

ОЦЕНКА РИСКА АВАРИИ с использованием результатов ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Иванов В. И.

***НИИИН МНПО «Спектр», проф., д.т.н., гл. научн. сотр.
8-906-043-11-94. ivi444@mail.ru***

КАК ИЗМЕРИТЬ ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ?

Человеческие жертвы

Летальные исходы.
Потеря работоспособности. Болезни ...

Материальные потери

Стоимость разрушенного оборудования.
Потери в результате простоев.
Затраты на ремонт ...

Финансовые потери

КАК ИЗМЕРИТЬ ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ?

Универсальной - Системной мерой
является величина
РИСКА АВАРИИ

Общие проблемы анализа риска

Анализ Рисков

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

- Универсальной Системной мерой является величина
 - РИСКА АВАРИИ

Риск аварии (**R**) объекта объединяет

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

$$R = P \times V$$

или

$$R = P_v$$

или

$$R = P \times E \times L$$

E – развитие процесса аварии (**E**scalation)

РИСК есть Количественная мера
Безопасности



Федеральный закон Российской Федерации от 04.03. 2013 г.
N 22-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон
"О промышленной безопасности ОПО»

Термин РИСК АВАРИИ встречается 5 раз:

2) в статье 1:

- в) дополнить абзацами следующего содержания:
обоснование безопасности ОПО - документ, содержащий
сведения о результатах оценки **риска аварии** на ОПО ;

10) в статье 11:

- г) дополнить пунктом 4 следующего содержания:
- "4. Системы управления промышленной безопасностью
обеспечивают:
- идентификацию, анализ и прогнозирование **риска аварий** на ОПО ... ;
- планирование и реализацию мер по снижению **риска аварий** на ОПО...;
- своевременную корректировку мер по снижению **риска аварий** на ОПО;
- участие работников организаций, эксплуатирующих ОПО, в разработке
и реализации мер по снижению **риска аварий** на ОПО;

РИСК аварии в Ростехнадзоре

НОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- ТР/ТС 010/2011 «Безопасность машин и оборудования». 37 упоминаний Риск. НК – 0. ТД – 2.
- ФНП «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта 11 упоминаний слова риск. НК – 0. ТД – 0.
- ФНП «Правила безопасности для опасных производственных объектов магистральных трубопроводов». более 40 упоминаний слова риск
- ФНП «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением». Риск – 0. НК – 14. ТД – 8.
- РБ «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах». Риск – много раз
- РБ «МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ, НЕФТЕ- И ГАЗОХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ».
- **Проект «Методические основы проведения анализа опасностей и оценки риска аварий на ОПО»**

Риск – 290 упоминаний. НК – 0. ТД – 2.

- И так далее

Методы оценки риска

Methods	Full Title
HAZOP	Hazard and operability study
CHA	Concept hazard analysis
CSR	Concept safety review
PHA	Preliminary hazard analysis
FTA	Fault tree analysis
CCA	Cause-consequence analysis
Pre-HAZOP	Pre-hazard and operability study
FIHI	Functional integrated hazard identification
CEX	Critical examination of safety systems
MOSAR	Method organised systematic analysis of risk
GOFA	Goal oriented failure analysis
Inherent	Inherent hazard analysis
FMEA	Failure mode and effect analysis
Func. FMEA	Functional failure mode and effect analysis
FMECA	Failure modes, effects, and criticality analysis
MOp	Maintenance and operability study
Block diagram	Reliability block diagram
Structural	Structural reliability analysis
Vulnerability	Vulnerability assessment
CHAZOP	Computer hazard and operability study
Struc. english	Structured english
Spec. language	Specific language
SADT	Structured analysis and design techniques
State-transition	State-transition diagrams
GRAFCET	Graphe de commande etat-transition
HTA	Hierarchical task analysis
AEA	Action error analysis
Human rel.	Human reliability analysis
Pattern search	Pattern search method
PHEA	Predictive human error analysis

Матрица "Вероятность отказа – тяжесть последствий".

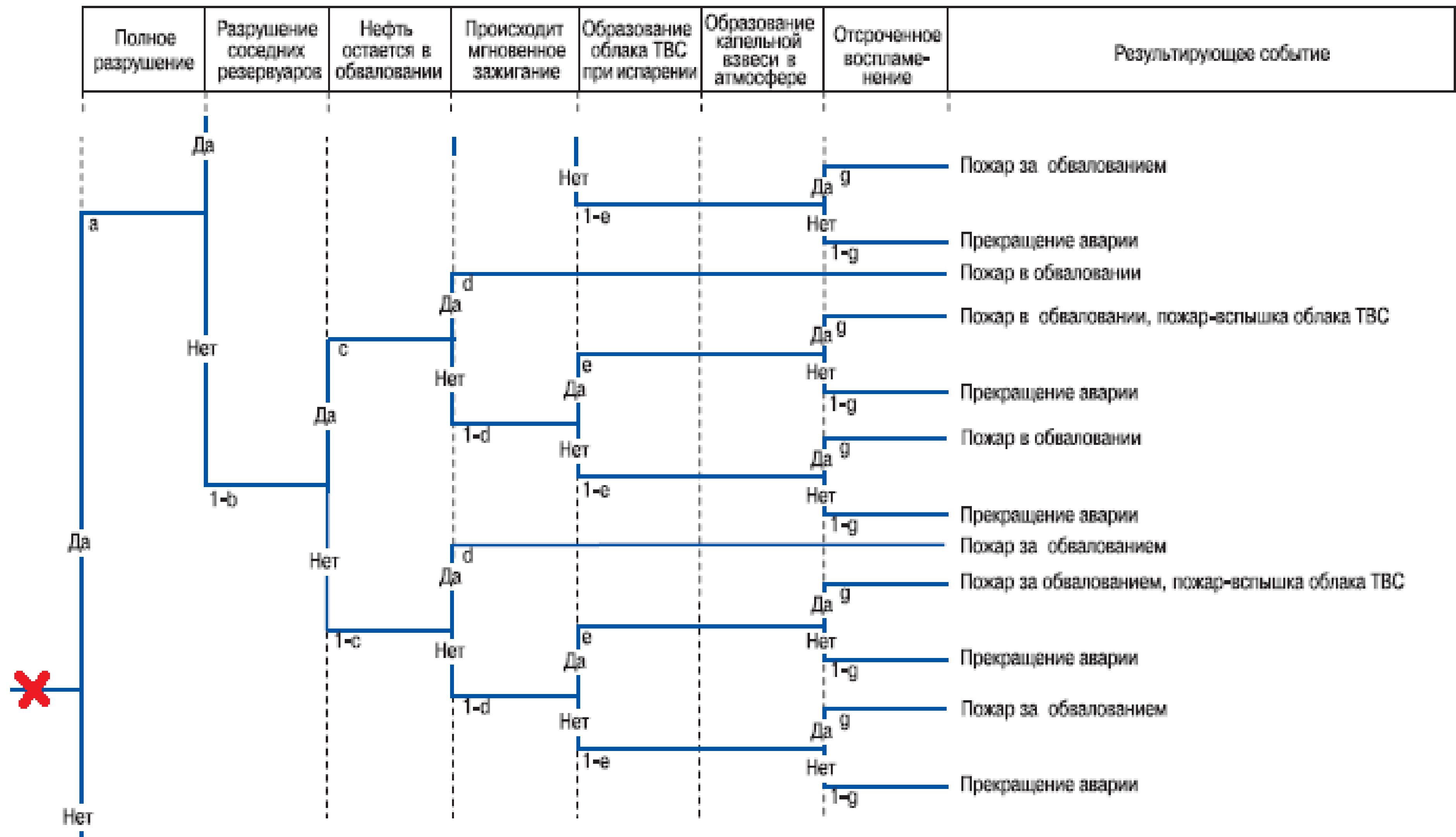
Классификация Рисков: 9 классов.
Классификация экспертов и организаций: 3 класса

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

Когда мы знаем „цену аварии“ определенного объекта, тогда главным является оценка вероятности аварии.

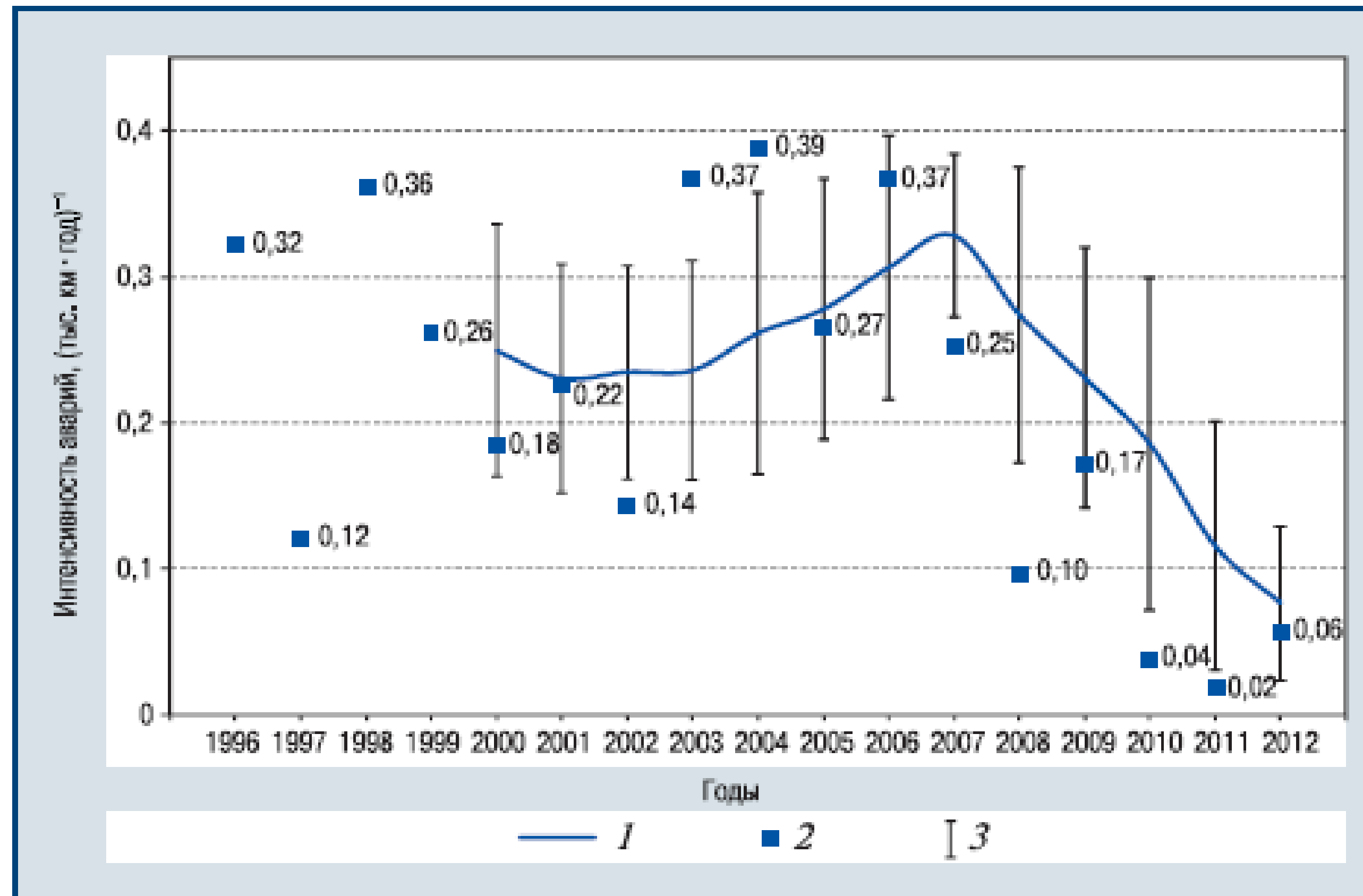
построение дерева событий

С.А. Жулина, М.В. Лисанов, А.В. Савина, 2013 Безопасность Труда в Промышленности • № 1-2013



Современная оценка риска разрушения – основана на статистике аварий

С.А. Жулина, М.В. Лисанов, А.В. Савина, 2013 Безопасность Труда в Промышленности • № 1-2013

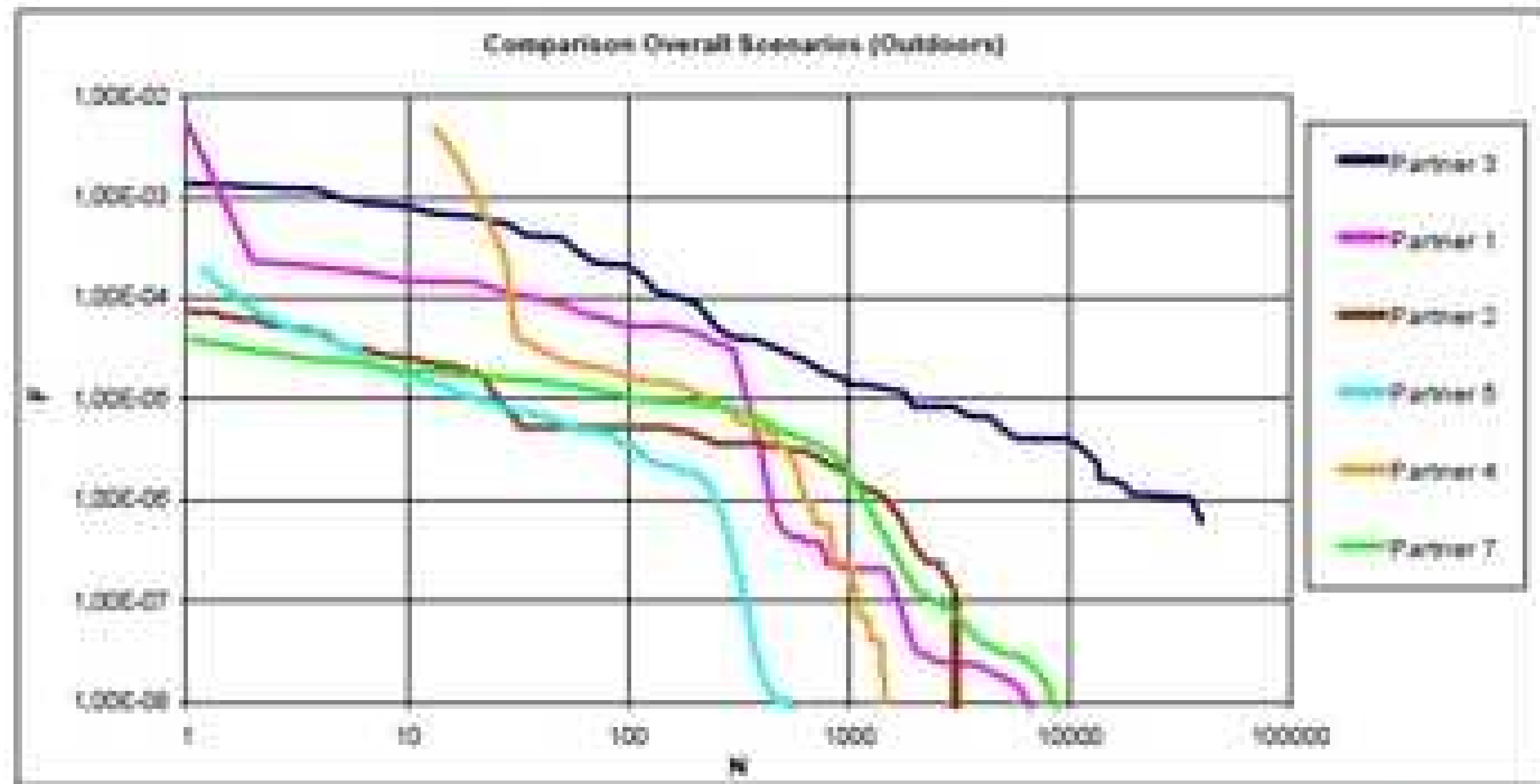


Динамика аварийности на магистральных нефтепроводах по данным Ростехнадзора (1996–2012 гг.):

1 – средняя интенсивность аварий за предшествующие пять лет; *2* – интенсивность аварий за год; *3* – 95%-ный доверительный интервал за пятилетний период

Оценка социального риска, выполненная разными командами.

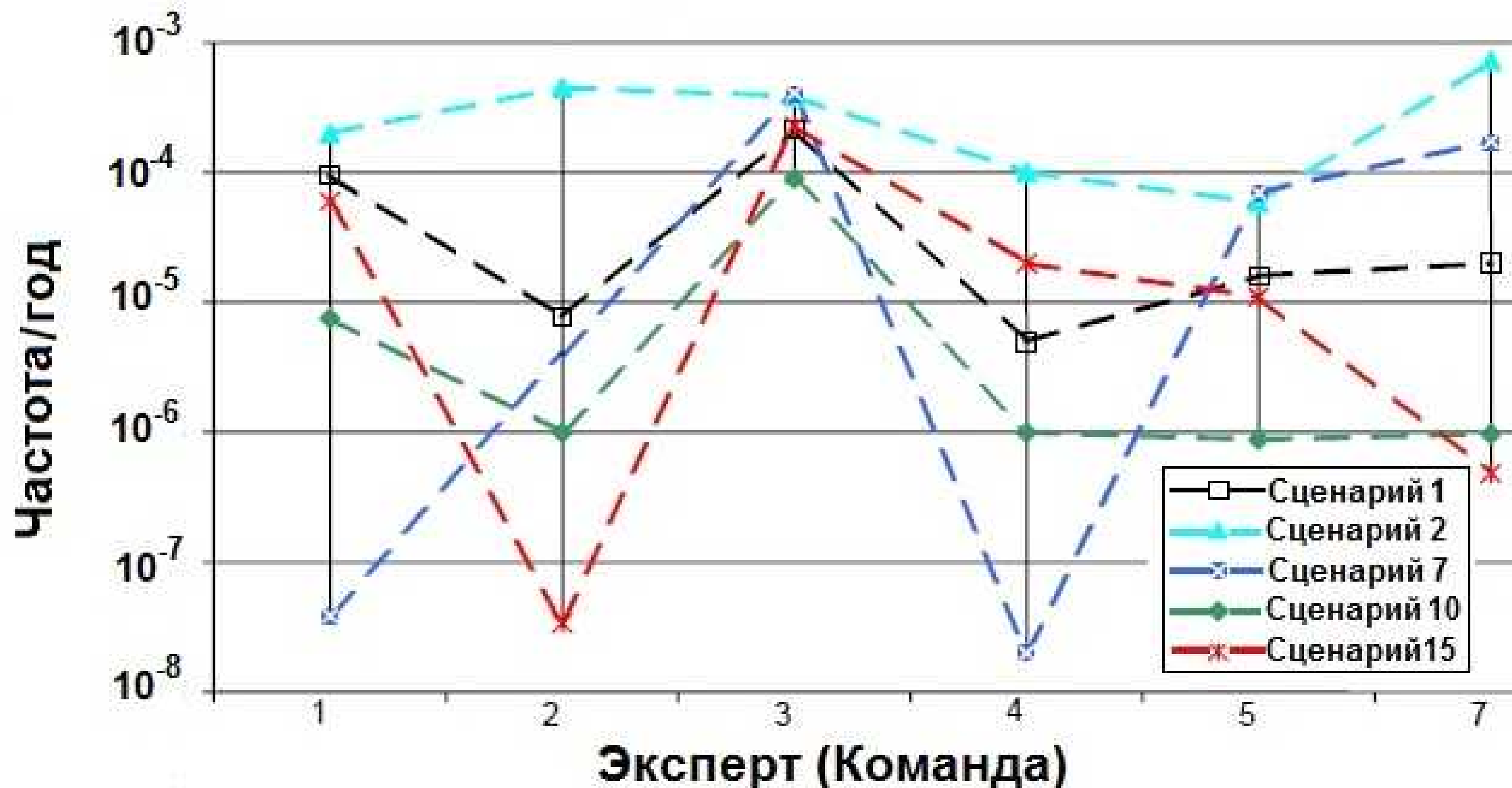
Assessment of Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments. Riso NL. 2002



Разброс в оценках риска, выполненных разными командами составлял 2-4 порядка

Оценка социального риска, выполненная разными командами.

Assessment of Uncertainties in Risk Analysis of Chemical Establishments. Riso NL. 2002

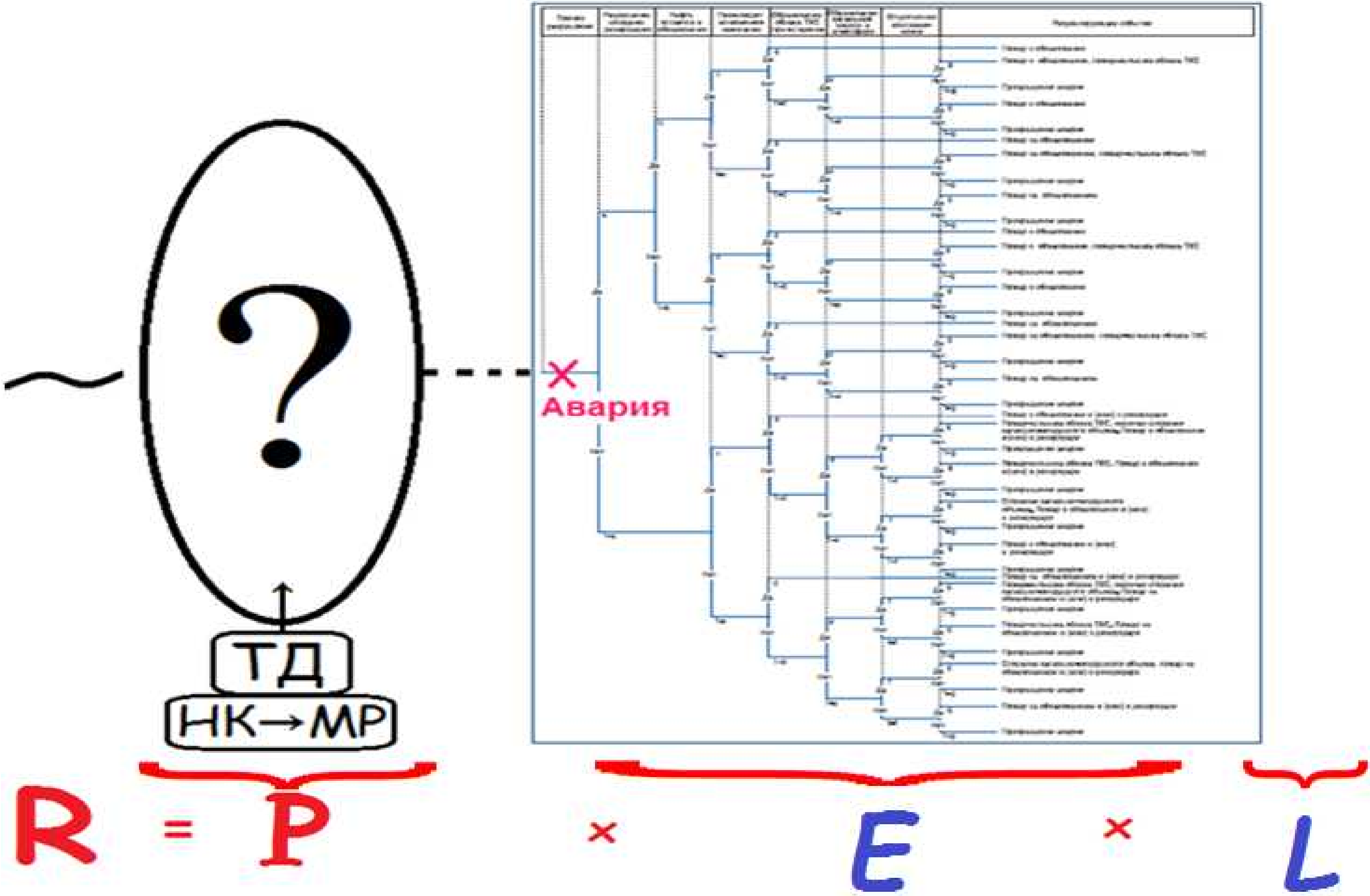


В практике применения методик оценки риска
отсутствуют действия по валидации этих методик.
Нет сравнительных испытаний .

Оценка риска разрушения (резервуара) – построение дерева событий

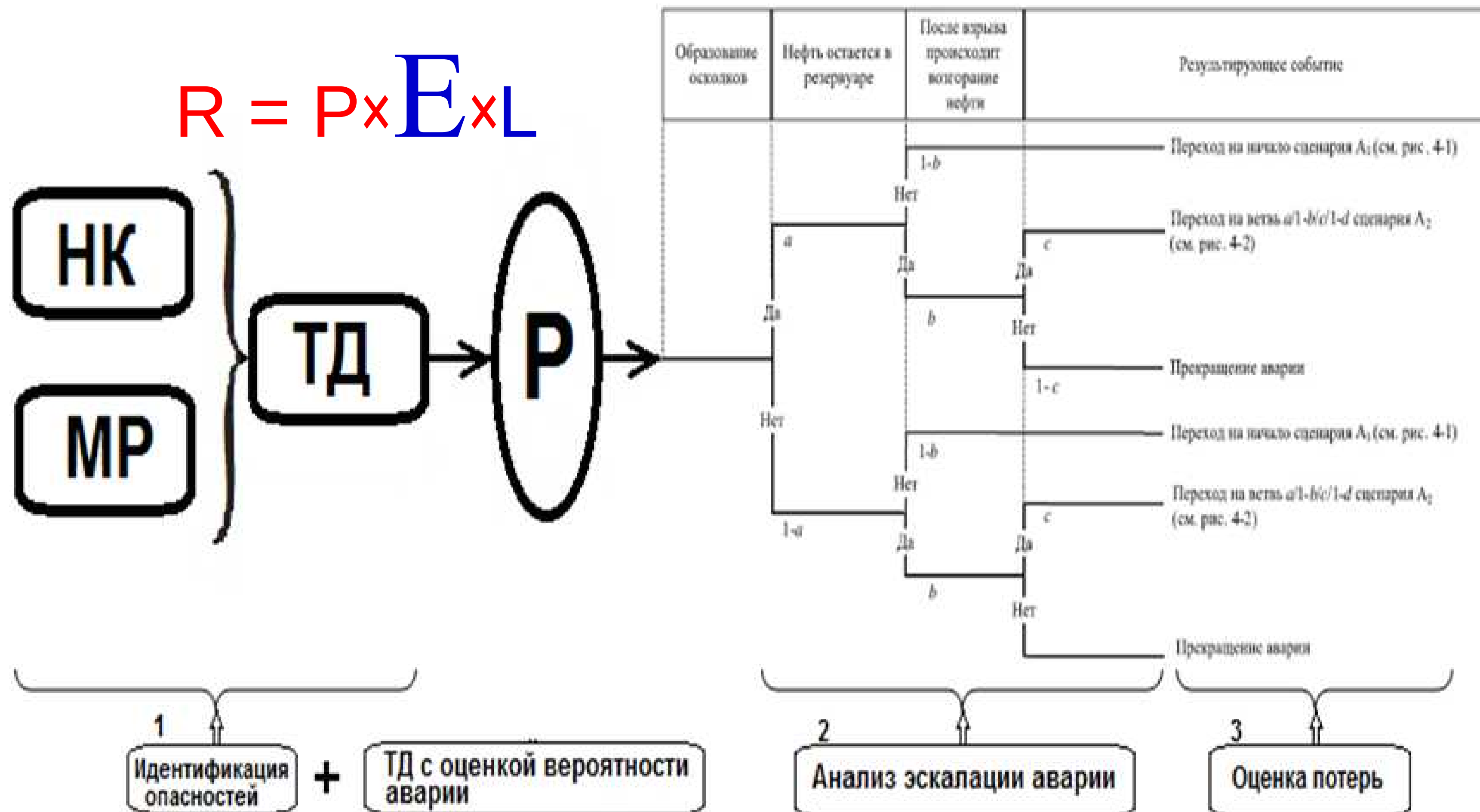
С.А. Жулина, М.В. Лисанов, А.В. Савина, 2013 Безопасность Труда в Промышленности • № 1-2013

$$R = P \times E \times L$$



Современная оценка риска разрушения (резервуара) – построение дерева событий

С.А. Жулина, М.В. Лисанов, А.В. Савина, 2013 Безопасность Труда в Промышленности • № 1-2013



Техническое Диагностирование

Техническое диагностирование - определение технического состояния объекта ... с целью оценки промышленной безопасности (расчета риска аварии) и прогнозирования ресурса (с расчетом вероятности аварии)

Состав ТД:

- Анализ технической документации (проектной, эксплуатационной, и ремонтной);
 - 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;
 - Оценка промышленной безопасности объекта;
 - Управление развитием дефектов (компенсирующие мероприятия);
 - Прогнозирование остаточного ресурса.
-
- Основная проблема ТД – реальная связь между составляющими ТД + использование результатов ТД при оценке риска аварии

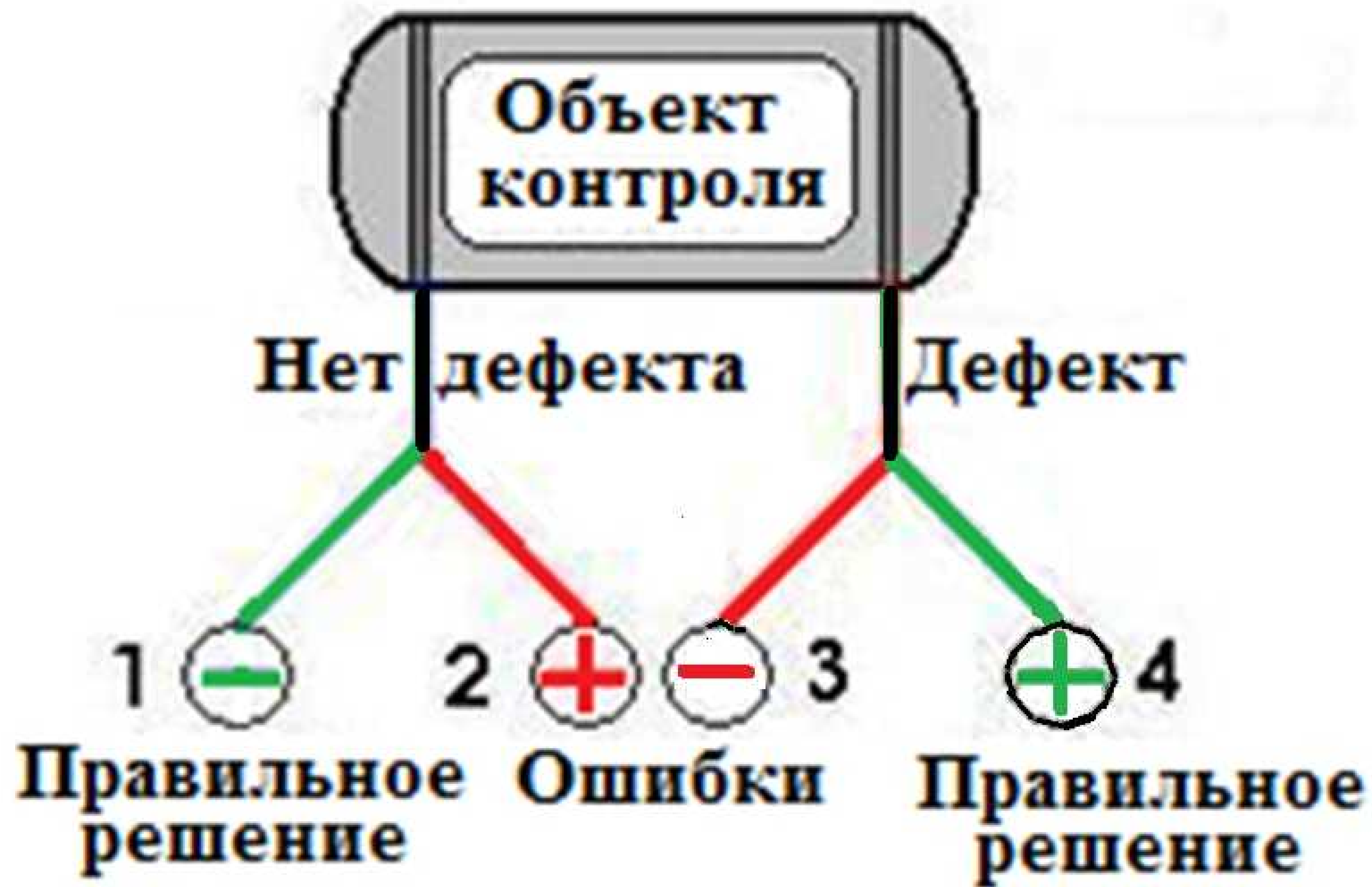
Системное представление Технической Диагностики



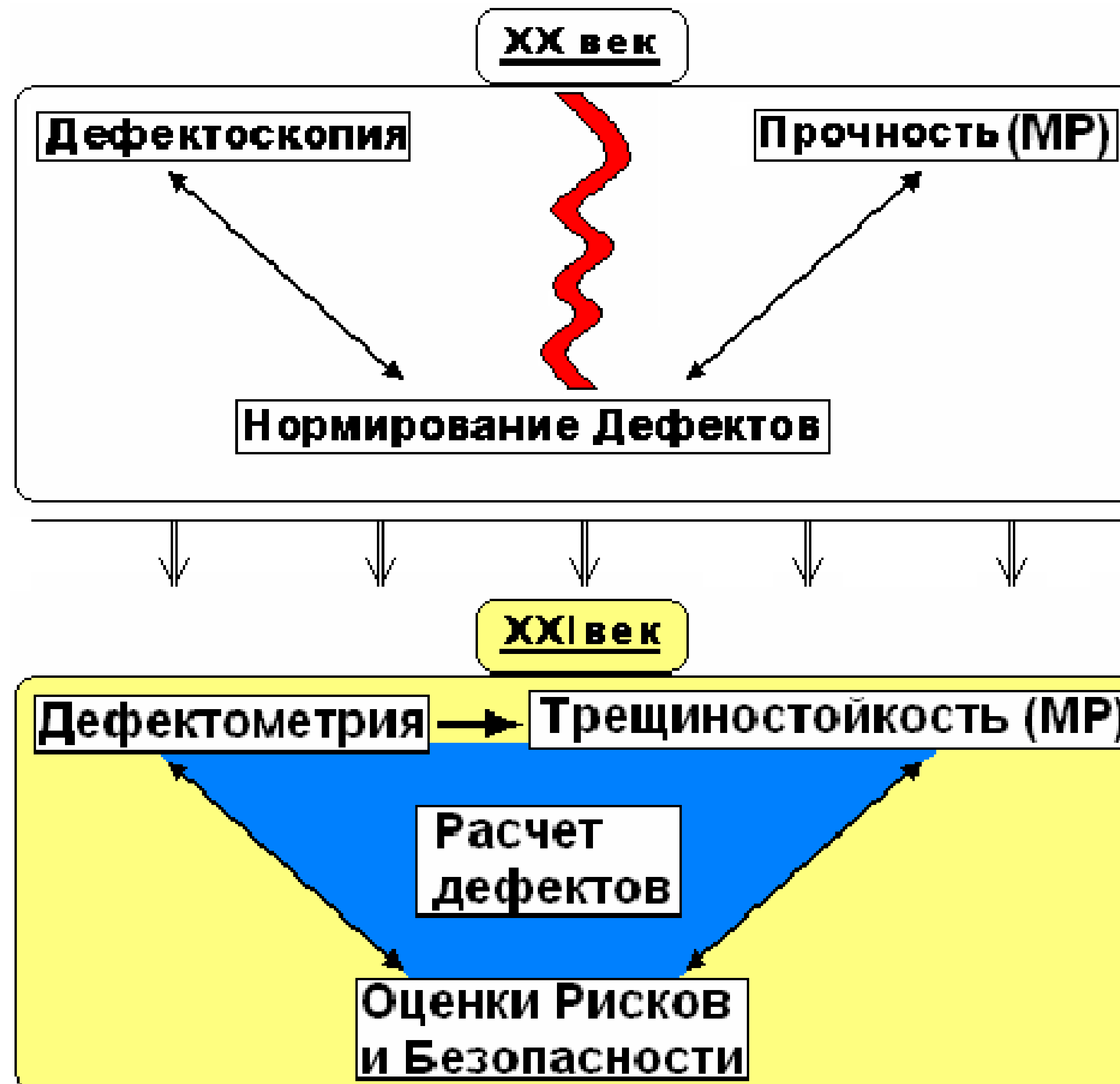
ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

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

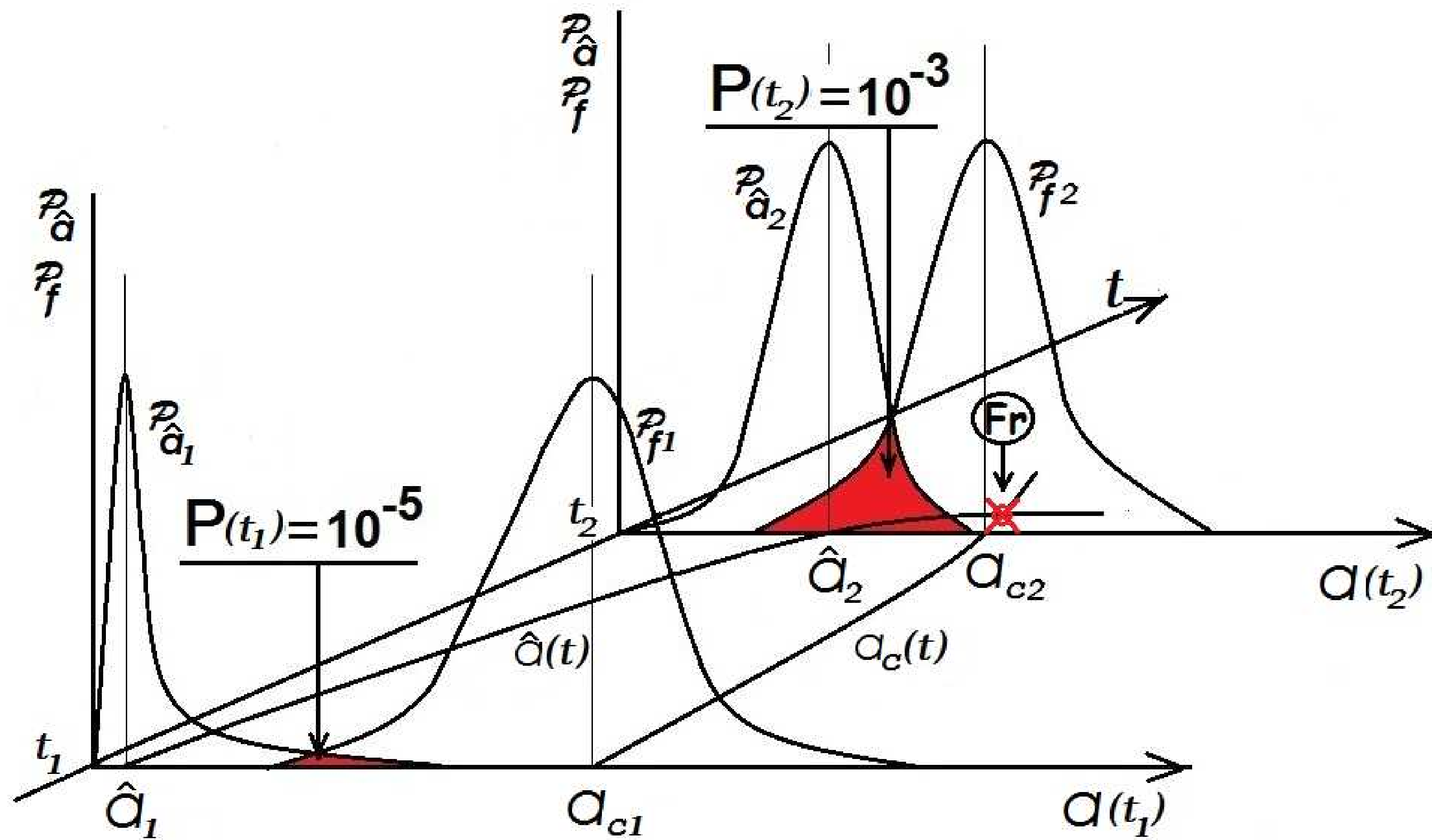
Схема принятия решений



Развитие подходов оценки дефектов

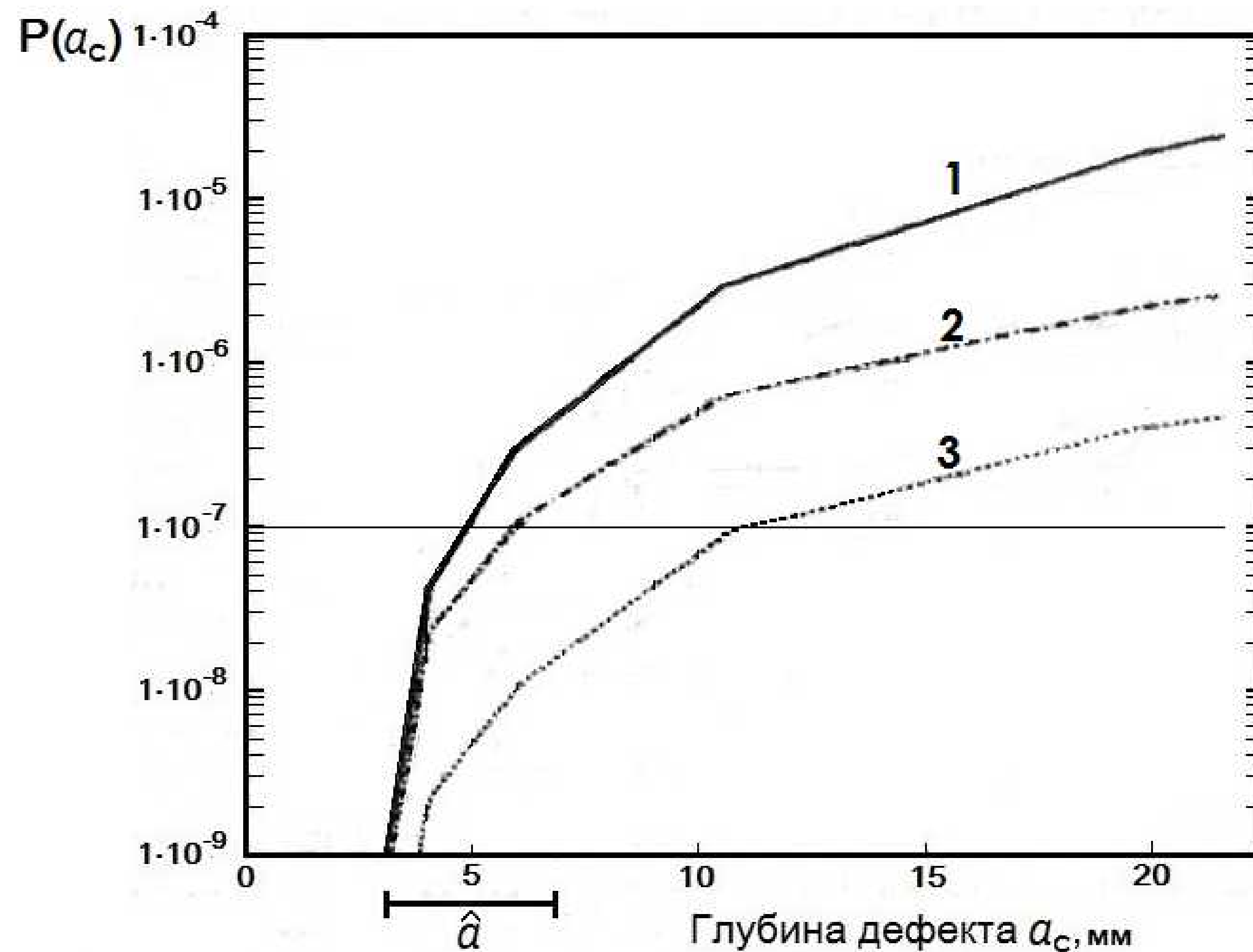


Обобщенная схема риск-анализа конструкций



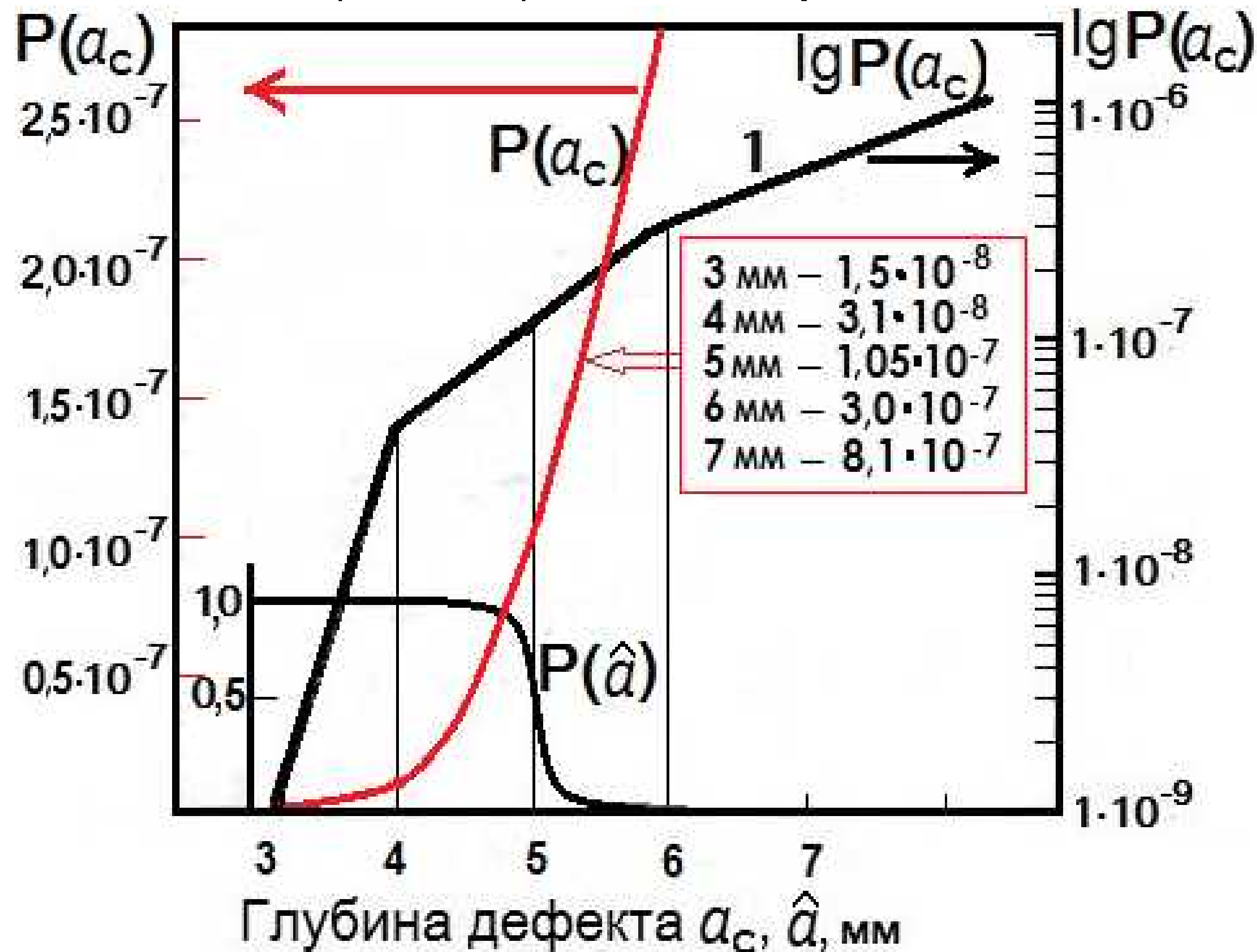
Вероятность разрушения корпуса атомного реактора

(Безопасность России. Анализ риска и проблем безопасности. т. 3)



Вероятность разрушения корпуса атомного реактора

Вероятность разрушения реактора $P(a_c)$ и вероятность $P(\hat{a})$ измеренного размера дефекта не превышающего $\mu = 5$ мм.

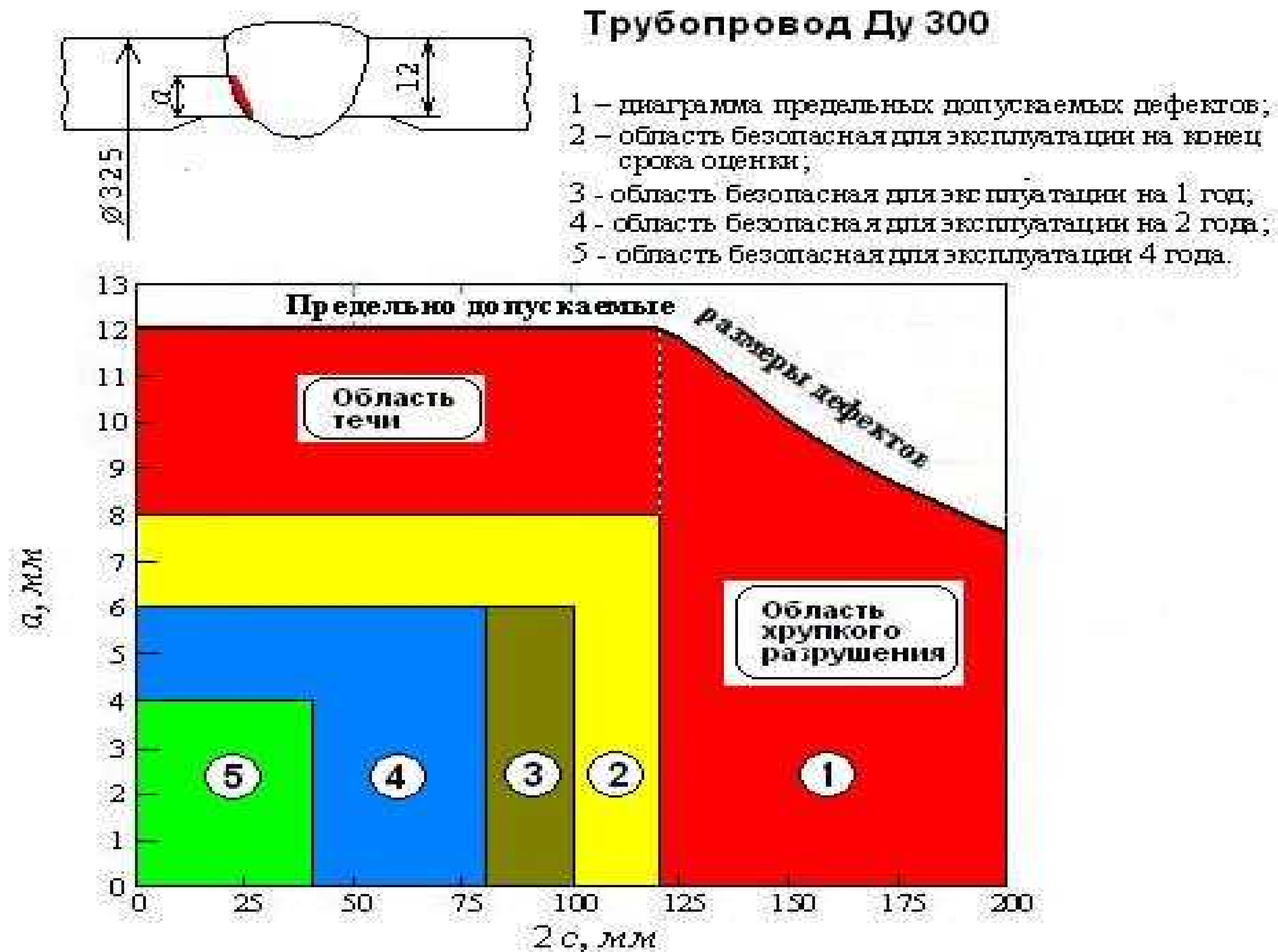


Неразрушающий Контроль

Система характеристик в НК:

1. Измерение параметров дефектов.
Калибровочные характеристики.
2. Система показателей достоверности.
PoD, ROC – диаграммы.

Диаграмма допустимых размеров дефектов. (РД 95 10547-99)



ТД для оценки рисков

Задачи:

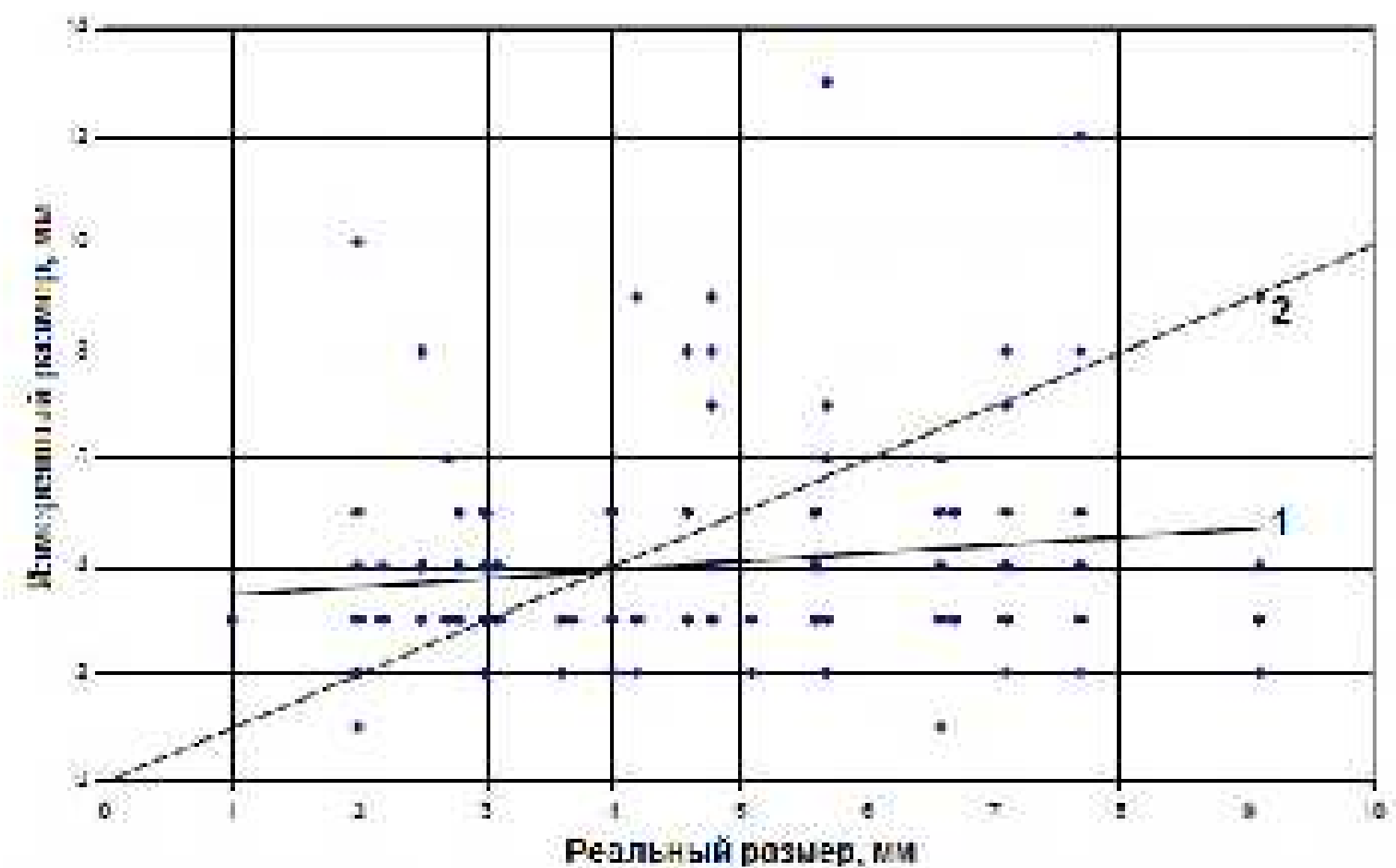
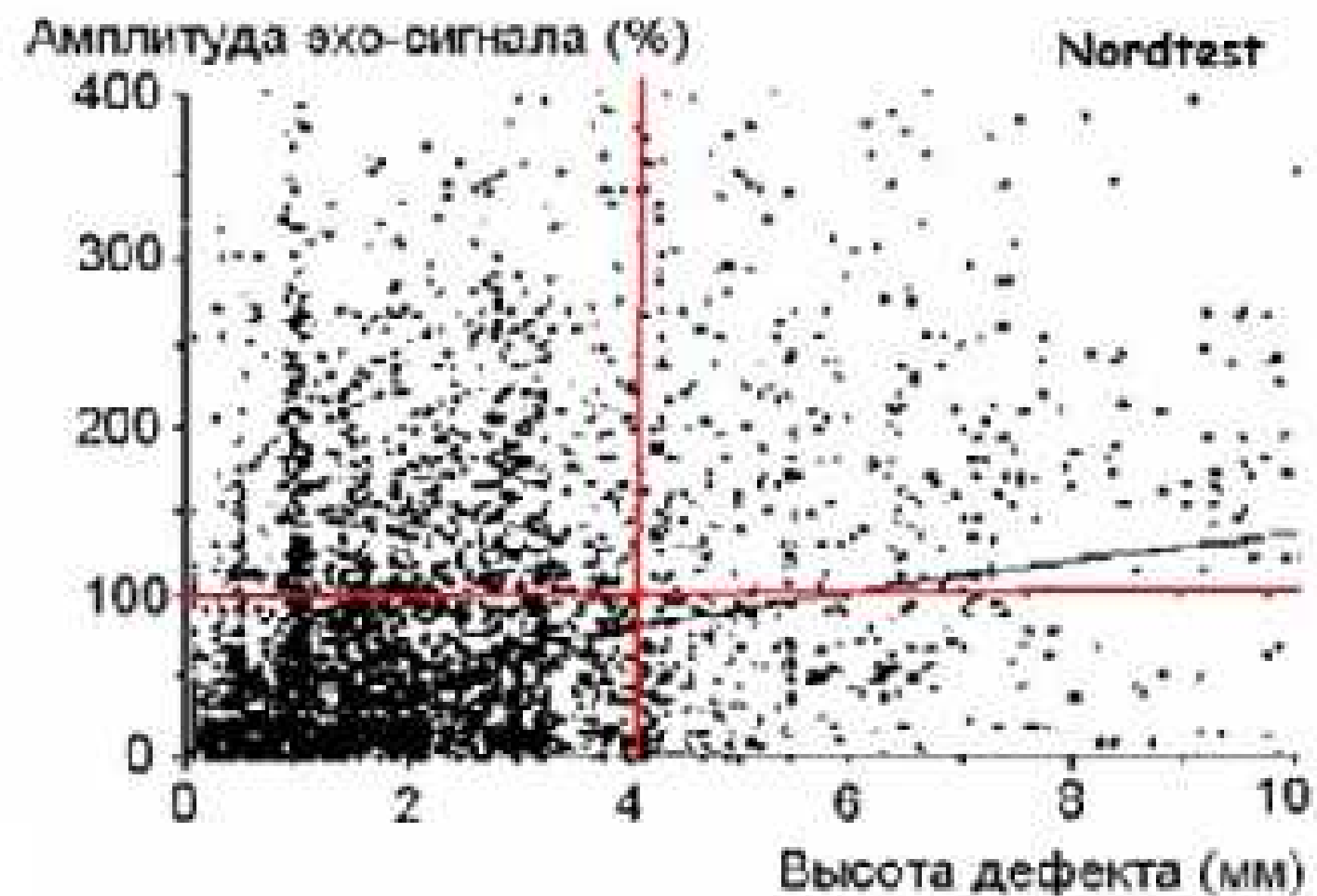
- 1. Выявить дефект;**
- 2. Идентифицировать природу дефекта (вид повреждения);**
- 3. Определить расчетные параметры дефекта;**
- 4. Дать прогноз роста дефекта;**
- 5. Произвести оценку деградации надежности объекта;**
- 6. Произвести оценку риска эксплуатации объекта;**
- 7. Определить период безопасной эксплуатации;**

ХАРАКТЕРИСТИКИ В НК ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА

Современное состояние

Рассеяние амплитуд эхо-сигналов при рутинном УЗК сварных соединений.

Что можно сказать об измерении и достоверности?



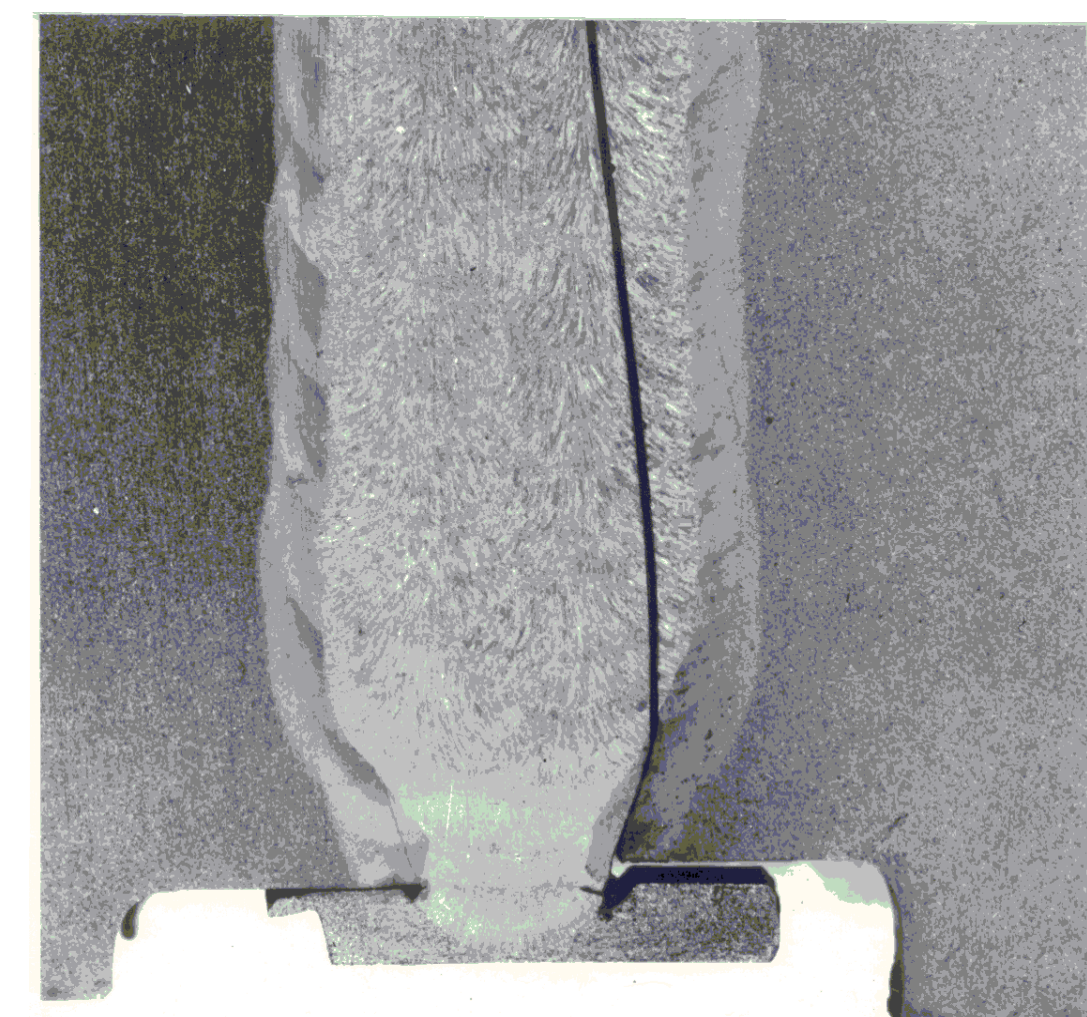
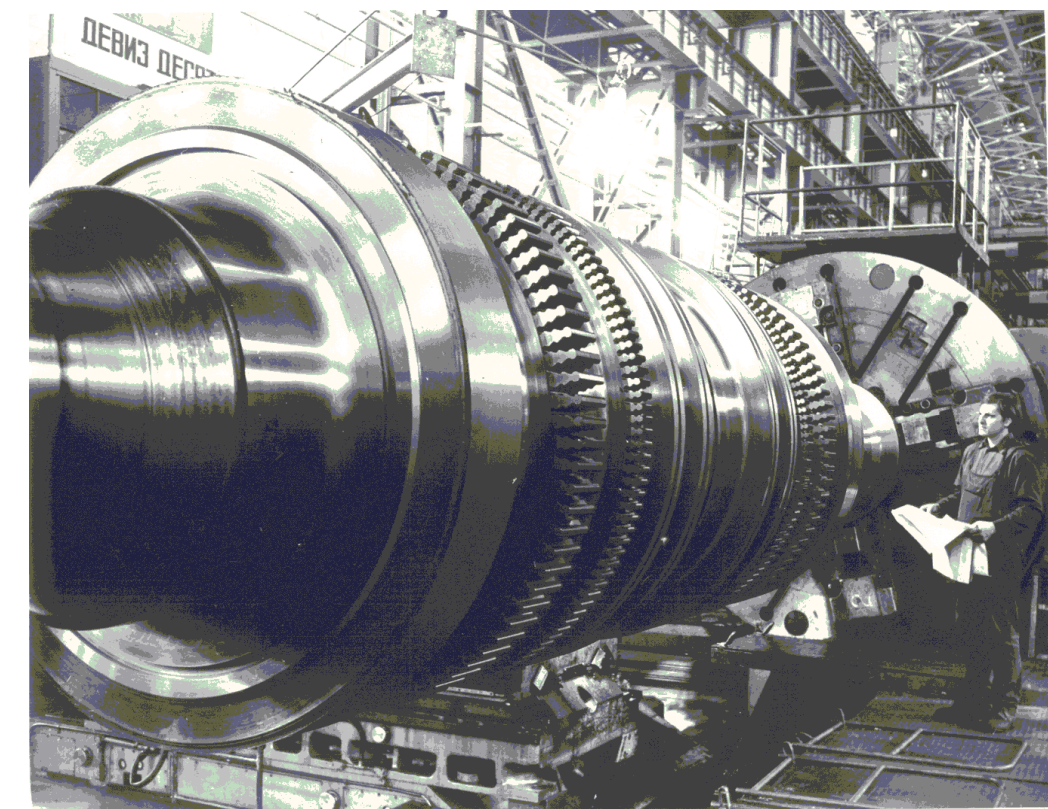
Рассеяние амплитуд эхо-сигналов при рутинном УЗК сварных соединений.

Что можно сказать об измерении и достоверности?

УЗК сварных швов роторов

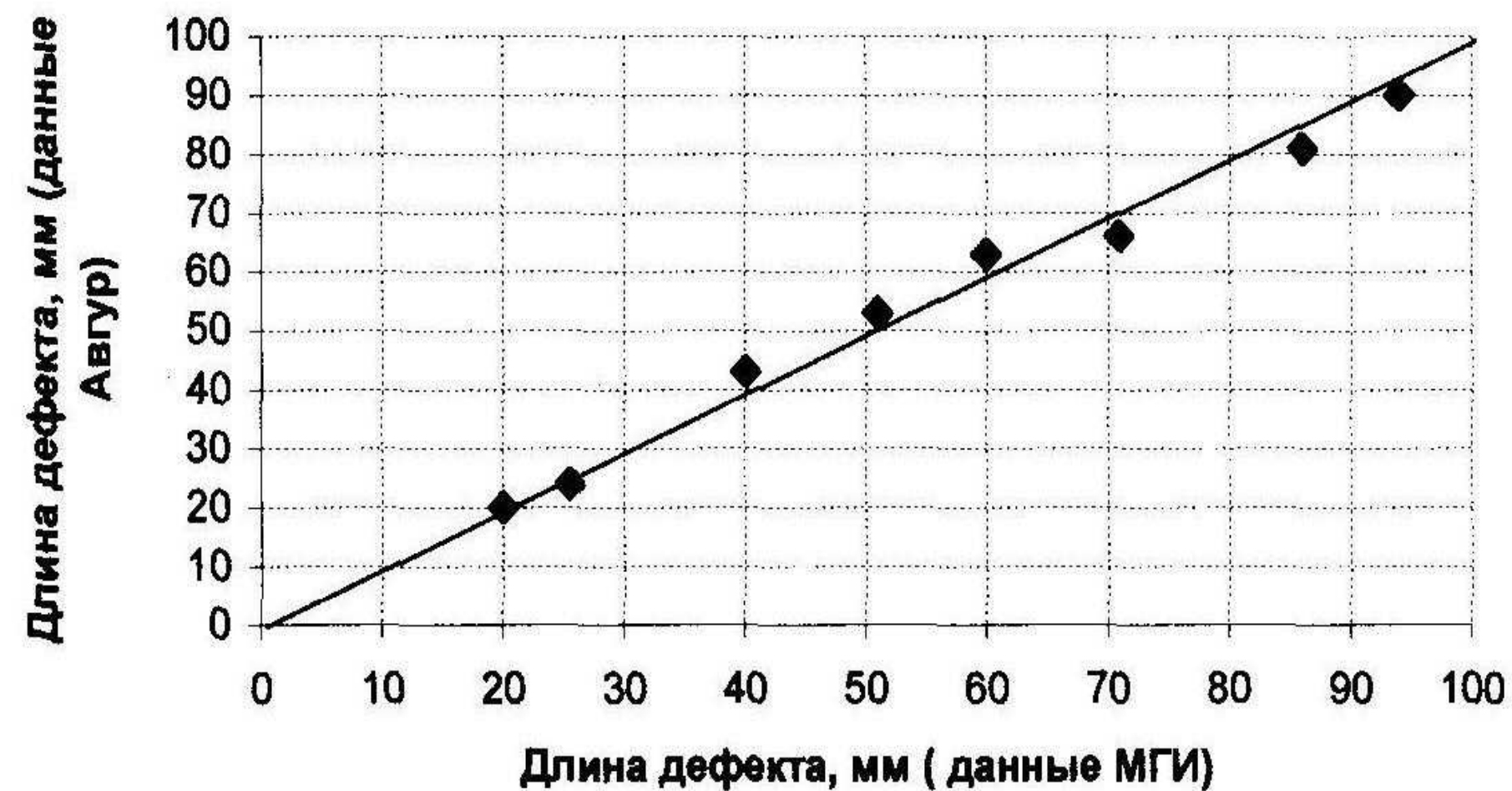


Зависимость амплитуды эхосигнала от
глубины трещины для совмещенного
преобразователя ($f = 2,5$ МГц, $\beta = 30^\circ$).

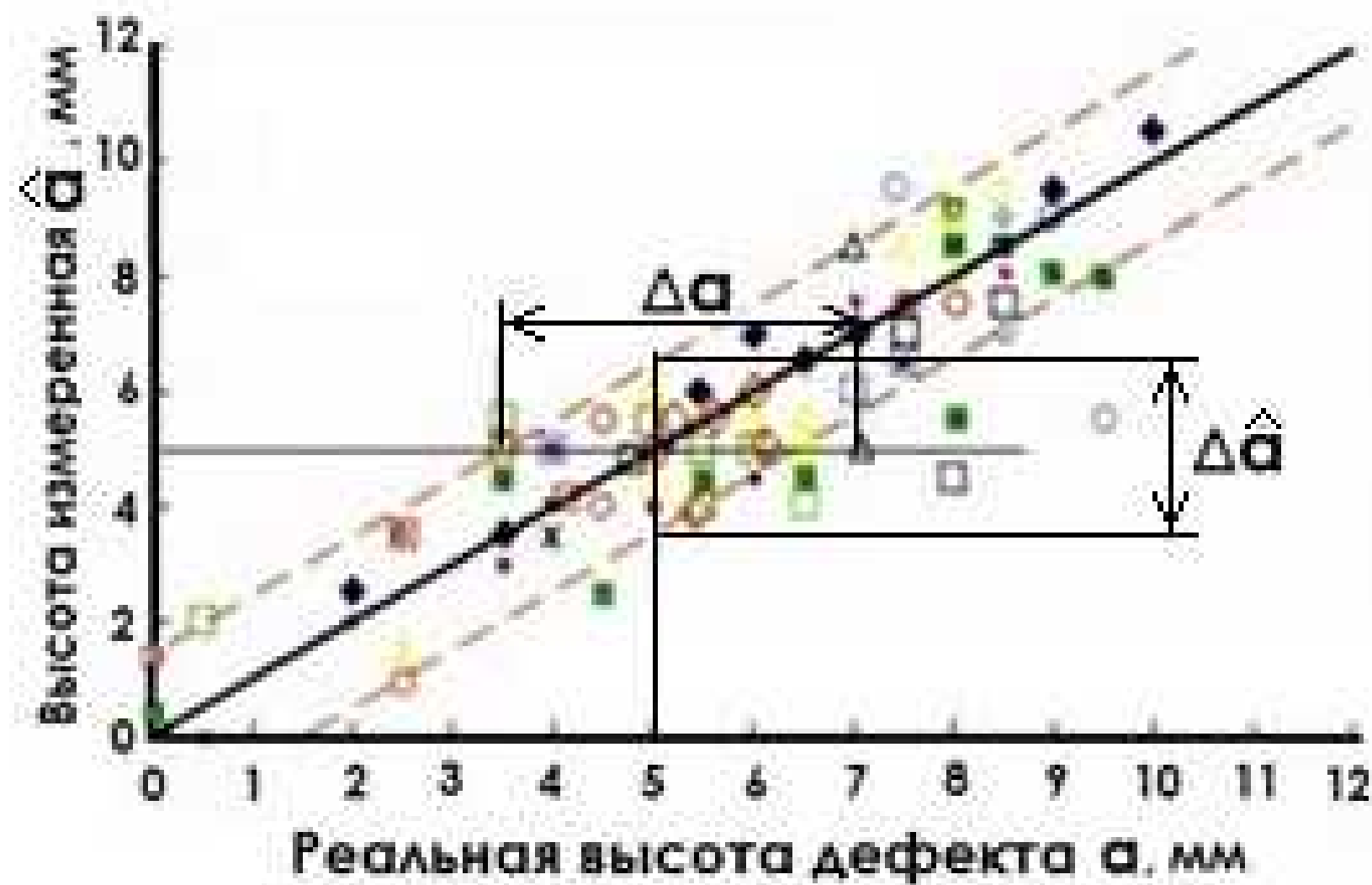


**Современные характеристики
и параметры в НК, которые
должны использоваться при
оценке вероятности аварии**

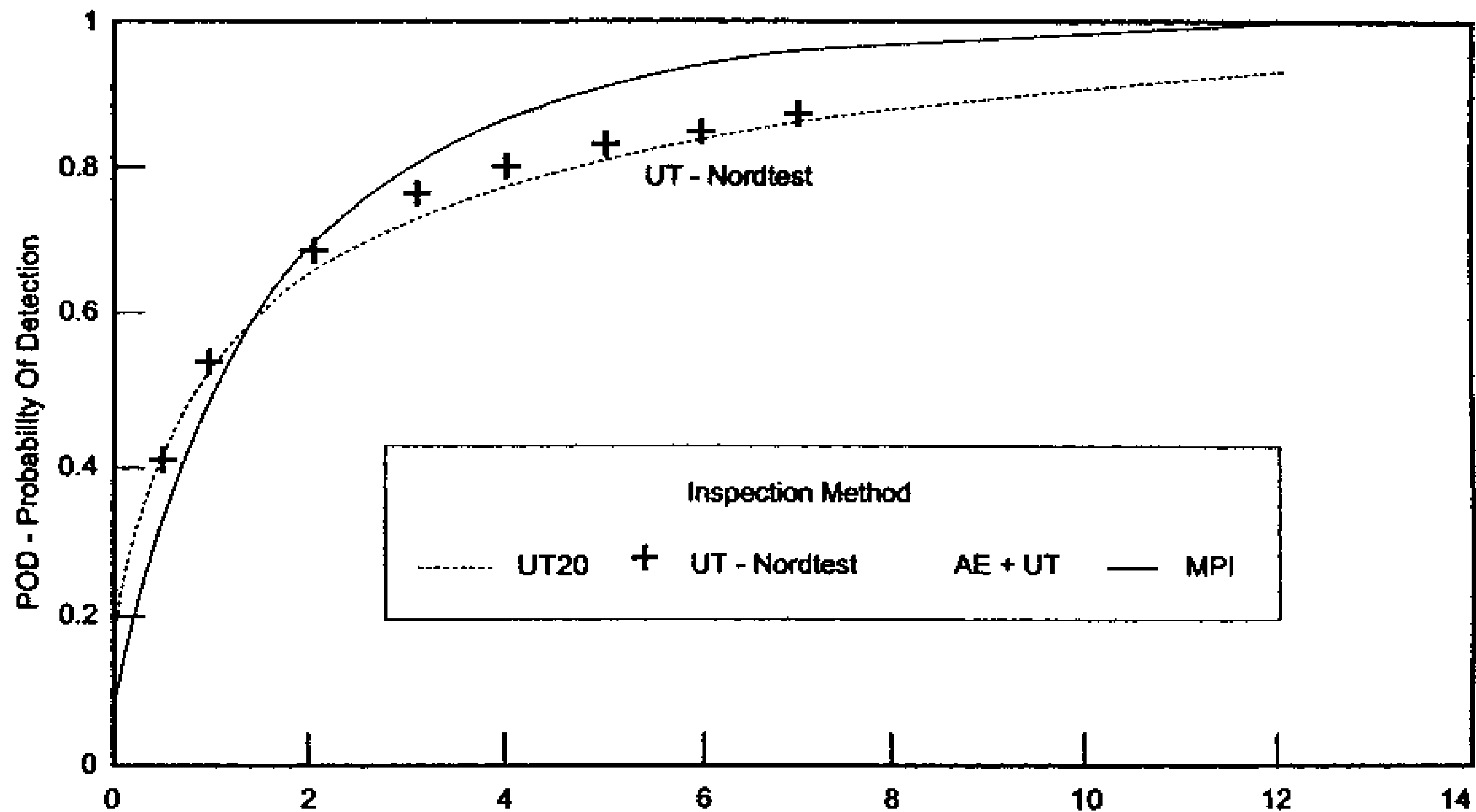
1. Калибровочная (корреляционная) характеристика экспертной УЗ системы



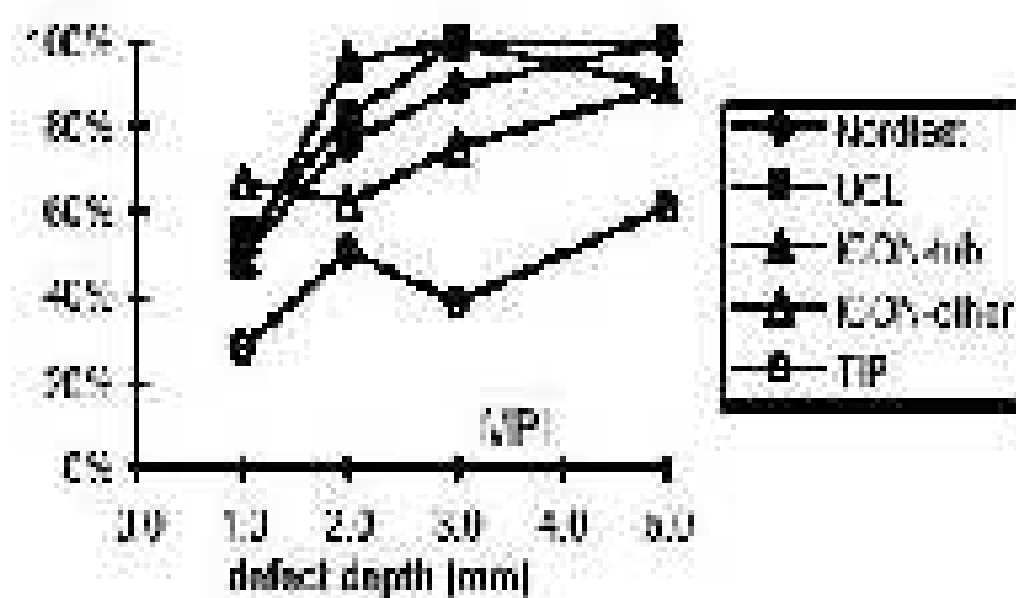
Сравнение результатов определения длины дефектов по данным Авгур и МГИ



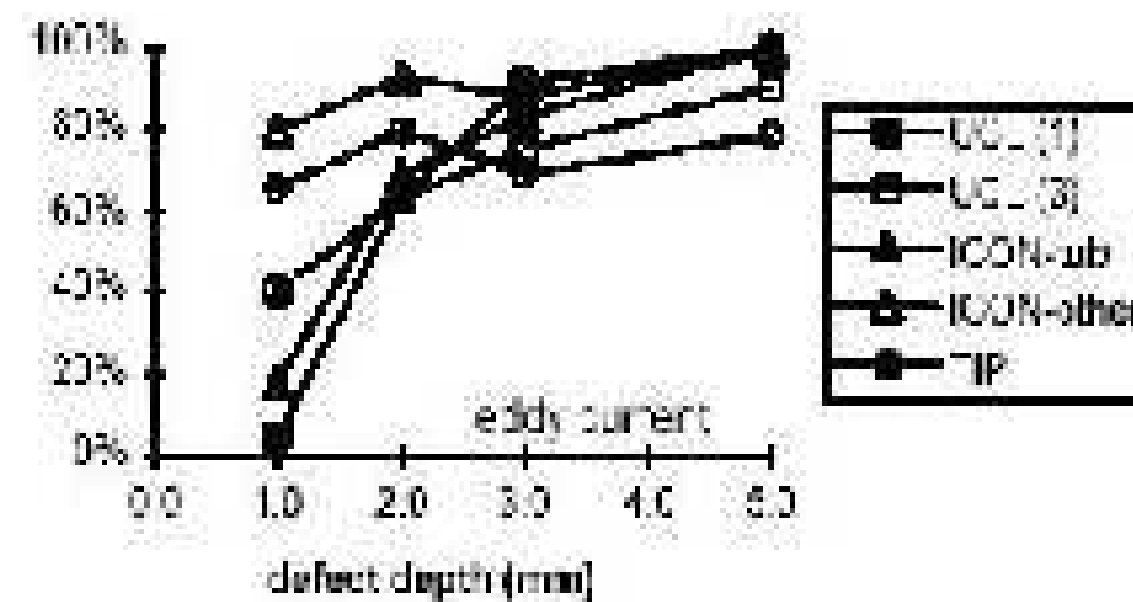
2. Вероятность (Достоверность) обнаружения дефектов POD (ВОД) - диаграмма



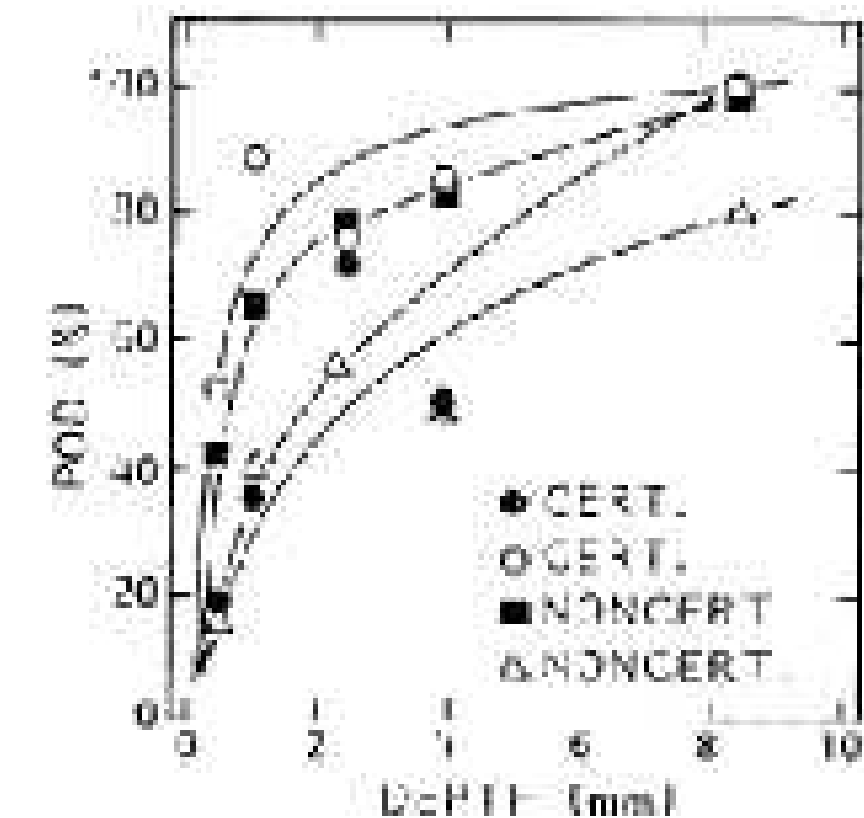
Примеры PoD диаграмм



MPI: POD for surface defects



Eddy Current: POD for surface defects



(c) Effect of inspectors' competence

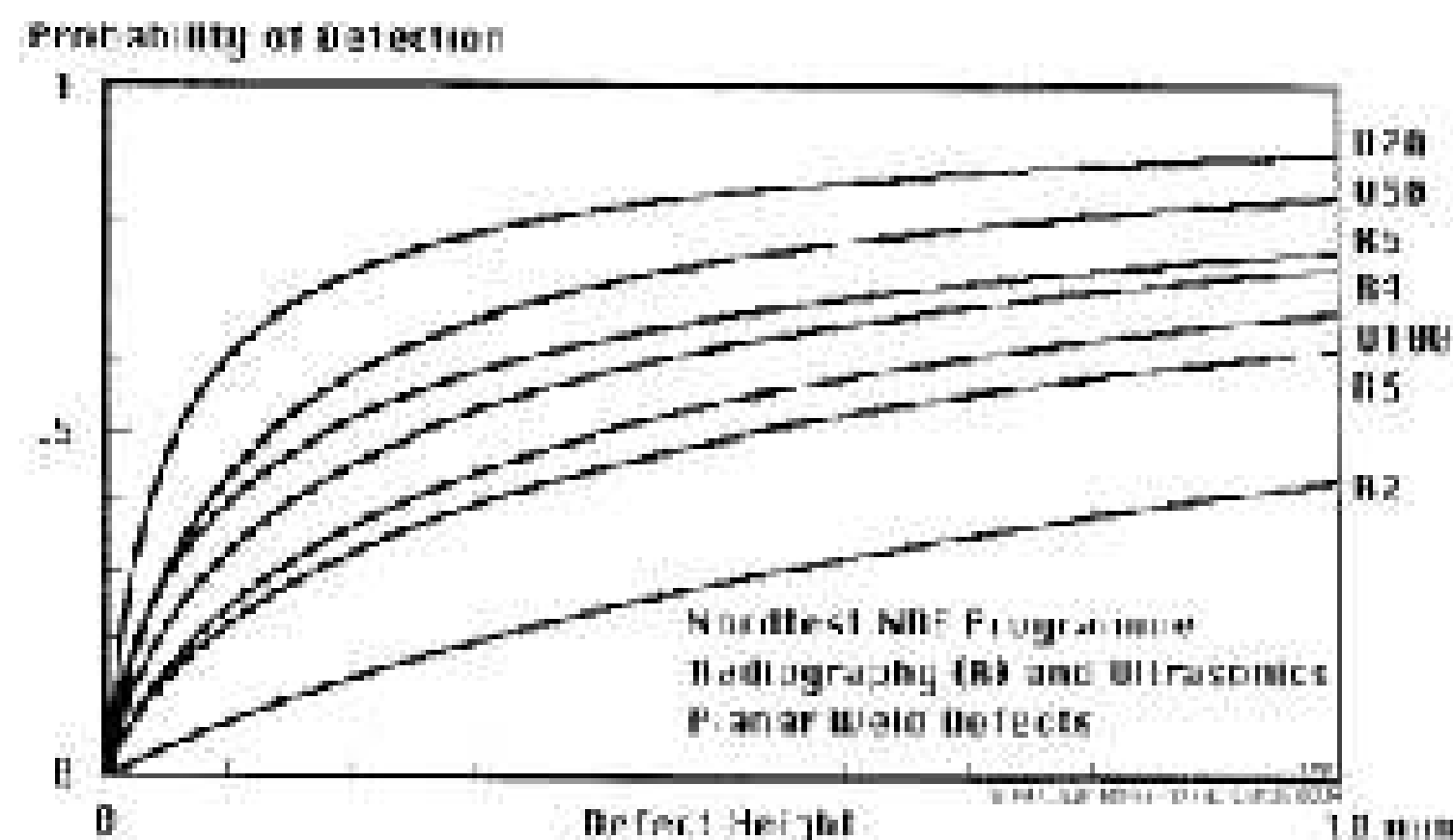


Figure 6.3 POD versus defect height for planar weld defects using UT and RT (Nordtest)

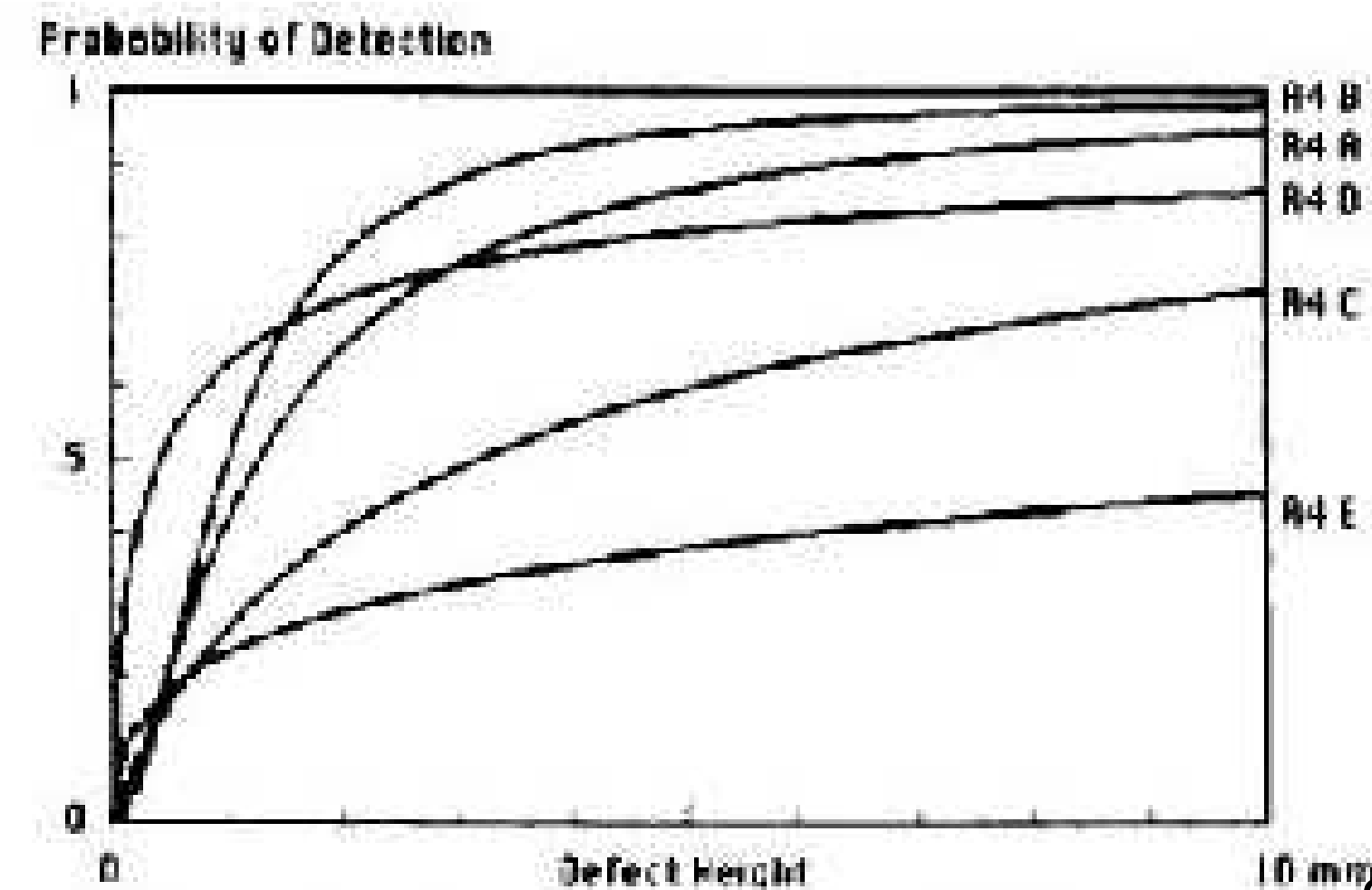
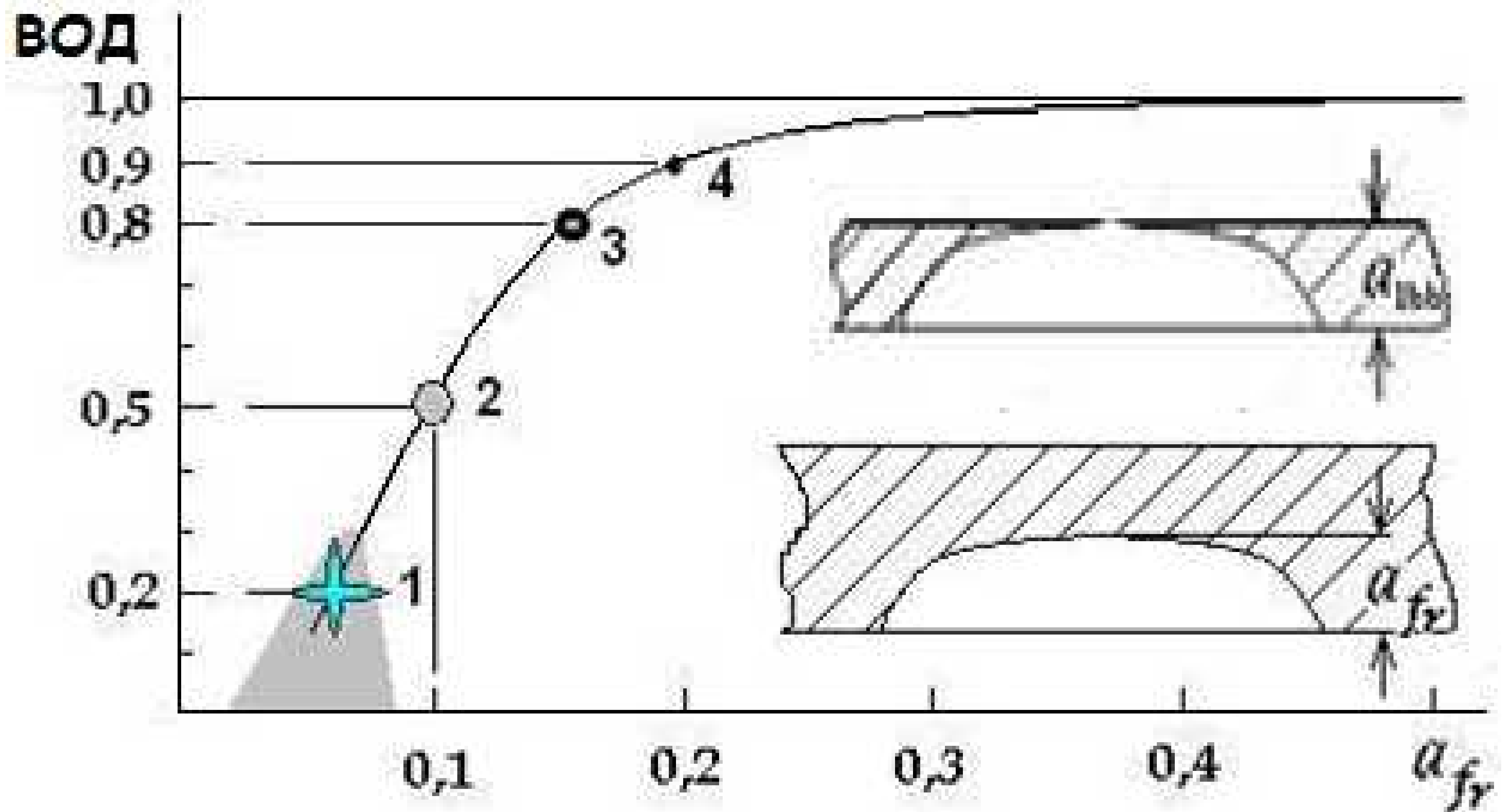


Figure 7.1: POD curves for RT (sensitivity level R4) for different defect types

Практическое использование POD (ВОД)-диаграмм

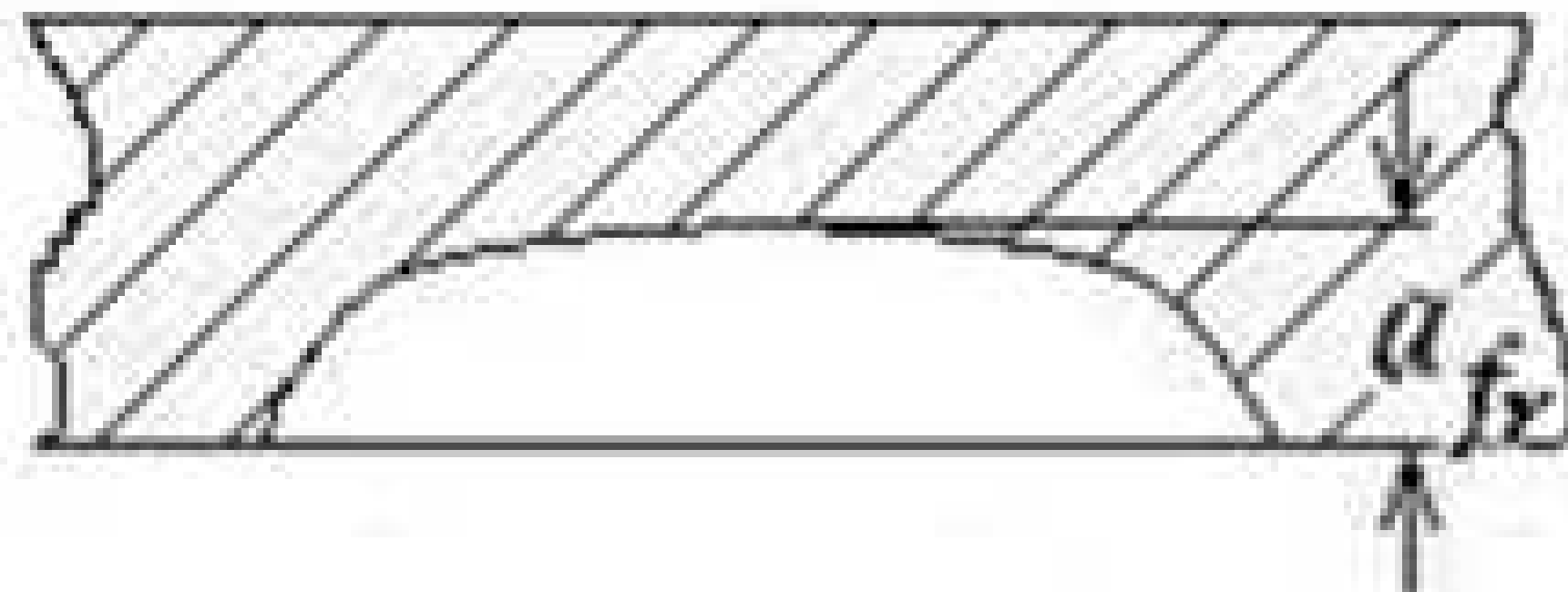


Практическое использование POD (ВОД)-диаграмм

$$P_{\Sigma} = P_{\text{fract}} = 1 - [1 - \text{PoD}(\hat{a}_m)] \times [1 - \text{PoD}(t)]$$

ИЛИ

$$P_{\Sigma} = P_{\text{fract}} = 1 - (1 - \text{PoD}(\hat{a}_m)) \times [1 - \text{PoD}(a_c)]$$



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

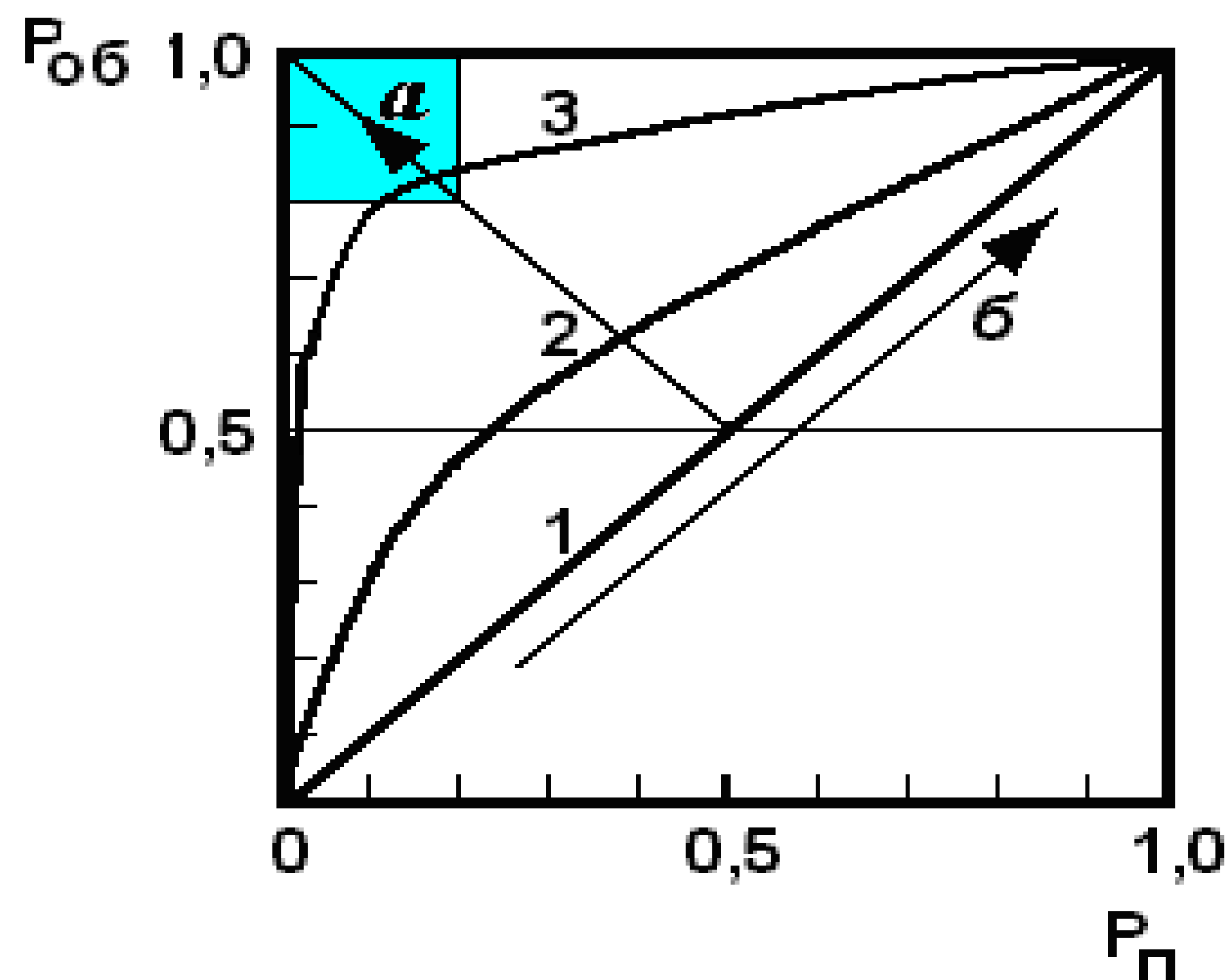
Probability of Detection - An NDT Solution
Cost of conducting six different POD demonstrations
(\$250,000 - \$1,500,000)

	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

Показатели достоверности НК

Достоверность НК – показатель, связанный с вероятностью принятия правильных решений о наличии или отсутствии дефектов

Рабочие характеристики процесса обнаружения дефектов
ROC – диаграмма.



Матрица Достоверности
(Волченко В.Н., **1979 г. !**)

Матрица достоверности методики НК			
Метод контроля и оценка его результатов		«Эталонный» метод контроля наличия дефекта.	
		Число эталонно годных объектов (допустимых дефектов)	Число эталонно негодных объектов (недопустимых дефектов)
Анализируемый метод	Число годных объектов (допустимых дефектов)	Дважды годные	Недобраковка
	Число негодных объектов (недопустимых дефектов)	Перебраковка	Дважды негодные

$$D_{\alpha} = 1 - \alpha$$

$$D_{\beta} = 1 - \beta$$

$$D_{\Sigma} = 1 - (\alpha + \beta)$$

$$R_{\text{г}} = \frac{F}{F + U}$$

$$R_{\text{н}} = \frac{F - f}{F + U}$$

$$R_{\text{л}} = \frac{F}{f + U}$$

$$R = \frac{F}{F + f + U}$$

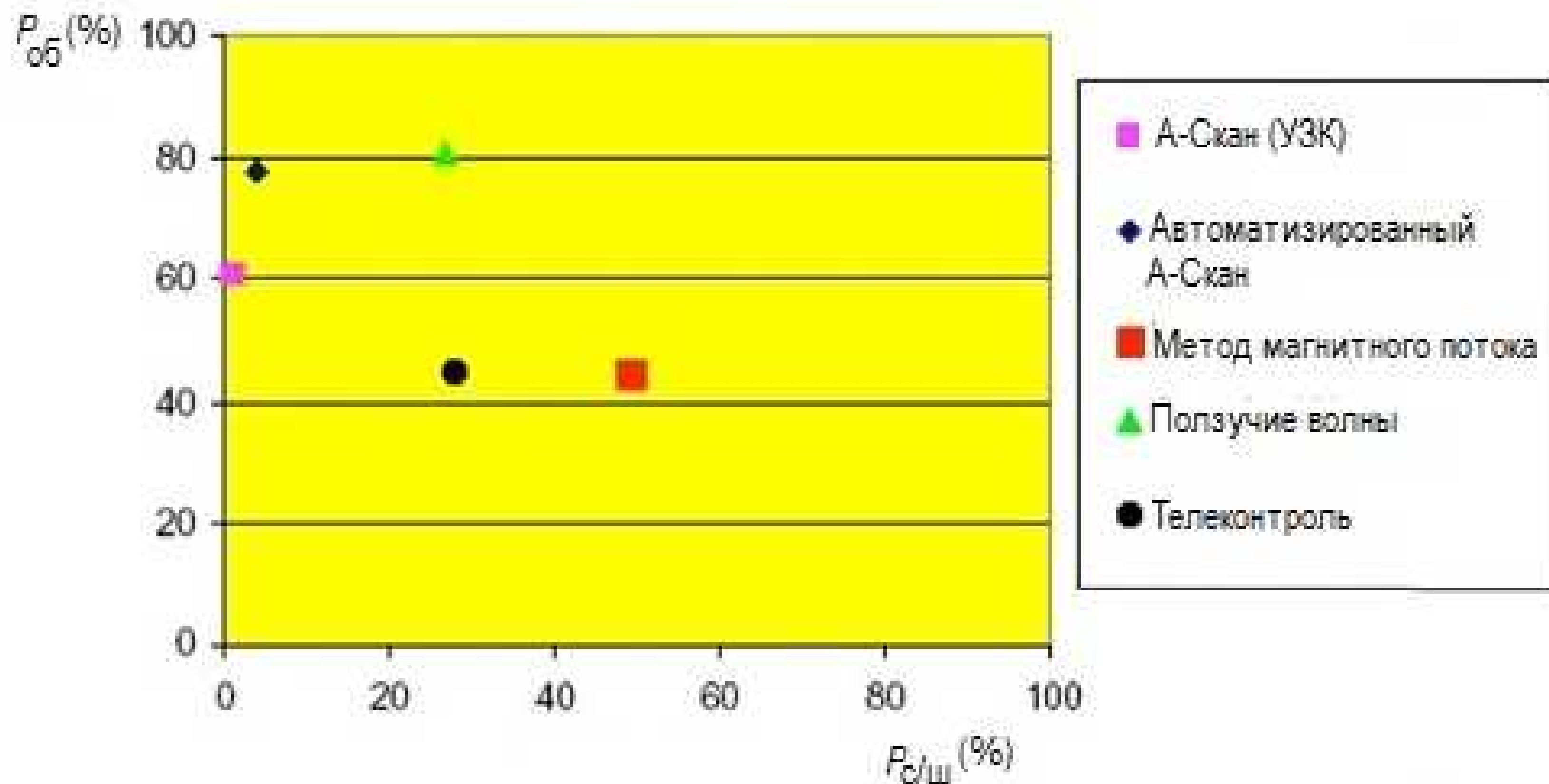
F - число обнаруженных дефектов.
 U - число необнаруженных дефектов.
 f - число ложных обнаружений.

PoD vs PFI

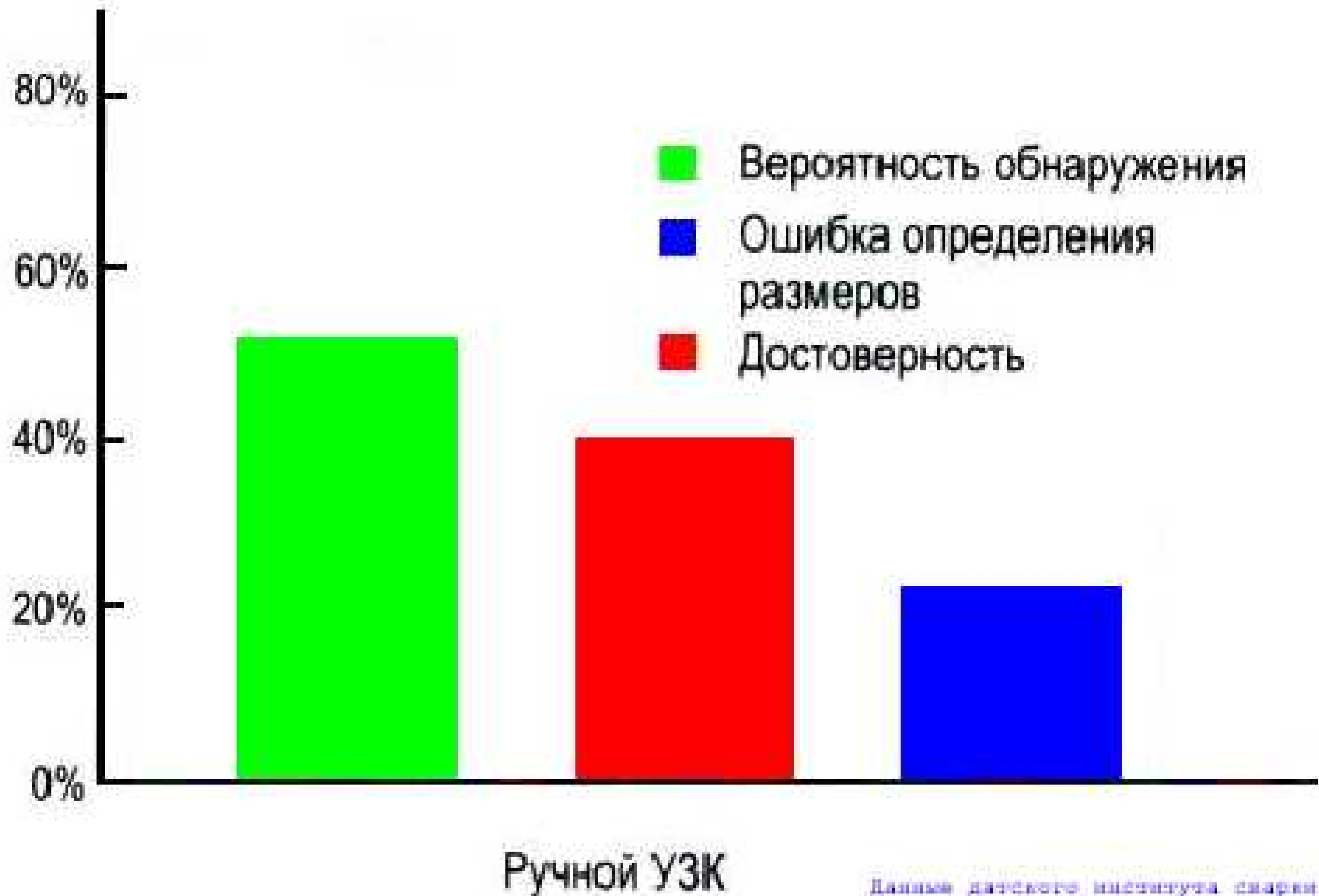
(probability of false indication)

или ROC –диаграмма.

Или Диаграмма Информативности НК



Показатели ручного УЗК



Современные проблемы НК

- Увеличение количества извлекаемой информации: вероятностей обнаружения, более точное измерение размеров, оценка формы и т.д.
- Создание новых подходов и нового поколения НТД, отражающее то, что НК является измерительным процессом и случайным процессом (введение в НТД калибровочных характеристик, введение 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.

Методика НК должна создаваться с учетом:

- Конструкции объекта.
- Условий эксплуатации объекта.
- Этапа жизни объекта.
- Основного механизма повреждения.
- Норм браковки.
- Требований измерения параметров дефектов. С учетом точностных показателей.
- Требований достоверности.

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ ПО РАЗВИТИЮ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

(В ПРОБЛЕМЕ: “ОЦЕНКА РИСКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
РЕСУРСА“)

- **PISC (I - II- III)** Projects on Inspection of Steel Components for nuclear components (1975 -1995)
- **Nofdttest** A series of Scandinavian projects on fundamental issues in NDE (Det Norsce Veritas)
- **NIL** A series of Dutch projects on fundamental issues in NDE
- **UCL** A joint industry project on underwater NDE of offshore structures
- **ICON** Inter-Calibration of Offshore NDE, a large underwater NDE project
- **TIP** Topsides Inspection Project on NDE of offshore topsides
- **SINTAP** - Structural INTegrity Assessment Procedure for European Industry - Brite Euram project, co-ordinated by British Steel
- **PERF** Petroleum Environmental Research Forum. "Advanced Acoustic Emission for On-Stream Inspection" (420 000 \$).
- **NESC** – Network for Evaluating Steel Component.
- **PANI 1-2; 1999-2004;** Programme For The Assessment Of NDT In Industry



Необходимость включения НК и ТД в технологию оценки риска аварии ставит задачу скачкообразного освоения накопленного потенциала методов НК и ТД . Дело усложняется плачевным состоянием ТД в результате развала структур отраслевой науки, отсутствия финансирования по развитию методов и средств ТД. Об этом весьма авторитетно заявлено в книге акад. В.В.Клюева: «Деградация диагностики безопасности». Если раньше финансирование научных исследований и технических разработок проводилось через министерства, то с уничтожением отраслей практически полностью исчезло финансирование работ по исследованию в области НК и ТД. Отсутствие финансирования отбрасывает НК и ТД на много лет назад.

Проблемы и задачи требующие решения

Все, что необходимо для использования результатов ТД для оценки риска, имеется. Что следует доработать?:

- Для разрешения проблем, обозначенных в докладе, необходимо объединение усилий специалистов путем создания соответствующих общественных структур.
- Требуется разработка комплекса НТД по оценке риска с использованием методов технического диагностирования, создание Методик Оценки Вероятности Аварии.
- Целесообразно создание Системы Аттестации Специалистов в Области ТД и системы соответствующих документов (Курсов обучения, Программ, Билетов и т.д.).
- Учитывая сложившуюся плачевную ситуацию с финансированием разработок в сфере НК и ТД требуется создание фонда исследований в области безопасности сложных технических систем.

Литература

1. С.А. Жулина, М.В. Лисанов, А.В. Савина, Методическое руководство по оценке степени риска аварии на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах. Безопасность труда в промышленности. 2013. № 1, 50 - 55.
2. Nevile D.J., Knott J.F. Statistical distributions of toughness and fracture stress homogeneous and inhomogeneous materials //J. Mech. Phys. Solids. -1986. – Vol. 34, № 3. – P. 243-291.
3. Лепихин А.М., Махутов Н.А., Москвичев В.В., Черняев А.П. Вероятностный риск-анализ конструкций технических систем. — Новосибирск: Наука, 2003. — 174 с.
4. Махутов Н.А., Фролов К.В., Драгунов В.Г. и др. Анализ риска и повышение безопасности водо-водяных энергетических реакторов. / Под ред. Н.А. Махутова и М.М. Гаденина; Ин-т машиноведения им. А.А. Благонравова РАН. – М.: Наука, 2009. – 499 с.
5. Волченко В.Н. Оценка и контроль качества сварных соединений с применением статистических методов. М.: Изд-во стандартов, 1974. 159 с.
6. McGrath B. A., Worrall G. M., Udell C. G. Programme For The Assessment of NDT In Industry — PANI 2, HSE Report On CD-Rom March 2004.
7. В.Г.Бадалян, А.Х.Вопилкин. Мониторинг сварных соединений трубопроводов с использованием систем АУЗК с когерентной обработкой данных. Автоматизированный ультразвуковой контроль объектов повышенной опасности. Юбилейный сборник трудов ООО НПЦ «ЭХО+». Москва; Санкт-Петербург. Изд-во «СВЕН» 2010, с.12-16.
8. Иванов В.И., Куранов В.Н., Рябов А.Н. Об акустической эмиссии при малоцикловой усталости. Доклады АН СССР, 1986, т.288, N 6, 1335-1338.
9. Berens, A. P. and Hovey, P. W., “Characterization of NDE Reliability”, in Review of Progress in Quantitative NDE, I, New York, Plenum Press, 1982
10. Коновалов Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. – М.: ГУП НТЦ ПБ, 2004. – 132 с.
11. Иванов В.И., Власов И.Э. Некоторые проблемы неразрушающего контроля. // Дефектоскопия. — 2002. — № 7. — С. 82– 93.
12. F. Hardie. Evaluation of the effectiveness of non-destructive testing screening methods for in-service inspection. HSE Books. 2009.

*Современное состояние
Оценки риска с использованием
технического диагностирования*

ТД

Риск