

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

*А.В. Демин*  
Ростехнадзор, Москва

Член-корреспондент РАН *Н.А. Махутов*, канд. техн. наук *М.М. Гаденин*  
ИМАШ РАН

*В.И. Иванов*  
ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва

*Для оценки техногенной безопасности используется показатель риска аварии. Установлено, что риск-ориентированное техническое диагностирование достигло того уровня развития, которое в полной мере обеспечивает реальное использование его при оценке техногенной безопасности технических объектов.*

**Ключевые слова:** техногенная безопасность, риск-ориентированное диагностирование, дефектометрия, неразрушающий контроль, механика разрушения, вероятность обнаружения дефектов.

**INNOVATIVE APPROACHES IN TECHNICAL DIAGNOSTICS OF TECHNICAL  
DEVICES AT HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES.**

*A.V. Demin*  
Rostekhnadzor Moscow

Corresponding Member of the RAS *N.A. Makhutov*, Ph.D (Tech) *M.M. Gadenin*  
IMASH RAS

*V.I. Ivanov*  
ZAO NIIN INPO Spectr, Moscow

*To assess technogenic safety an accident risk indicator is used. It is established, that risk-oriented technical diagnostics has reached the level of development which fully provides its real use in technogenic safety assessment using accident risk indicators for dangerous technical objects.*

**Keywords:** technogenic safety, risk-oriented diagnosis, flaw detection, nondestructive testing, fracture mechanics, probability of defect detection.

К авариям технических объектов приводят комплекс факторов, включающих несоответствие проектных решений реальным условиям работы, конструктивные недостатки, неисправность технических устройств, дефекты оборудования и ряд других причин. Одной из основных причин аварий на опасных производственных объектах (ОПО) является

наличие и рост дефектов в технических устройствах (ТУ) под действием рабочих нагрузок при изменении прочностных свойств материалов в процессе эксплуатации. Так, например, авария на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г с разрушением одного из блоков (которую по масштабу последствий можно отнести к разряду катастрофы) произошла в результате ряда причин, из которых непосредственной причиной был рост усталостных трещин в шпильках крышки системы турбина-генератор. В результате произошел обрыв шпилек крышки турбины с последующим разрушением системы турбина-генератор под импульсным действием потока воды. В результате аварии погибло 75 человек, ущерб превысил 7,3 миллиарда рублей.

На рисунках 1-4 представлены фотографии машинного зала после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) и вид разувшихся шпилек. Практически во всех шпильках были усталостные трещины больших размеров, по площади, составляющие от 20% до 90% от сечения шпилек. На рис.4 белой линией обозначена граница между несколькими усталостными трещинами, составляющими более 60% сечения шпильки, и поверхностью окончательного разрушения. При нормальной организации диагностики оборудования ГЭС возможно было на ранней стадии появления усталостных трещин выявить их в шпильках и заменив дефектные шпильки, предотвратить катастрофу.



Рис. 1. Машинный зал СШГЭС после аварии



Рис. 2. Разрушенные шпильки



Рис. 3. Шпилька с усталостными трещинами и коррозионными повреждениями

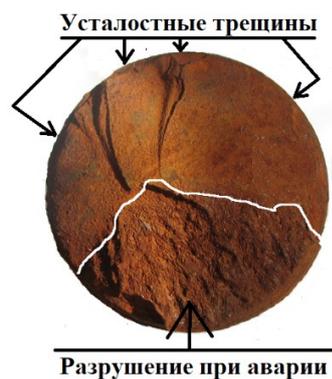


Рис. 4. Поверхность разрушенная одной из шпилек

В указе Президента РФ от 6 мая 2018 года № 198 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области промышленной безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу» отмечено: промышленная безопасность является ком-

плексной проблемой, и она должна решаться с учетом того, что 60 - 70 процентов оборудования, применяемого на опасных производственных объектах, отработало нормативные сроки службы. Социально-экономический ущерб от аварий может оцениваться в 600 - 700 млрд. рублей в год. Разрешение этой проблемы возможно только с использованием системного подхода. К принципам государственной политики в области промышленной безопасности отнесено:

- внедрение научно-технических достижений и передового опыта в целях обеспечения промышленной безопасности;
- разработка и внедрение единых критериев оценки рисков аварий на промышленных объектах и категорирования таких объектов;
- решение задач прогнозирования рисков возникновения аварий, внедрение риск-ориентированного подхода.

Универсальной системной мерой безопасности является величина риска аварии [1]. Для оценки риска аварии  $R$  рекомендуется использовать обобщённое выражение [2]:

$$R = A \cap P_f(t) \times E \times L \quad (1)$$

где  $A$  – априорная информация, связанная с проектными данными, условиями эксплуатации, идентификацией опасностей, менеджментом ОПО, квалификацией персонала и другими факторами,  $P_f(t)$  – вероятность разрушения (технический риск),  $E$  – фактор эскалации процесса аварии (Escalation),  $L$  – расчет потерь,  $\cap$  и  $\times$  - знаки логического и арифметического умножения, соответственно.

Для оценки риска аварии используется в большинстве случаев показатель статистики аварий или частоты аварий в год –  $F$  [3]. Но этот подход имеет ограничения, связанные с рядом факторов неопределенностей. Показатель статистики аварий формируется по показаниям за несколько лет. Кроме того, имеет место большие неопределенности (ошибки). Показатель относится к классу объектов, а не к конкретному объекту. Тем более это касается уникальных объектов, изготовленных из нескольких частей и с использованием нескольких технологий.

Современные методы оценки промышленной безопасности технических устройств с использованием риск-ориентированных подходов должны использовать преимущественно вместо статистики аварий - вероятность разрушения объекта. Информация для расчета вероятности разрушения объекта может быть получена только в результате выполнения технического диагностирования. Анализ причин описанной аварии и подавляющего большинства других отказов работы технических устройств указывает на необходимость более интенсивного использования методов технического диагностирования, позволяющего определить техническое состояние объекта с целью предотвращения аварии и прогнозирования ресурса.

В проекте нового закона РФ «О промышленной безопасности» обозначено использование четырех основных направлений (технологий) обеспечения промышленной безопасности. Это техническое диагностирование, мониторинг, экспертиза промышленной безопасности, аудит. Объектами являются изделия, технические устройства, технологическое оборудование, здания, конструкции и сооружения. Упомянутые выше направления представляют собой современные информационные технологии, обладающие мощным потенциалом. Одним из основных направлений является техническая диагностика. Это наиболее наукоемкое направление, которое на современном этапе номинируется как определение технического состояния объекта с целью оценки его безопасности и прогнозирования ресурса.

Ранее термин техническое диагностирование имел ограниченное использование, в основном, для вибродиагностики, которая имела задачей выявление повышенных вибрации контролируемого объекта и принятие мер по уменьшению амплитуды вибрации. Однако с

момента принятия закона РФ о промышленной безопасности в 1997 г и введением требований экспертизы промышленной безопасности техническое диагностирование стало более широко использоваться, поскольку служило инструментом для получения информации о техническом состоянии объекта и составления заключения по результатам экспертизы.

Развиваемое в настоящее время направление обеспечения промышленной безопасности на базе риск-ориентированного ТД стимулировало переход всех составляющих ТД на новый, более высокий уровень. Так вероятностная механика разрушения (ВМР) получила основу для расчетов надежности и прогнозирования ресурса используя информацию о конкретных данных механических свойств материалов объектов, находящихся в эксплуатации. Направление неразрушающего контроля (НК) получило импульс развития, требующего использования новых показателей достоверности НК.

Таким образом ТД на современном этапе объединяет методы расчета прочности объекта с использованием вероятностной механики разрушения, материаловедение с задачей определения механических свойств материалов для использования их в расчетах прочности, анализ коррозионного состояния объекта, неразрушающий контроль (НК) промышленных объектов, который включает более 10 различных видов НК, основанные на использовании различных физических полей. Среди них используются следующие методы: ультразвуковой, акустико-эмиссионный, радиационный, магнитный, электромагнитный и т.д.

В части оценки влияния дефектности оборудования на надежность и безопасность эксплуатации в начале методы расчета прочности, методы механики разрушения и неразрушающий контроль применялись независимо. Такой подход использовался для установления норм браковки оборудования. Со стороны НК определялись возможности выявления дефектов различных размеров, а со стороны МР определялись максимальные размеры, которые угрожали разрушению конструкции. Нормы браковки устанавливались исходя из возможных ошибок при определении параметров дефектов с использованием того или иного метода НК, а со стороны МР учитывались возможные ошибки расчетов прочности с учетом неопределенности информации, получаемой от НК. В результате нормы допустимых дефектов определялись с чрезмерными запасами прочности, которые учитывали возможные ошибки.

Развитие методов и методик расчетов прочности объектов с использованием вероятностных подходов (вероятностной механики разрушения – ВМР) привела к тому, что появилась возможность выполнить расчеты вероятности разрушения объектов, которые содержат дефекты различных размеров [1]. На рис. 5 представлены зависимости вероятности разрушения объектов атомной энергетики в функции от размеров дефектов: 1 – для корпуса реактора ВВЭР, 2 – 4 – для корпусов парогенераторов АЭС.

Таким образом, используя схему, включающую НК, выявляющий дефекты и измеряющий параметры дефекта, плюс ВМР, позволяющий выполнить расчет вероятности разрушения объекта диагностирования, появляется возможность перейти от нормирования дефектов с использованием размеров дефектов, которые считаются браком, к оценке вероятности разрушения объекта, содержавшего дефект того или иного размера. Для расчета вероятности разрушения объекта необходимо, чтобы по результатам НК была получена информация о следующих параметрах дефекта: 1) Размеры, 2) Положение дефекта в объекте, 3) Форма дефекта, 4) Ориентация дефекта.

Используя методы оценки развития дефектов в рабочих условиях, можно рассчитать величину межремонтного промежутка времени для конкретного объекта, что существенно снижает эксплуатационные расходы. При расчете вероятности разрушения должны учитываться следующие характеристики:

- механические свойства материала объекта,
- начальную дефектность,

- частоты режимов нагружения зоны контроля,
- параметры дефектов и погрешности измерения параметров,
- вероятность обнаружения дефектов методами НК.

Таким образом, получив информацию о параметрах дефектов и свойствах материала объекта при выполнении ТД, можно определить степень опасности дефекта по вероятности разрушения, рассчитать время выполнения следующего диагностирования и оценить остаточный ресурс с весьма высокой достоверностью. Одними из первых методических документов, которые использовали новые, описанные выше подходы, реализованы в документах Ростехнадзора и Росэнергоатома [4, 5].

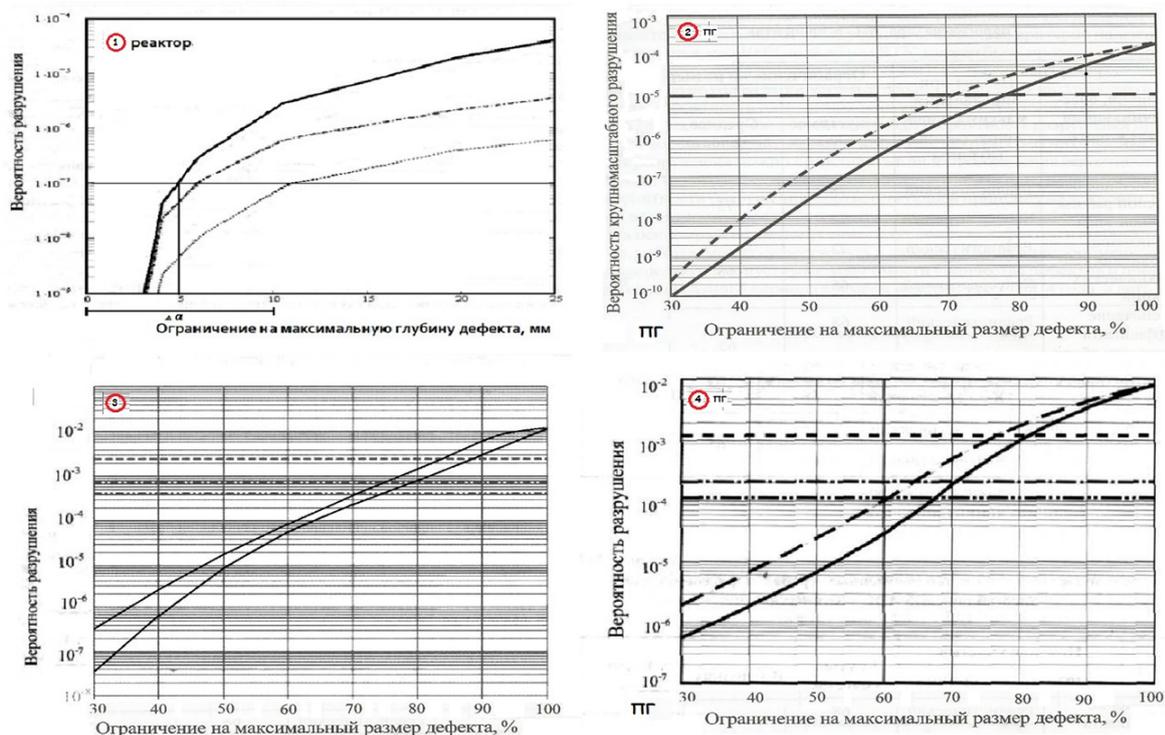


Рис. 5. Вероятности разрушения объектов атомной энергетики в зависимости от размеров дефектов: 1 – корпус реактора ВВЭР, 2 – 4 – корпуса парогенераторов АЭС [1]

В документе РД ЭО 0489—03 приведена диаграмма допускаемых размеров дефектов в сварных соединениях Ду300 из стали марки 08X18Н10Т (рис.6) [4]. На рис. 6 введены обозначения: 1 – диаграмма предельных допускаемых дефектов; 2 – область безопасная для эксплуатации на конец срока оценки; 3 - область безопасная для эксплуатации на 1 год; 4 - область безопасная для эксплуатации на 2 года; 5 - область безопасная для эксплуатации 4 года. В федеральных нормах и правилах НП-084-15 [5] предусматривается возможность и необходимость выполнения эксплуатационного контроля с учетом показателей риска (раздел X). Рекомендуется устанавливать перечень зон контроля, сочетание методов контроля и периодичность контроля исходя из оценки риска разрушения зон контроля объектов атомных станций. Применение риск-ориентированного подхода позволяет сократить количество зон контроля, увеличить период между планово-предупредительными ремонтами во время эксплуатации. В табл. 1, взятой из документа [4] устанавливается возможность допуска в эксплуатацию до следующего контроля свар-

ных соединений аустенитных трубопроводов Ду300 с несплошностями, выявленными ультразвуковым контролем, при условии, что геометрические размеры дефектов в виде несплошностей после их схематизации не превышают значений, приведенных в табл. 1.

Представленные на рис.6 и в табл. 1 подходы к оценке дефектов в ответственном оборудовании, относящемся к первому классу опасности, были основаны на большом объеме исследований, результаты которых представлены в четырехтомном издании «Безопасность России» [1]. Это обозначает принципиальный переход от нормирования дефектов, основанном на бинарном подходе «брак не брак» к расчетам прочности объекта с дефектом, при соблюдении требований, чтобы вероятность разрушения объекта, содержащего дефект, выявленный с использованием методов НК и с измеренными размерами, не превышала установленного значения. В настоящее время для объектов атомной энергетики вероятность разрушения не должна превышать  $10^{-7}$ , т.е. должно выполняться требование  $P_f < 10^{-7}$ .

Таблица 1

Высота дефекта, не более мм	Протяженность дефекта, не более мм	Межконтрольный период, год
6	150	1
6	130	2
4	90	4
3	40	6
2	не регламентируется	8

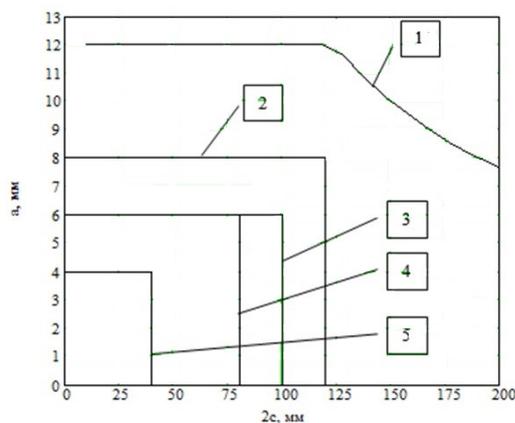


Рис. 6. Диаграмма допускаемых размеров дефектов

Необходимость расчетов вероятности разрушения с использованием методик расчетов вероятности разрушения объекта с дефектом устанавливает новые, более высокие требования к параметрам систем НК. В систему НК входят методика НК, средства контроля (приборы, материалы) и персонал (операторы), выполняющий НК. Персонал НК должен обладать большим объемом знаний не только в области НК, но также и в области МР, поскольку информация, получаемая при выполнении НК, должна быть в дальнейшем использована при расчетах вероятности разрушения объекта.

Необходимость расчетов вероятности разрушения объектов, способствует практическому использованию новых требований к НК, в частности, актуализируется требование к получению реальных размеров дефектов в результате выполнения НК, т.е. перейти от

НК к дефектометрии [6]. Кроме того, необходима информация относительно надежности (достоверности) НК, содержащая вероятностные показатели оценки результатов. Одно из основных требований связано с получением «калибровочной» характеристики, определяющей связь реального размера дефекта с измеренным. На рис. 7 приведен пример данной характеристики, полученный при ультразвуковом контроле с использованием системы «Авгур» [7]. Отдельные значки – результаты измерений в разных сечениях сварного шва, а) – калибровочная зависимость, связывающая реальный размер дефектов (высоту дефектов) с измеренным, б) плотность вероятности реальных размеров дефектов при одинаковом показании прибора (на рис. 7 показан измеренный размер  $\hat{a} = 5$  мм). Вероятность превышения высоты дефекта его измеренного значения имеет вид:

$$P(\hat{a}) = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{\hat{a} - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right], \quad (2)$$

где  $\mu$  – средняя высота дефекта,  $\hat{a}$  – измеренная высота дефекта,  $\sigma$  – дисперсия измерения. Для приведенного примера доверительный интервал составляет 0,96, погрешность измерений 1,5 мм [7].

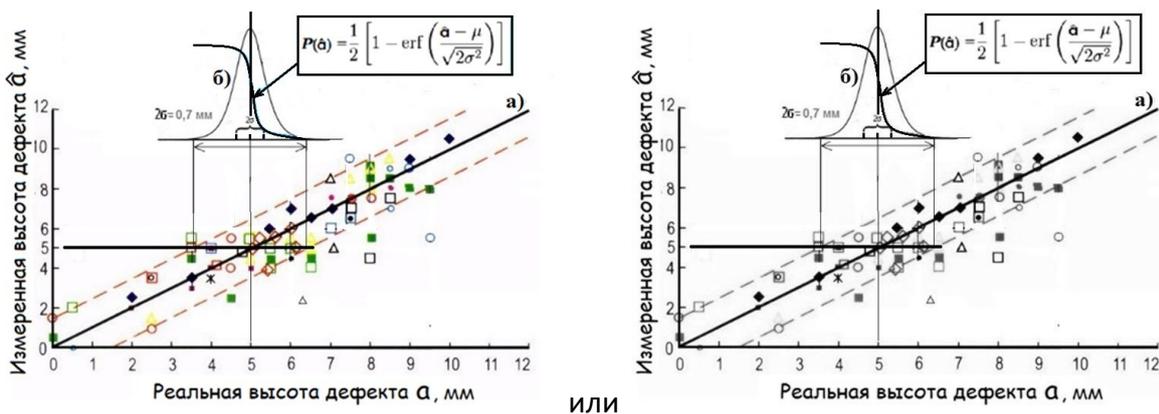


Рис. 7. Калибровочная зависимость, связывающая реальную высоту дефектов в отдельных сечениях, с измеренными значениями [7]

### Расчет вероятности разрушения при наличии дефекта

Используя калибровочную, представленную на рис. 7, и зависимости вероятности разрушения объектов от размеров дефектов (рис. 5), можно определить вероятность разрушения объекта, содержащего дефект того или иного размера. Схема этих действий представлена на рис. 8. Например, для измеренной высоты дефекта  $\hat{a} = 5$  мм вероятность разрушения для корпуса атомного реактора ВВЭР 1000 составляет  $P(a_c) = 1,0 \times 10^{-7}$ . Данная вероятность разрушения является предельной величиной для указанного объекта. Однако, учитывая погрешность измерения размеров дефектов необходимо использовать вероятность превышения размера, определяемая выражением (2). Тогда допустимый размер дефекта необходимо определить, используя выражение:

$$P(a_{\text{доп}}) = P(a_c) \times P(\hat{a})$$

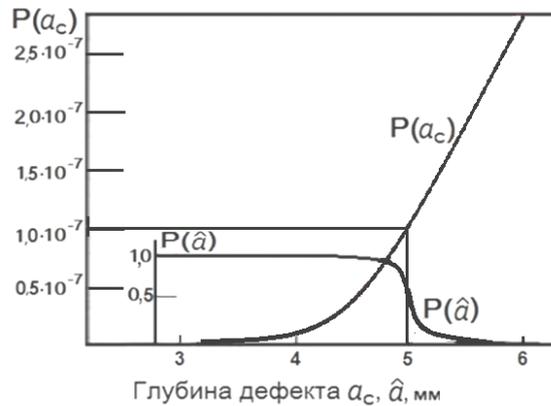


Рис. 8. Схема определения вероятности разрушения объекта, содержащего дефект глубиной 5 мм

### Использование показателей достоверности НК при оценке вероятности разрушения

В настоящее время оценку безопасности объектов предложено выполнять с учетом достоверности результатов технического диагностирования [2]. Эту достоверность следует учитывать при использовании зависимостей вероятности разрушения объектов от размеров дефектов, полученных с применением вероятностной механики разрушения (рис.5 [1]). В части НК характеристиками достоверности результатов являются преимущественно - вероятность обнаружения дефектов  $P_{од}$  и диаграмма информативности контроля (ДИК). За рубежом вероятность обнаружения дефекта имеет обозначение **PoD** (Probability of Detection), а диаграмма информативности контроля (ДИК) имеет обозначение **ROC** (Receiver Characteristic of Detection). Характерный вид зависимости вероятности обнаружения дефектов от размеров дефектов приведен на рис.9 [2], где по оси абсцисс приведено отношение размера обнаруженного дефекта к предельному размеру дефекта для данной конструкции  $a_{fr}$ . Предельным размером дефекта может быть либо дефект глубиной  $a_{fr}$ , при котором происходит хрупкое разрушение объекта, либо дефект, глубина которого  $a_{lbb}$  в процессе эксплуатации объекта достигла величины толщины стенки объекта. В последнем случае ситуация имеет название «течь перед разрушением».

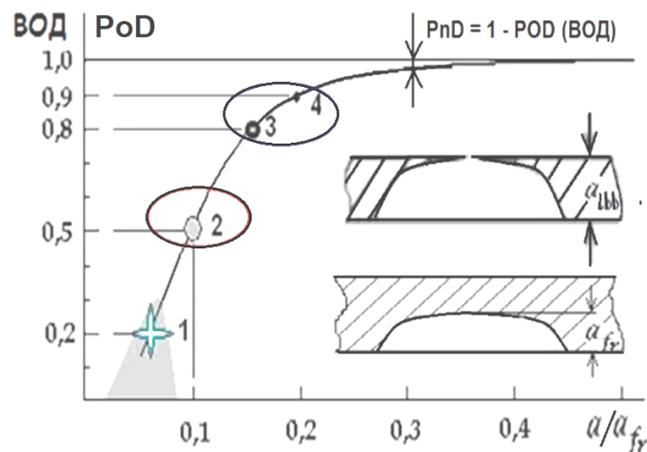


Рис. 9. Характерная форма диаграммы вероятности обнаружения дефекта (ВОД)

ВОД-диаграмма (рис. 9) имеет ряд особых областей. Затененная область 1 представляет собой область чувствительности системы НК (система НК включает методику контроля + средства контроля + операторы контроля). В области 1 уровень шумов находится на уровне амплитуды сигналов от дефектов минимальных размеров и вероятность того, что сигнал шума можно принять за сигнал от дефекта весьма высока. Область 2 представляет собой область максимума энтропии НК (максимальная неопределенность показаний системы НК). Следует заметить, что реальные показатели систем НК, применяемых для контроля промышленных объектов лежат преимущественно в пределах:  $0,6 \leq \text{ВОД} \leq 0,8$ . Для систем НК высокого уровня вероятность обнаружения дефекта лежит в пределах  $0,8 \leq \text{ВОД} \leq 1,0$ . В настоящее время ВОД-диаграммы характеризуют качественный уровень системы НК и используя их можно сравнивать качество систем при выборе их для выполнения контроля того или иного объекта.

Использовать ВОД-диаграммы при оценке вероятности разрушения объекта необходимо в следующих обстоятельствах. Можно предположить, что в процессе выполнения контроля возникнет ситуация, когда обнаружен дефект максимального размера  $a_m$ , но возможно, что дефект размером близким или равным предельному размеру для данной конструкции  $a_{fr}$  - не обнаружен, поскольку вероятность обнаружения дефектов не бывает равной 1. Данная ситуация может возникнуть при контроле ответственного объекта с использованием системы контроля не предельно высокого качества. Тогда необходимо использовать значения вероятности обнаружения  $P(a_m)$  для выявленного дефекта максимального размера, а также вероятность пропуска дефекта размером равным предельному для данной конструкции  $(1 - \text{PoD}(a_{fr}))$  [2]. В этих случаях необходимо воспользоваться формулой умножения вероятностей:

$$P_{\Sigma 2} = P_{\text{fract}} = 1 - [1 - \text{PoD}(\hat{a}_m)] \times [1 - \text{PoD}(f)] \quad (3)$$

или

$$P_{\Sigma 2} = P_{\text{fract}} = 1 - [1 - \text{PoD}(\hat{a}_m)] \times [1 - \text{PoD}(a_c)] \quad (4)$$

При контроле объектов повышенной опасности для повышения надежности диагностики часто используют повторные контроли с использованием той же системы контроля, либо с использованием разных систем контроля, имеющих различные настройки [8]. В этих случаях суммарное повышение вероятности обнаружения дефектов можно определить с использованием следующих выражений:

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P_i)^m \quad (5)$$

или

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P_1) \dots (1 - P_m) \quad (6)$$

Здесь  $P_i$  – вероятность обнаружения дефекта при однократном контроле,  $m$  - число контролей. На рис. 10 представлены зависимости увеличения вероятности обнаружения дефектов при многократном контроле. Цифрами 1, 2, 3 отмечены исходные вероятности при однократном контроле. Затененная зона на рисунке является рекомендуемой зоной вероятности обнаружения дефектов современных систем НК.

В настоящее время начинаются попытки применения диаграмм информативности контроля (рис. 11), называемых рабочими характеристиками приемника (в английской транскрипции: ReceiverOperatingCharacteristic - **ROC**), представляющими диаграммы совместных значений вероятности обнаружения **PoD** и вероятность ложного обнаруже-

ния дефекта **PfD** (в дефектоскопии – вероятность перебраковки, в радиолокации – вероятность ложной тревоги) [2, 7, 9]. По оси абсцисс отложена вероятность ложного обнаружения дефекта - **PfD**, по оси ординат вероятность обнаружения дефекта - **PoD**.

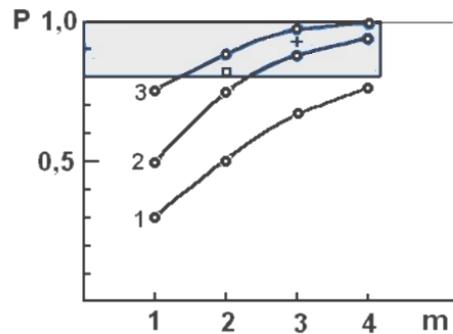


Рис. 10. Повышение вероятности обнаружения дефектов при многократном контроле

Диаграмма **PoD-PfD** на рис. 11 не является функциональной зависимостью **PoD(PfD)**, но отображает ситуацию возможных сочетаний событий правильного обнаружения дефекта и ложную индикацию дефекта, когда его нет. Линии 1, 2, 3 соответствуют различным уровням качества систем НК. Линия 1 соответствует ситуации равных вероятностей. Т.е. совпадают распределения сигналов от дефекта и сигналов шумов, что соответствует максимальной неопределенности и неспособности системы контроля выявить дефект в данных условиях. Линии 2 и 3 соответствуют возможности выявления дефекта с большей вероятностью при одной и той же вероятности ложного обнаружения дефекта, что говорит о более высоком качестве систем НК или улучшению ситуации при контроле. Стрелка **a** соответствует более четкому разделению распределений сигнала и шума, стрелка **b** соответствует уменьшению порога обнаружения сигнала.

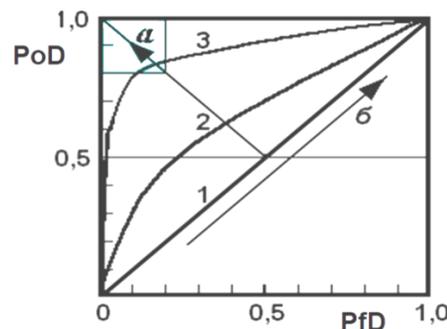


Рис. 11. Диаграмма информативности контроля (ДИК -ROC)

Приведенный выше материал показывает, что для использования НК при оценке вероятности разрушения объекта необходимо, чтобы системы НК обладали дополнительными характеристиками, включающими калибровочные характеристики системы НК для обнаружения дефектов в конкретных объектах повышенной опасности (рис. 7), показателями погрешностей измерений, характеристиками достоверностей применяемых систем НК (рис. 8–11).

Указанный перечень приведенных выше требований превращают «Неразрушающий Контроль» в «Дефектometriю» [6, 7]. Для того, чтобы информация о дефектности объектов диагностики могла быть использована для расчетов вероятности разрушения объектов требуется измерять следующие параметры дефектов: координаты, размеры, форму, ориентацию. Необходимо отметить, что проблемы оценки достоверности НК рассматривались и ранее [9, 10]. Однако недостаточная научная проработка данного направления, отсутствие методик оценки достоверности, относительная дороговизна процедуры, недостаточный уровень развития приборного обеспечения сдерживало широкое практическое использование этих методик. В отечественной практике проблемами оценки достоверности НК занимались отдельные энтузиасты, тогда как за рубежом рассматриваемым вопросам посвящено ряд многолетних программ с большим уровнем финансирования, часть которых приведена ниже:

- **PISC (I - II- III)** Projects on Inspection of Steel Components for nuclear components (1975 -1995г.г.)
- **Nordtest** A series of Scandinavian projects on fundamental issues in NDE (DetNorsceVeritas)
- **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
- **1-st European-American Workshop on Reliability of NDE**. BAM – Berlin, Germany. 1997-2017 – 6 Conferences///
- NASA Space Shuttle Program/ Rummel/ POD Curve/ 1974.

Академик В.В. Ключев в своей книге «Деградация Диагностики Безопасности» [12] отмечает, что «институты прикладной науки ... продолжают разрушаться или, в лучшем случае, находятся в стадии стагнации и деградации. Сегодня надо признать и понять, что произошло как минимум десятикратное сокращение числа ученых и специалистов прикладной науки. Главное, что нет финансирования, нет зарплаты, нет научных кадров. Молодежь не идет в науку не потому, что она ее не интересуется, а потому что в ней биологически трудно выжить». Можно зафиксировать, что необходимо приложить максимальные усилия для выхода из этого состояния.

### Заключение

В статье показано, что при оценке риска аварии необходимо использовать ряд новых подходов. В частности:

1. Требуется разработка методик Риск-Ориентированного ТД для каждого класса объектов, включая создание Методик оценки вероятности аварии. Создание методик расчета вероятности разрушения в зависимости от параметров дефектов – задача вероятной механики разрушения.
2. Необходима разработка комплекса нормативно-технических документов по оценке риска аварии с использованием методов технического диагностирования содержащих регламентацию применения зависимостей вероятностей разрушения объектов от размеров дефектов (задача вероятностной механики разрушения), применения калибровочных характеристик  $\hat{a}(a)$  с погрешностями измерений, применения **PoD(a)**-диаграмм, а также

диаграмм **PoD-PfD** (Диаграммы Информативности Контроля – **ДИК**) – (задачи неразрушающего контроля).

3. Рекомендовать создание новых методик Ростехнадзора по нормированию дефектов для других отраслей с использованием опыта применения документов Ростехнадзора НП-084-15 и НП 095-15.

4. Следует обратить внимание Ростехнадзора на необходимость создания системы подготовки и аттестации специалистов по техническому диагностированию с оценкой риска аварии и системы соответствующих документов (Курсов обучения, Программ, Билетов, объединенного Банка образцов с дефектами для оценки квалификации систем НК и т.д.).

5. Для координации выполнения комплекса перечисленных проблем и задач необходимо создание в НТС Ростехнадзора специального Комитета по Риск-Ориентированному Техническому Диагностированию.

6. Для комплексного решения проблем развития и использования в промышленности Риск-Ориентированного Технического Диагностирования необходимо привлечение внимания ПРОМЫШЛЕННОСТИ и ГОСУДАРСТВА для финансирования инновационных разработок новых методов и средств в указанной области.

### Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ риска и проблем безопасности под общ. ред. Н.А. Махутова, М.: Знание. В 4 ч.: Ч.1. Основы анализа и регулирования безопасности. - 2006 г. – 640 с.; Ч.2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление рисками. - 2006 г. -752 с.; Ч.3. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов. 2007 г. – 816 с.; Ч.4. Научно-методическая база анализа риска и безопасности. - 2007 г., - 864 с.

2. Махутов Н.А., Иванов В.И., Мусатов В.В. Применение технической диагностики для расчета вероятности разрушения технических устройств и оценки риска аварии. Безопасность Труда в Промышленности. - 2018, № 9, 53-64.

3. Хенли Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. — М.: Машиностроение. - 1984. — 528 с.

4. Методика расчета и нормы допускаемых размеров дефектов в сварных соединениях трубопроводов Ду300 КМПС РБМК. РД ЭО 0489-03. Утверждены Техническим директором «Росэнергоатом» 20.12.2003 г.

5. НП-084-15. Федеральные нормы и правила. Правила контроля основного металла, сварных соединений и наплавленных поверхностей при эксплуатации оборудования, трубопроводов и других элементов атомных станций. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07.12.2015 г. № 502

6. Иванов В.И., Власов И.Э. О дефектометрических подходах в ультразвуковом контроле. Дефектоскопия. - 1998, № 2, с.41-46.

7. Бадалян В.Г., Вopilкин А.Х. 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. Параметры многочастотной ультразвуковой дефектоскопии. Дефектоскопия. - 1978. № 1. С.62-67.

9. Иган Д.П. Теория обнаружения сигналов и анализ рабочих характеристик. М.: Наука. - 1983. - 216 с.

10. Волченко В.Н. Оценка и контроль качества сварных соединений с применением статистических методов. М.: Изд-во стандартов. - 1974. 159 с.

11. Коновалов Н.Н. Нормирование дефектов и достоверность неразрушающего контроля сварных соединений. – М.: ГУП НТЦ ПБ. - 2004. – 132 с.

12. Клюев В.В. Деградация диагностики безопасности. М: Издательский дом «Спектр» - 2012. – 128 с.

Сведения об авторах

*Демин Александр Викторович*, Ростехнадзор, Заместитель руководителя, 105066, г. Москва, ул. А. Лукьянова, д. 4, стр. 1, Телефон: +7 (495) 532-15-29, rostehnadzor@gosnadzor.ru

*Махутов Николай Андреевич*, главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). E-mail: kei51@mail.ru. Тел. +7(495)930-80-78

*Иванов Валерий Иванович*, ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр», Москва, проф., гл. научн. сотр., 119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1, Телефон: +7 (906) 043-11-94

*Гаденин Михаил Матвеевич*, ведущий главный научный сотрудник Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (ИМАШ РАН); 101000, Москва, Малый Хари-тоньевский переулок, д.4. E-mail: safety@imash.ru.

УДК 623.094

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-03-2

**ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
РАЗВЕДКИ ЗОНЫ ЧС: НЕКОТОРЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДИЧЕСКОГО  
ПОДХОДА**

*Доктор техн. наук Р.А. Дурнев, А.С. Гусева*  
**ФГБУ РАРАН**

*И.В. Жданенко*  
**ФГБУВНИИГОЧС (ФЦ)**

*А.В. Рогачева*  
**ФГБОУ ВО**

**«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

*Выполнена априорная логико-вероятностная оценка живучести и эффективности мини-БПЛА при проведении разведки зоны ЧС с помощью нового методического подхода. Показана принципиальная возможность его использования для обоснования технологии применения мини-БПЛА при воздействии поражающих факторов источников ЧС.*

**Ключевые слова:** логико-вероятностная оценка, живучесть элементов, беспилотный летательный аппарат, этапы применения, поражающие факторы источников чрезвычайных ситуаций.