ремонт по результатам расчета прочности
Ду 300	763	236	374	85
Ду 800	385	25	105	18
Ду 850	66	12	-	-
Всего	1214 – (100 %)	273 – (22,5 %)	479 – (39 %)	103 – (8,5 %)

Экспертный ультразвуковой контроль сварных соединений трубопроводов на АЭС. Типы неоднородностей.

- Неровности и провисание корня шва – 64 %;
- Несплошности плоскостного типа – 13 %;
- Объемные дефекты – 4 %;
- Смещение кромок шва – 8 %;
- Неквалифицированные несплошности – 11%.

Современные проблемы НК

- Повышение чувствительности, учитывая новые требования перед НК.
- Увеличение количества извлекаемой информации (более точное измерение размеров, оценка формы дефекта, вида, ориентации и т.д.).
- .Автоматизация процесса контроля (автоматизация сканирования).
- .Автоматизация обработки информации (распознавание образов, нейронные цепи).
- .Разработка новых методов НК (голография, АЭ).
- .Создание новых подходов и нового поколения НТД, отражающее то, что НК является измерительным процессом (введение в НТД калибровочных характеристик) и случайным процессом (что требует введения специфических параметров и определение показателей достоверности НК).
- .Разработка новых систем оценки результатов НК, например, создание систем классификации дефектов по степени их реальной опасности и разработка новых критериев бракования объектов по результатам НК.
- .Поиск связей НК и смежных областей, участвующих в оценке надежности и безопасности производственного объекта, оценке ресурса, определению его предельного состояния.

Содержание понятия дефектометрия

- Дефектометрия представляет собой комплексный многоэтапный процесс, основными составляющими которого:
 - **Обнаружение (поиск) дефектов.**
 - **Разрешение (различение) дефектов.**
 - **Идентификация (типизация) дефектов.**
 - **Измерение параметров дефектов (на первых этапах оценка параметров).**
 - **Введение показателей достоверности, погрешности измерения.**
- При измерении (оценке) параметров дефектов требуется определить:
 - **Координаты дефекта.**
 - **Размер дефекта.**
 - **Форму дефекта.**
 - **Ориентацию дефекта.**

Система технических средств, используемых при экспертизе промышленной безопасности



Информационно-диагностические системы (ИДС)

— технические системы, извлекающие информацию при выполнении диагностических работ.

ИДС – технические средства, используемые для получения информации о техническом состоянии объекта.

ИДС представляют собой совокупность функционально объединенных воспринимающих, обрабатывающих, вычислительных, контрольных, диагностических, измерительных, и других вспомогательных технических средств и каналов для получения информации о конкретном объекте диагностирования, преобразования информации, обработки ее с целью представления эксперту в требуемом виде или автоматического осуществления функций контроля, диагностики, идентификации, распознавания образов. Краткое определение понятия ИДС.

Средство НК

— техническое устройство, вещество, материал, программный продукт, используемые для получения и обработки информации об объекте для проведения неразрушающего контроля.

Признание сотрудника Госстандарта Козлова В.В.:

Все дефектоскопы не являются средствами измерений, а представляют собой особую группу индикаторных устройств, параметры которых не поверяют, а измеряют.

Средство измерения –

техническое устройство, предназначенное для измерений (специальное техническое устройство, используемое для нахождения опытным путем значения физической величины).

Средства измерения при выполнении НК и ТД – те средства, которые дают значение параметров объекта измерения (толщины стенки объекта, размеры и координаты дефекта, температуру и т.д.) и позволяют определить погрешности измерения.

Содержание методики НК

В методике неразрушающего контроля должны быть указаны параметры:

1. Предельная чувствительность.
2. Чувствительность текущая (поисковая).
3. Вероятность обнаружения того или иного дефекта или операционная характеристика.
4. Калибровочные характеристики с погрешностями.
5. Достоверность методики НК (при определенных условиях: средства контроля, квалификация оператора).

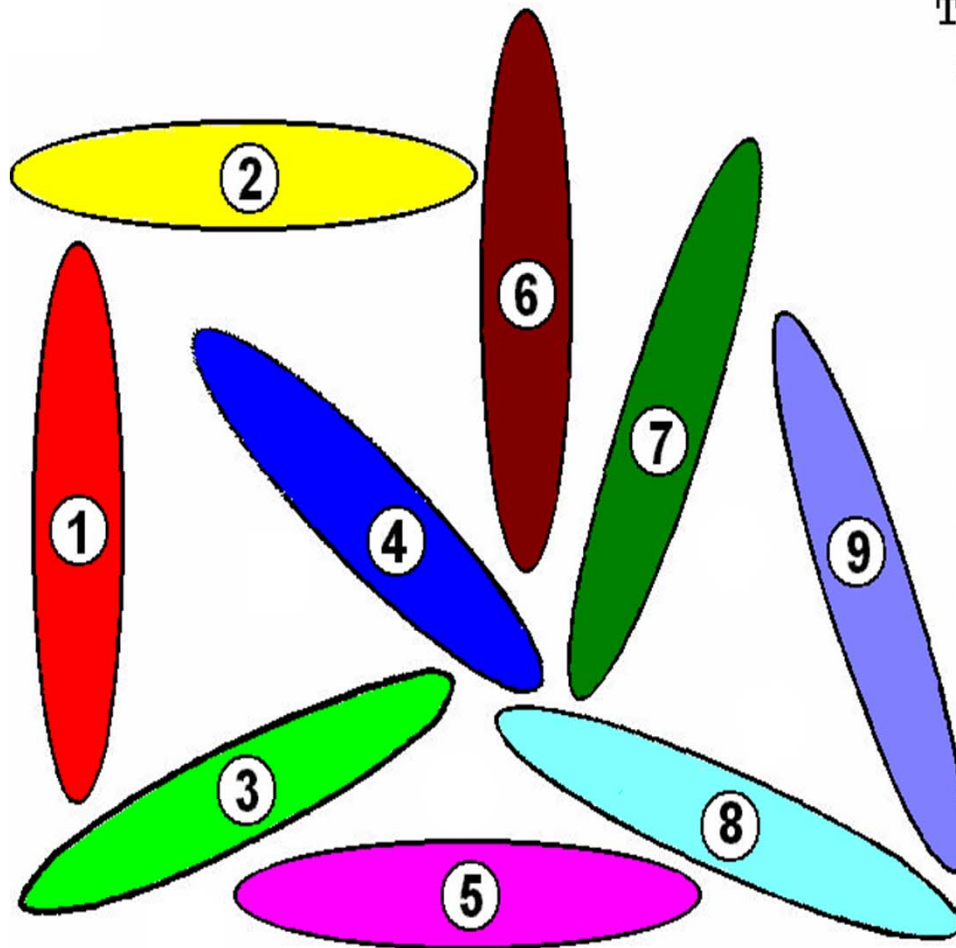
ГЛАВНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО РАЗВИТИЮ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ПРОБЛЕМЕ "ПРИГОДНОСТЬ К ЭКСПЛУАТАЦИИ"

- **1. PISC (I-III)** Projects on Inspection of Steel Components for nuclear components
- **2. Nordtest** a series of Scandinavian projects (4) on fundamental issues in NDE (Det Norske Veritas)
- **3. NIL** a series of Dutch projects on fundamental issues in NDE
- **4. UCL** a joint industry project on underwater NDE of offshore structures
- **5. ICON** Inter-Calibration of Offshore NDE, a large underwater NDE project
- **6. TIP** Topsides Inspection Project on NDE of offshore topsides components
- **7. SINTAP** - Structural INTeegrity Assessment Procedure for European Industry - Brite Euram project, co-ordinated by British Steel.
- **8. PERF (Petroleum Environmental Research Forum):** "Advanced Acoustic Emission for On-Stream Inspection" (420 000 \$).
- **9. NESCC** - Network for Evaluating Steel Component

Современное состояние Оценки риска с использованием технического диагностирования



Современное состояние Технической диагностики – Случайное (Броуновское)



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

1. Неразрушающий контроль (УЗК, РГ, АЭ, МПД, ВТ, КД, ...)
2. Механика разрушения (оценка статической, циклической, длительной прочности)
3. Металловедение
4. Мониторинг параметров
5. Управление дефектами
6. Анализ рисков
7. Оценка безопасности
8. Прогнозирование ресурса
9. Экологические аспекты

Системное представление Технической Диагностики



ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

1. Неразрушающий контроль
2. Механика разрушения
3. Металловедение
4. Анализ коррозии
5. Оценка безопасности
6. Прогнозирование ресурса

**Спасибо
за
ВНИМАНИЕ**