

**Девятая Международная научно-техническая конференция  
"Безопасность, экономика и эффективность  
атомной энергетики" - МНТК-2014**

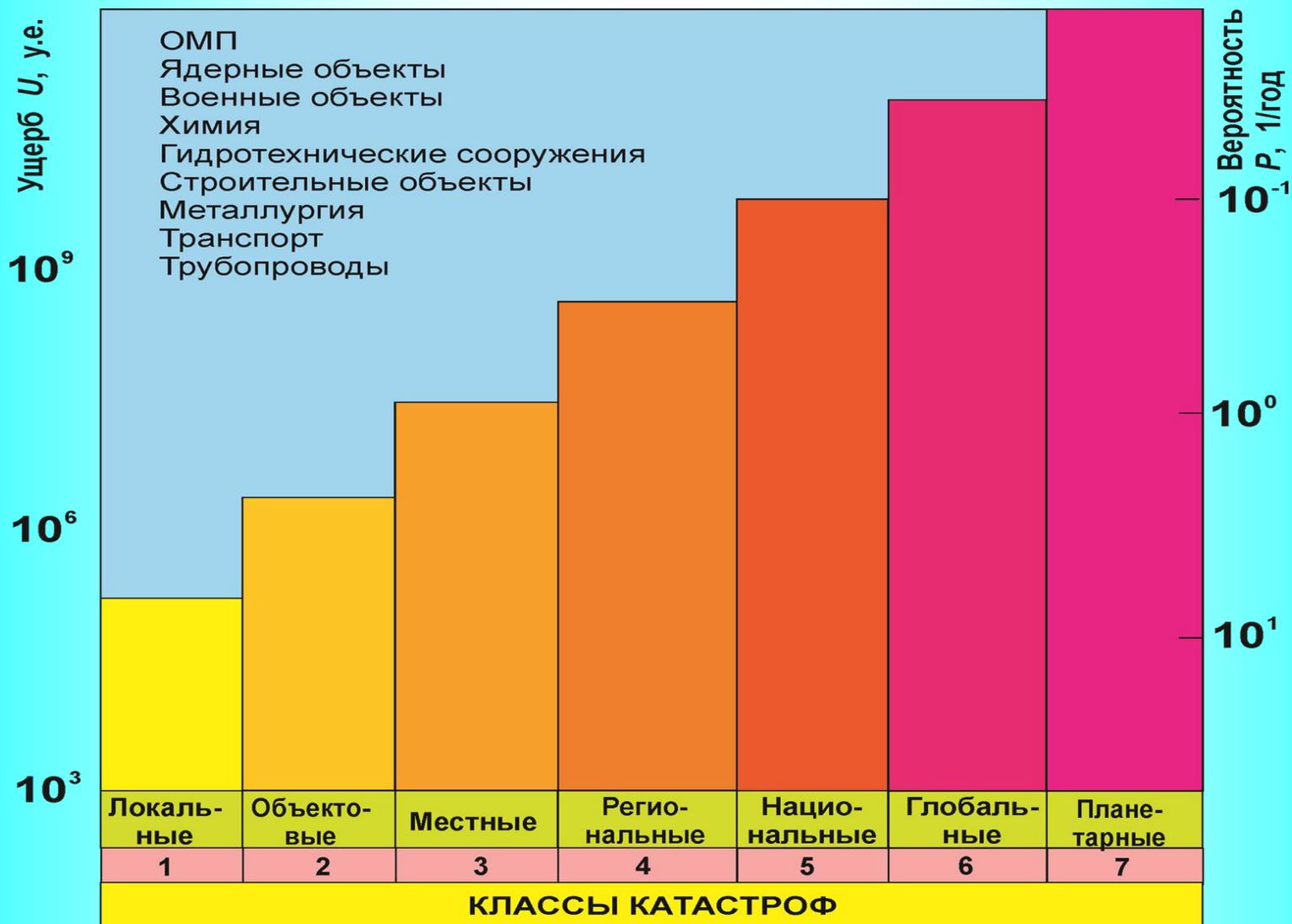
**21 - 23 мая 2014 г., Москва, "Концерн Росэнергоатом"**

**"НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТНО-  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО  
РЕСУРСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ"**

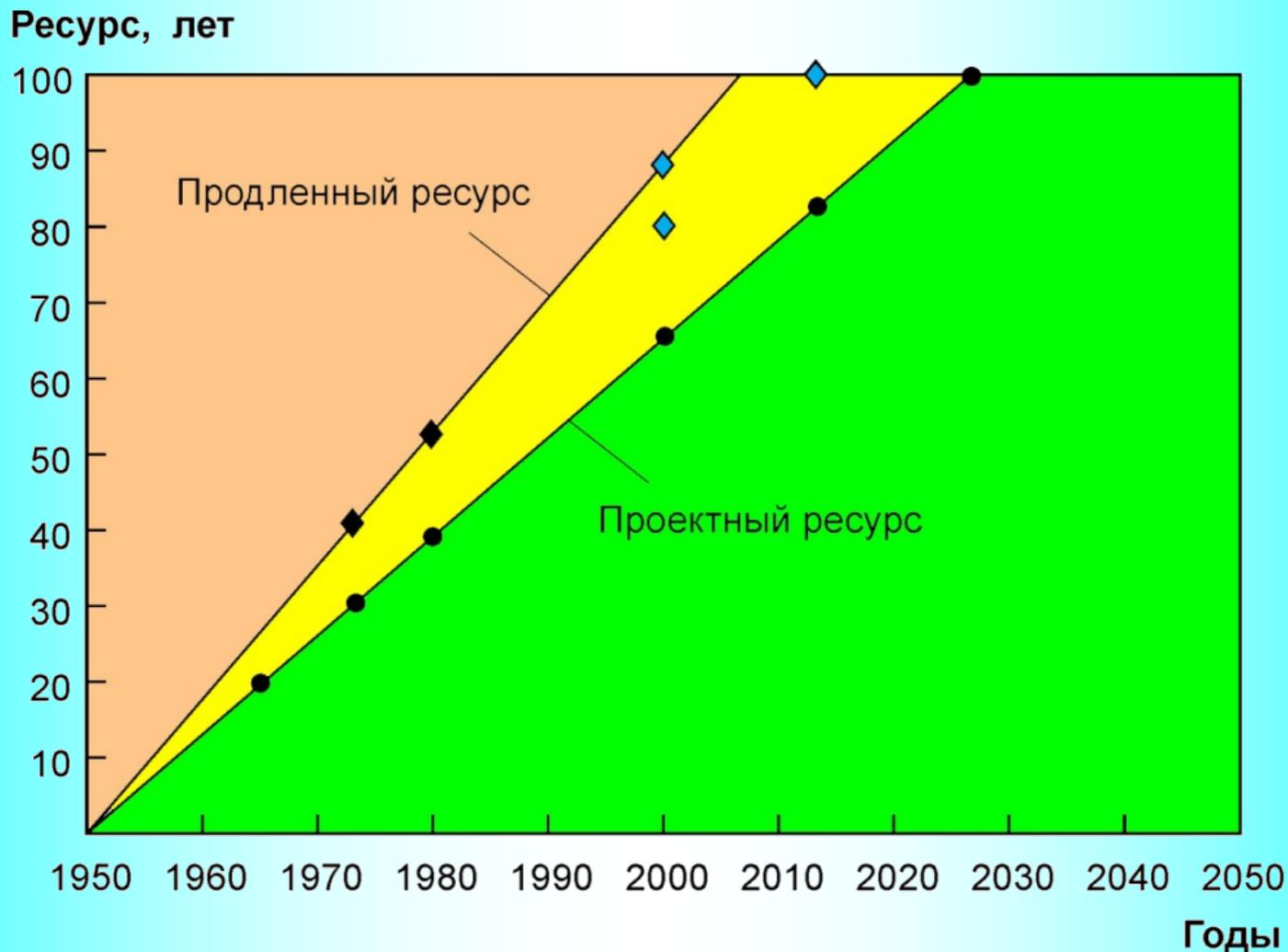
**Чл.-корр. РАН Махутов Н.А.**

**Председатель Рабочей группы при Президенте РАН  
по анализу риска и проблем безопасности**

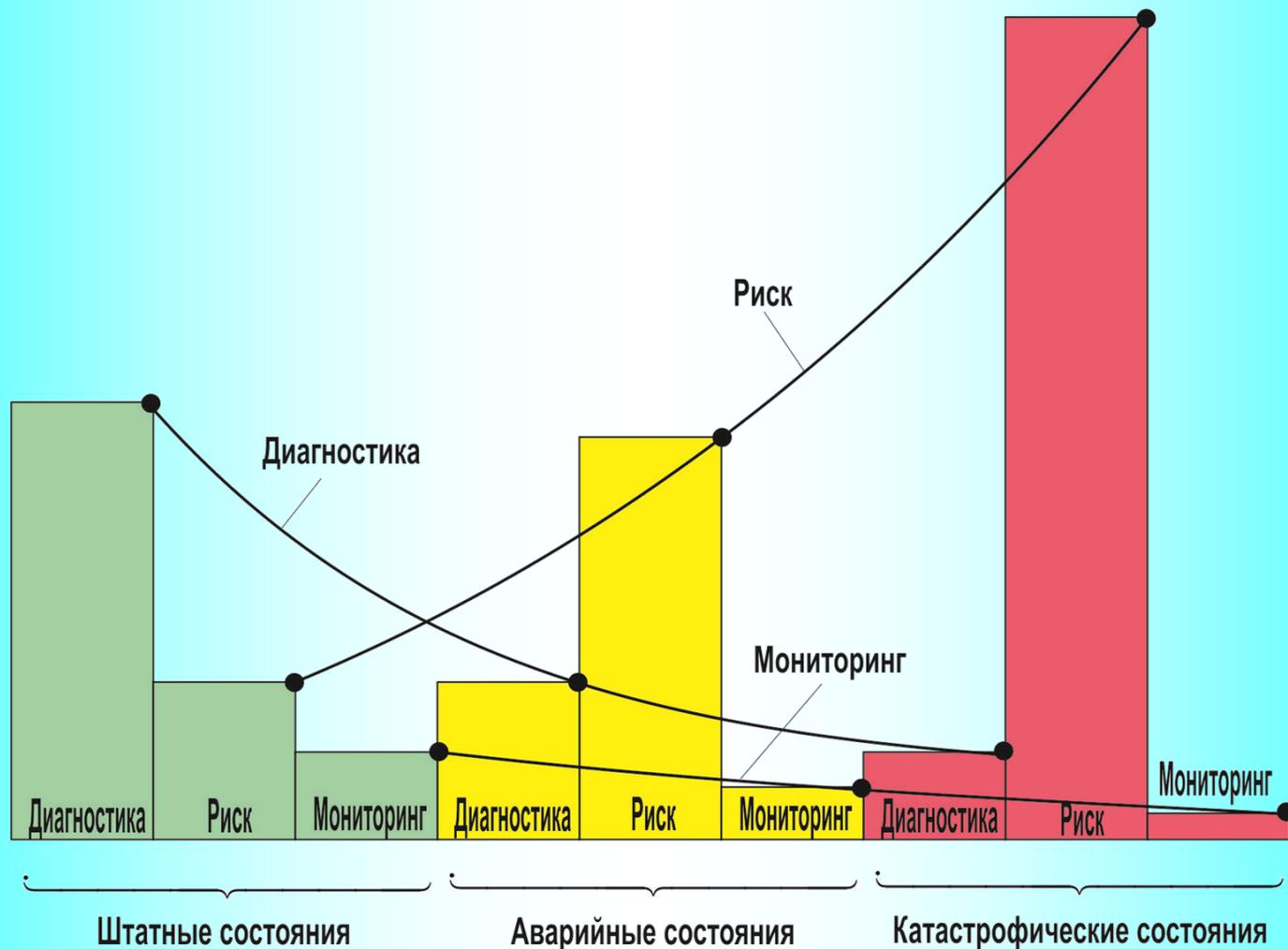
# КЛАССИФИКАЦИЯ И БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ РИСКОВ ЧС



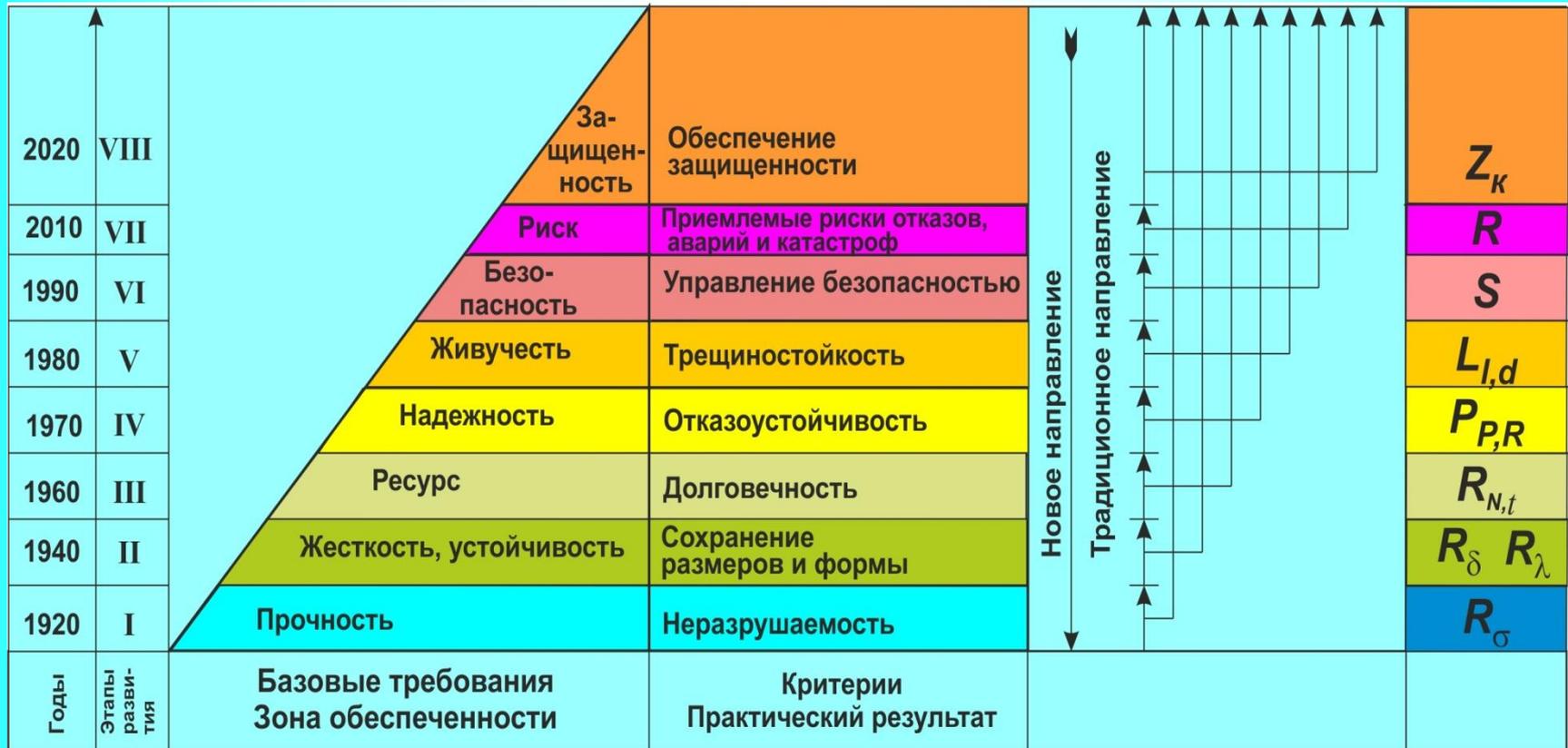
# ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТНЫХ И ПРОДЛЕННЫХ СРОКОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС с ВВЭР



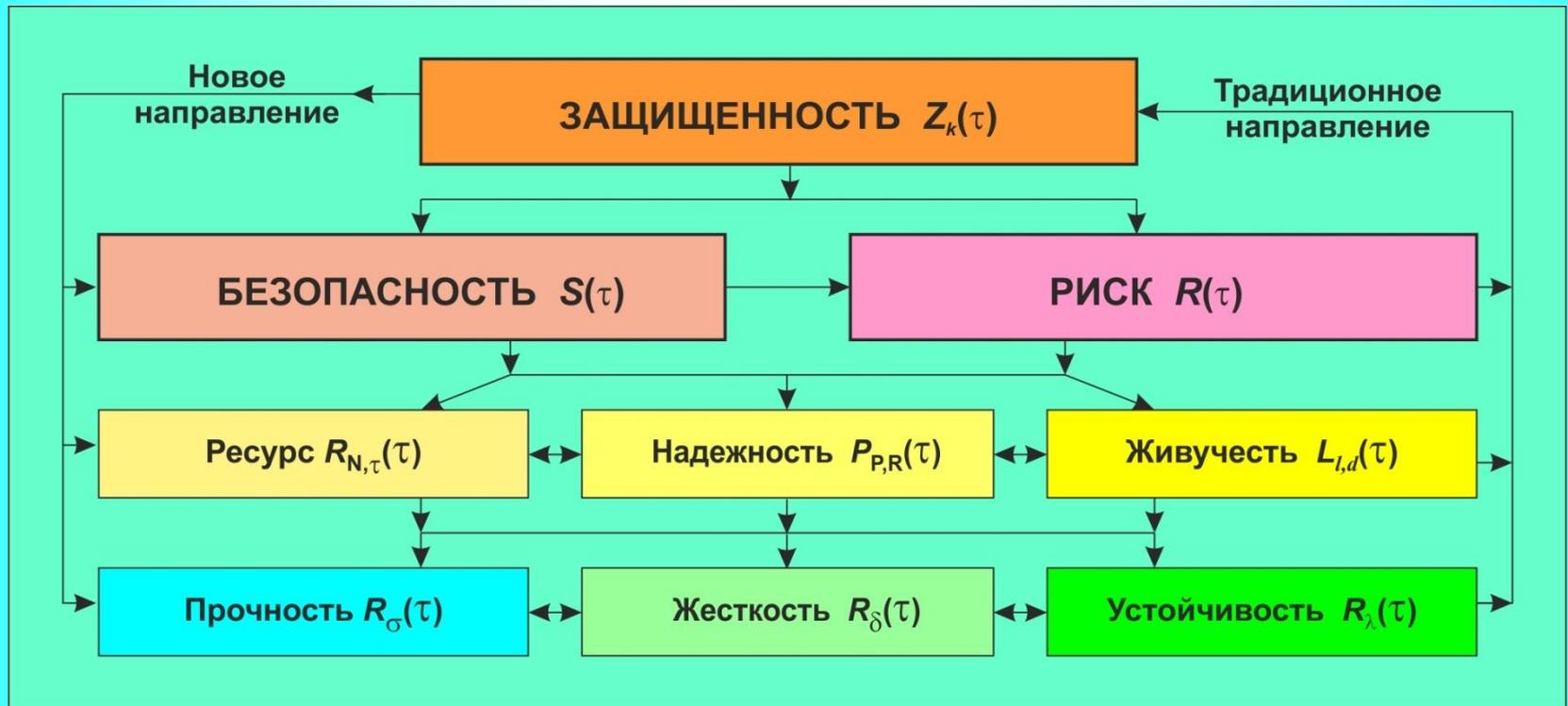
# ПАРАМЕТРЫ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ И РИСКОВ



# ОБЩАЯ СТРУКТУРА ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ



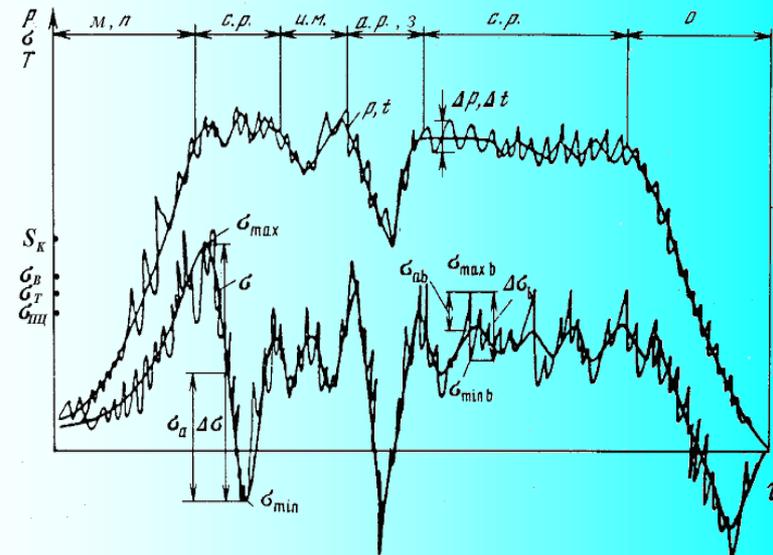
# ТРАДИЦИОННЫЙ И НОВЫЙ АЛГОРИТМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ



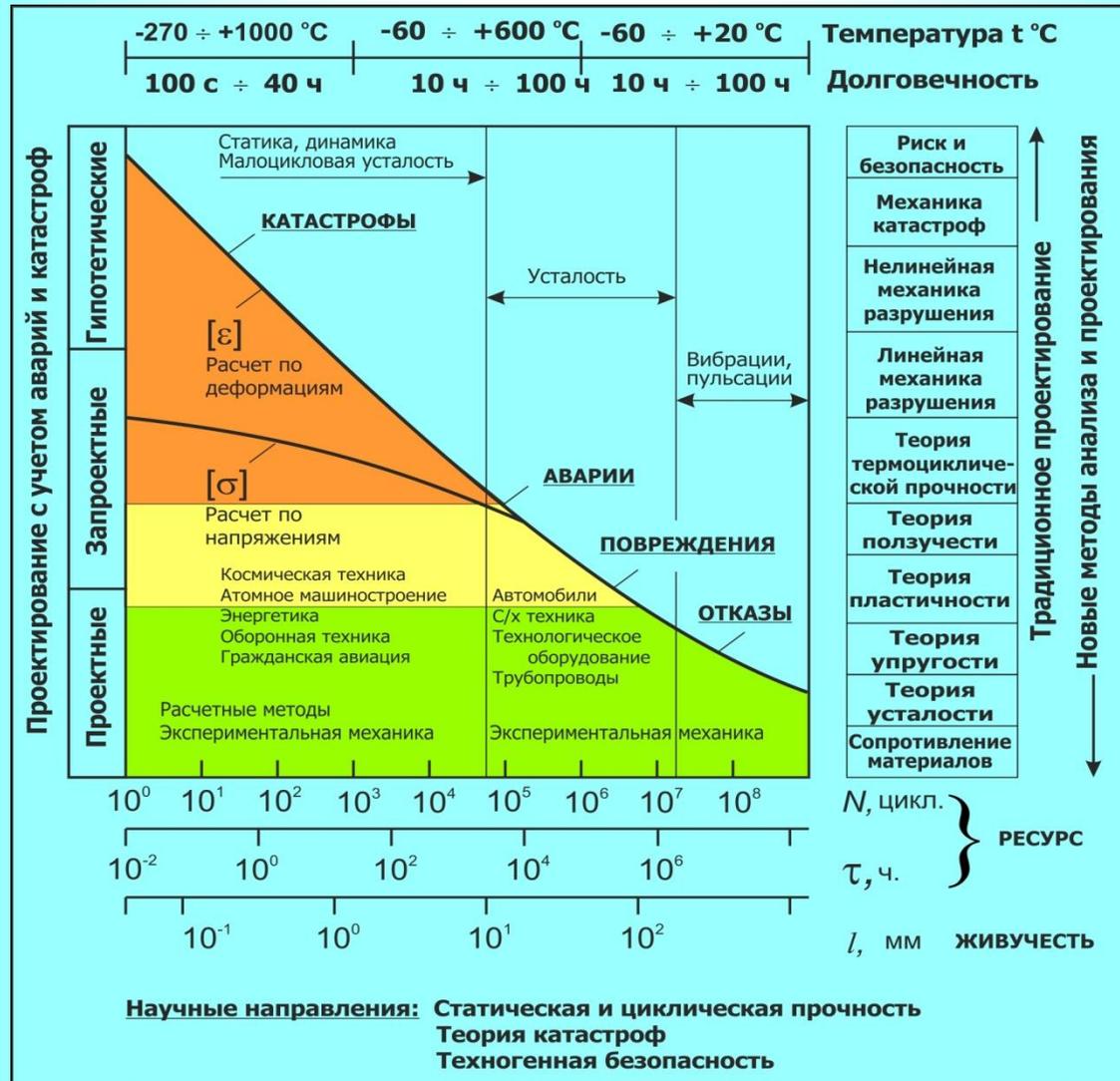
# РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ И КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ, ТРЕЩИНОСТОЙКОСТ И ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

$Z\{R,U,P\}$	Защищенность (потенциально опасные объекты)
$R,U,P$	
$R\{U,P\}$	Риск (потенциально опасные объекты)
$U,P$	
$\{\sigma^o, e^o, N^o, t^o, \tau^o, \Phi^o\}_{\max}$	Безопасность машин (потенциально опасные объекты)
$\{\sigma_T, \sigma_B, \sigma_{-1}, K_{Ic}, K_{Iec}, dl/dN, dl/d\tau\}_{\max}$	
$\sigma^o, e^o, I^o, N^o, t^o, \tau^o, K_I^o, K_{Ie}^o, \beta_c$	Живучесть машин (термоядерная энергетика, реакторостроение)
$\sigma_T, \sigma_B, dl/dN, dl/d\tau$	
$\sigma^o, e^o, I^o, K_I^o, K_{Ie}^o, t^o$	Механика разрушения (реакторостроение)
$t_k, K_{Ic}, K_{Iec}$	
$\sigma^o, e^o, \sigma - N, v_\sigma$	Надежность и ресурс машин (общее машиностроение)
$\sigma_T, \sigma_B, \sigma_{-1}, K_\sigma, \varepsilon_\sigma, \Psi_\sigma, v_\sigma$	
$\sigma^o, e^o, t^o, \tau^o$	Ползучесть и длительная прочность (авиация, энергетика)
$\sigma_T, \sigma_B, \sigma_{дл}, \Psi_{k\tau}, K_{Iec}, m_\tau$	
$\sigma^o, e^o, N^o, t^o$	Малоцикловая усталость (тепловая энергетика, нефтехимия)
$\sigma_T, \sigma_B, m, \Psi_k, m_p, m_e$	
$\sigma^o, N^o, t^o$	Низкотемпературная прочность (северная, криогенная техника)
$\sigma_T, \sigma_B, S_{от}$	
$\sigma^o, N^o$	Усталость и долговечность (авиация, транспорт, гидроэнергетика)
$\sigma_T, \sigma_B, \sigma_{-1}$	
$\sigma^o$	Динамика и прочность машин (с/х машины, автомобили, технологическое оборудование)
$\sigma_T, \sigma_B, E$	

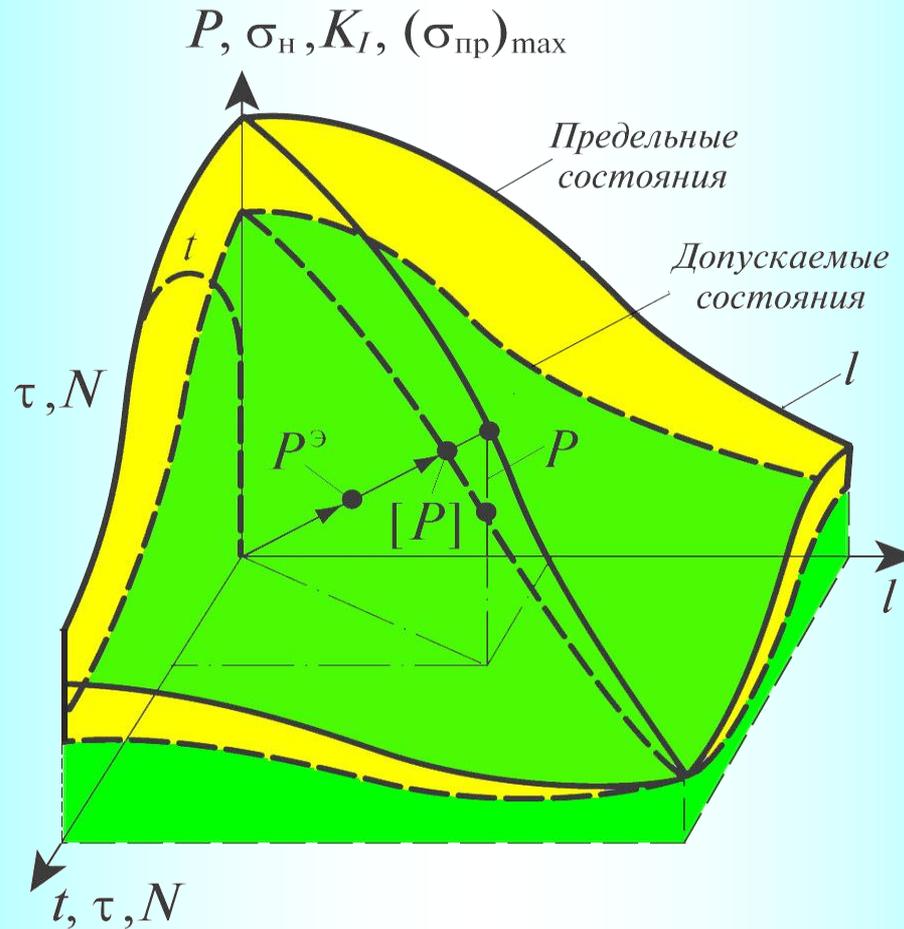
1930 1940 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020



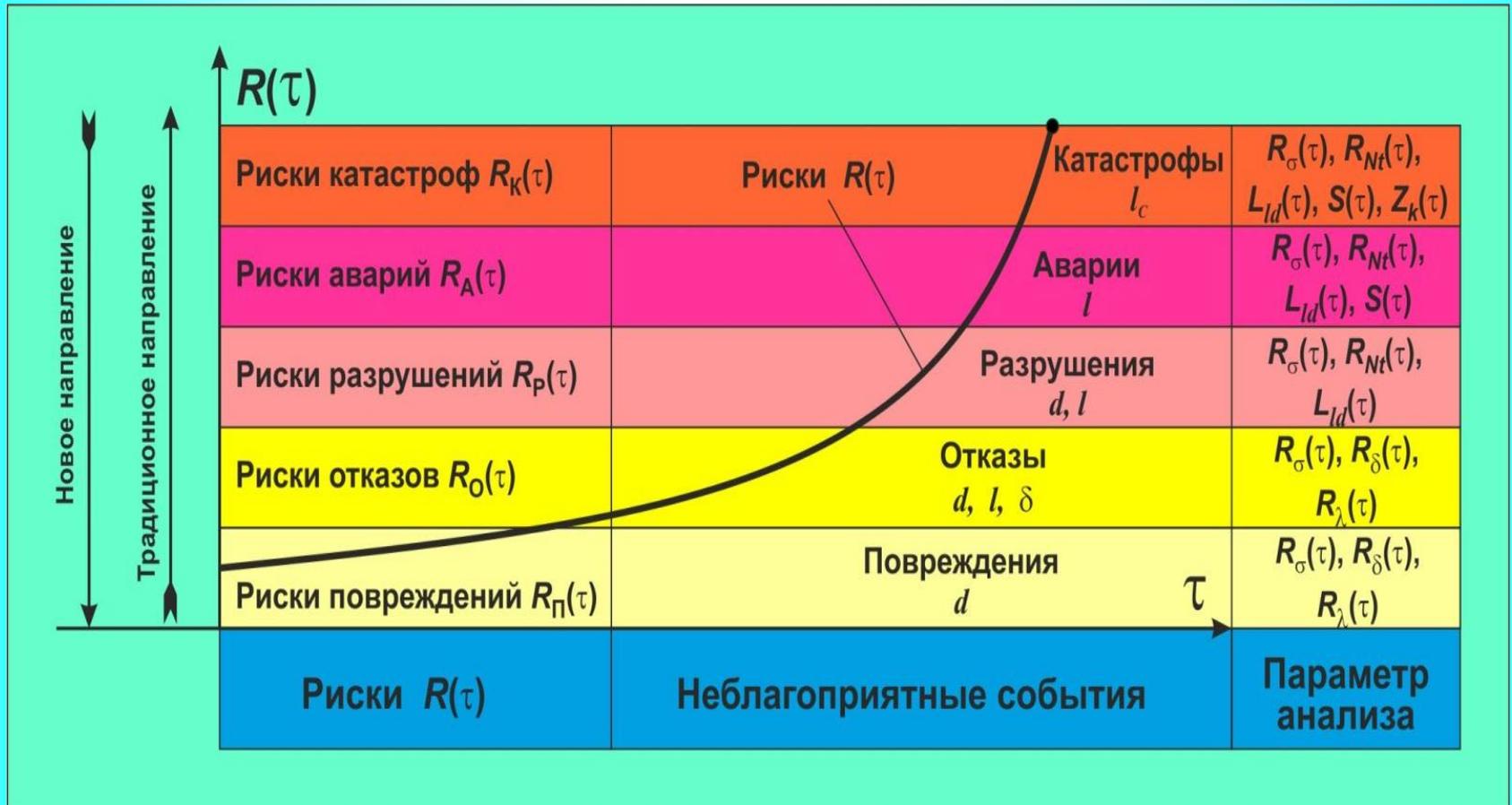
# ОБОБЩЕННАЯ ДИАГРАММА ОПАСНЫХ И ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ



# СХЕМА ПРЕДЕЛЬНЫХ И ДОПУСКАЕМЫХ СОСТОЯНИЙ ПРИ ОЦЕНКАХ ПРОЧНОСТИ И РЕСУРСА



# СТРУКТУРА АНАЛИЗА ОПАСНЫХ СОСТОЯНИЙ И РИСКОВ

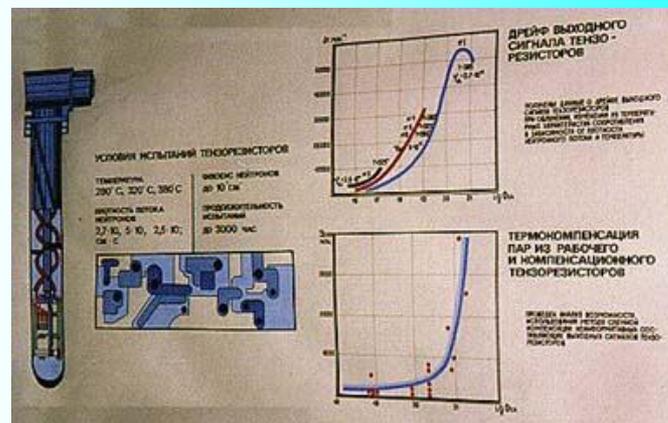
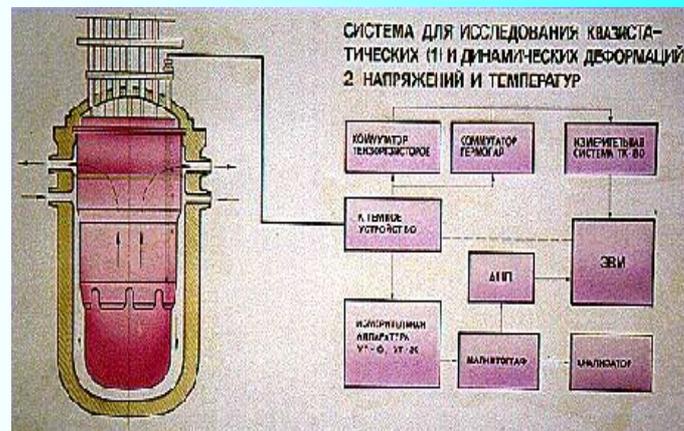
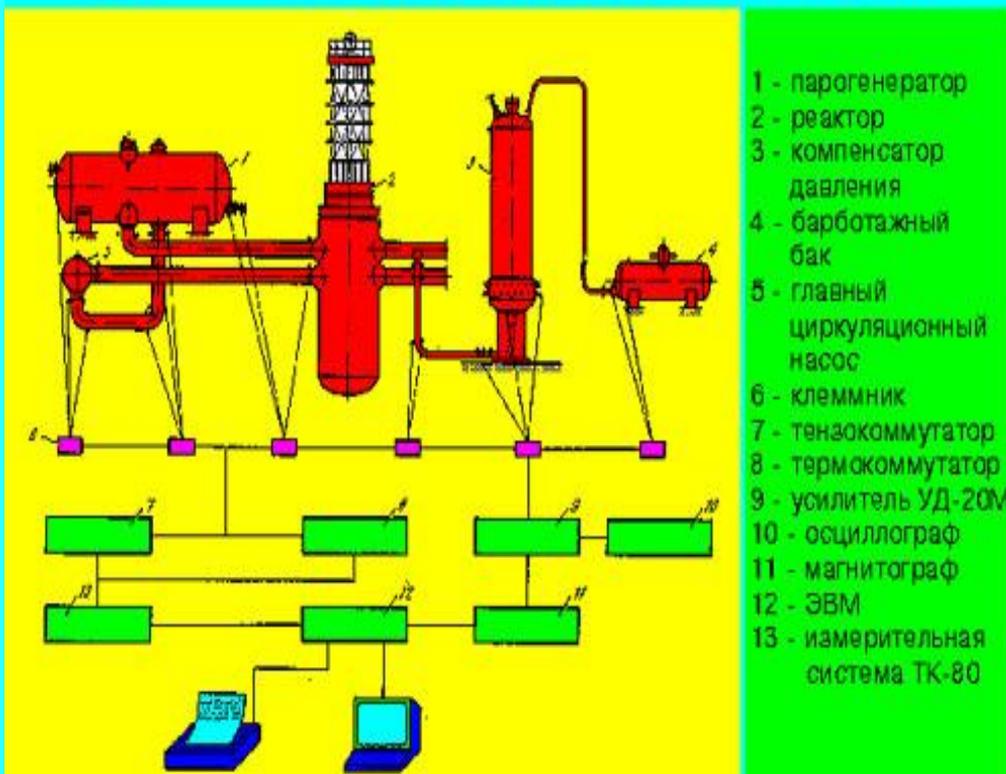


# ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

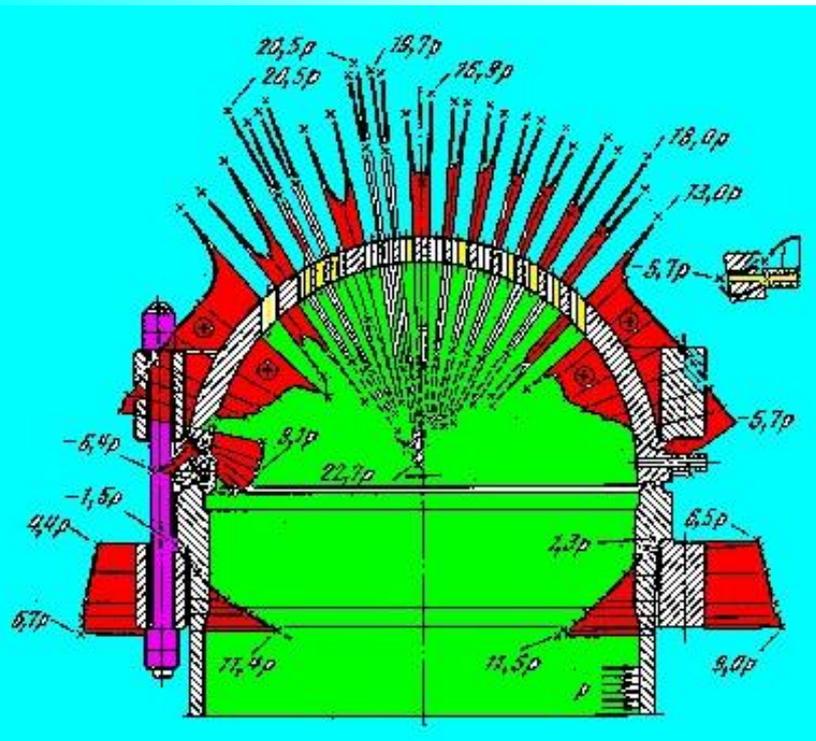
МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ РЕСУРСА									
Параметр Методы	Напряжения			Температура			Дефекты		
	Величина $\sigma_a$	Циклы $N$	Время $\tau$	Величина $t$	Цикл. $\tau_{II}$	Время $\tau$	Размер $l$	Форма $a/l$	Место $S$
УЗД	- +	-	-	-	-	-	+ +	- +	- +
МПД	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Виз. контр.	-	-	-	-	-	-	+ -	-	-
Рентген	- +	-	-	-	-	-	- +	- +	- +
Виброметрия	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акуст. контр.	+ -	-	-	-	-	-	+ -	-	+ -
Акуст. эмис.	+ +	-	-	-	-	-	+ +	+ -	+ +
Голография	+ -	+ +	+ -	+ -	-	-		- +	+ -
Термовидение	+ -	+ -	+ +	+ +	+ +	+ +	+ -	-	+ -
Томография	-	-	-	-	-	-	+ +	+ +	+ +
Натурн. тенз.	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ +	+ -	+ -	+ -
РАСЧЕТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ									
$N_p = f(\sigma_a, t, \tau, l, \Phi)$ - натурная тензометрия									
$T = f(\sigma_a, N, \tau, l)$ - термовидение									
$AЭ = f(\sigma_a, e_p, K_{le}, l)$ - акустическая эмиссия									
$G = f(\sigma_a, t, N, \tau)$ - голография									

# НАТУРНАЯ ТЕНЗОМЕТРИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

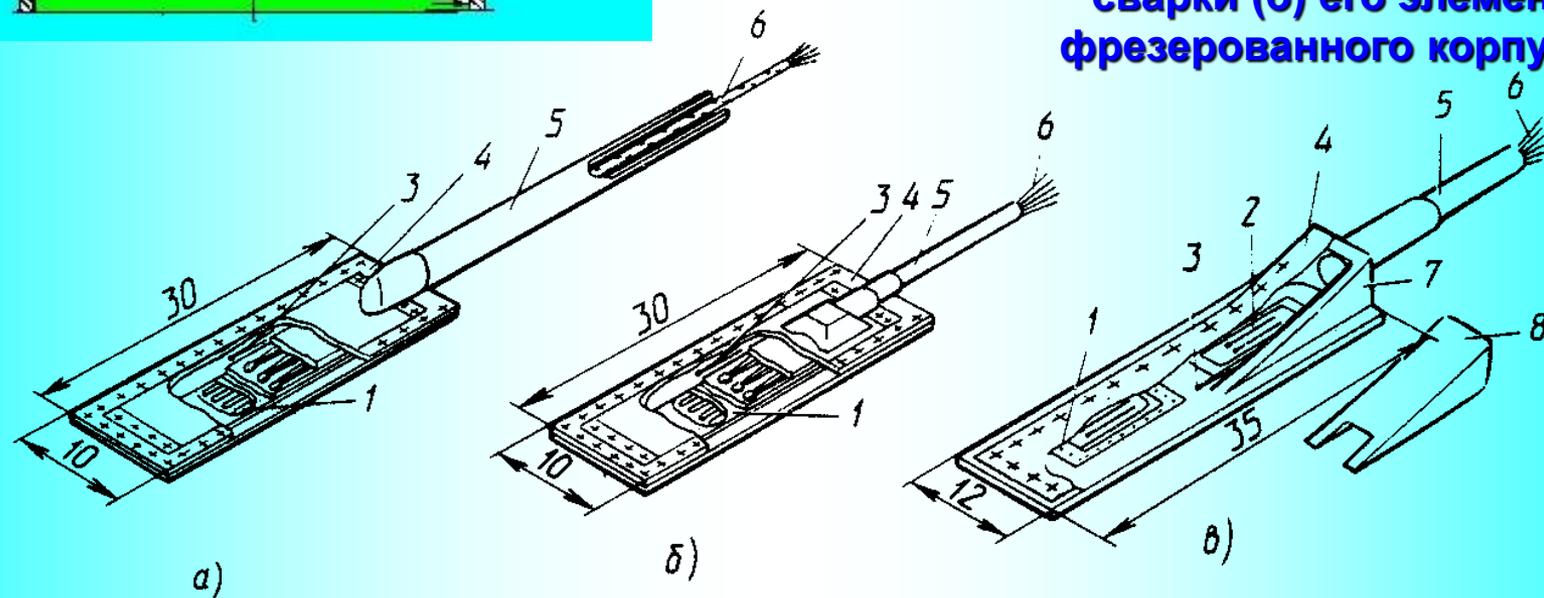
## НАТУРНАЯ ТЕНЗО-ТЕРМО-ВИБРОМЕТРИЯ 1-го КОНТУРА РЕАКТОРА ВВЭР-1000



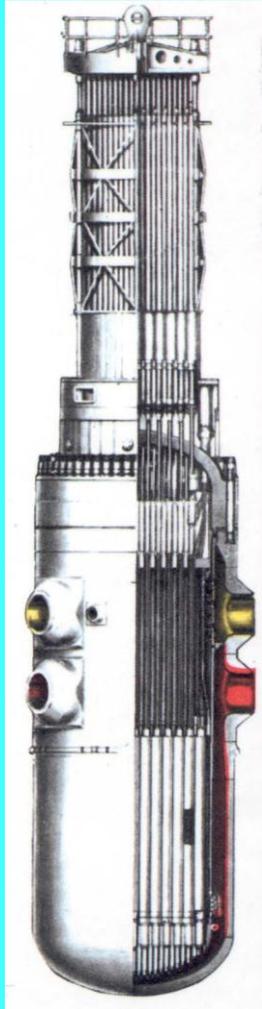
# ДИАГНОСТИКА НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОРПУСА РЕАКТОРА



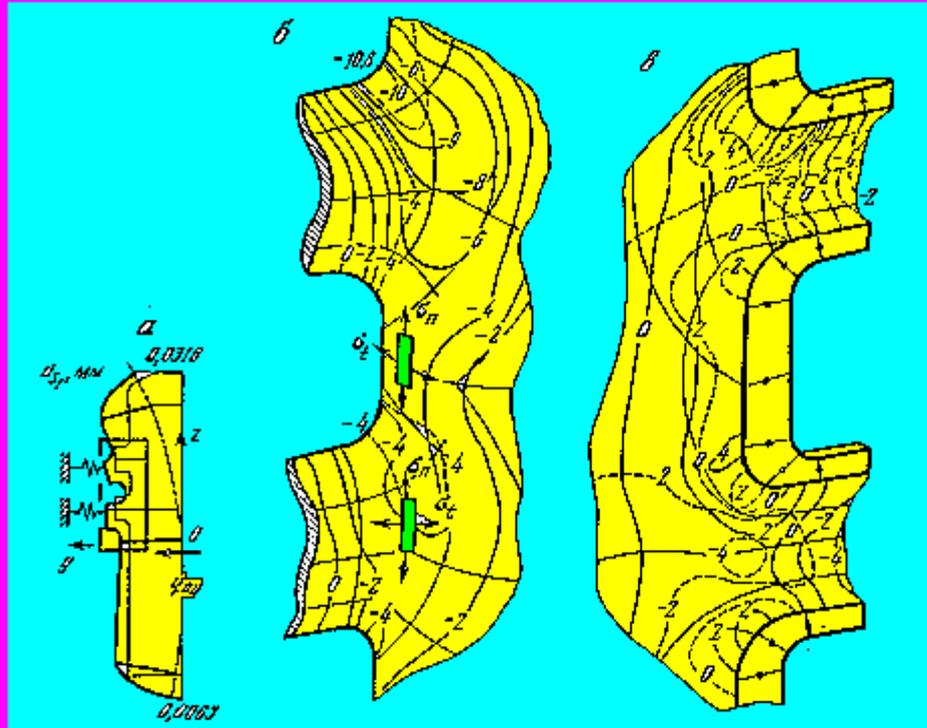
Гермотензодатчики с тензорезистором  
и термопарой на основе пайки (а) и  
сварки (б) его элементов и  
фрезерованного корпуса (в)



# ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННЫХ СОСТОЯНИЙ РЕАКТОРА ВВЭР-440 МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



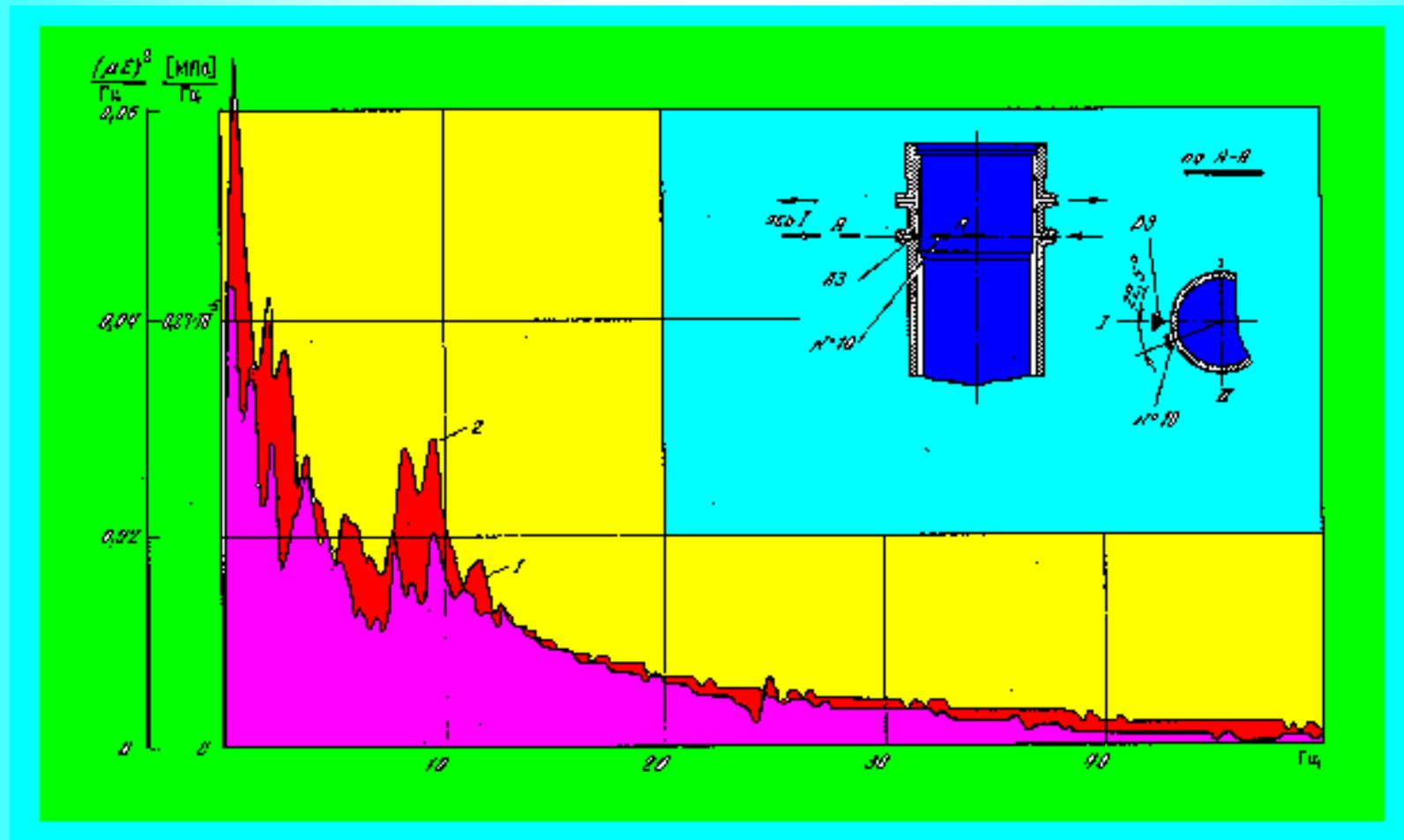
## ПОЛЯ СЕЙСМОНАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ ПАТРУБКОВ РЕАКТОРА



Коэффициент  
динамичности  
 $K_d = 1.1 - 2.8$

Накопленные  
повреждения  
 $a < 0.1$

# СПЕКТРОГРАММЫ ВИБРАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ВКУ ВВЭР



# ТИПЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И УРОВНИ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ

№	Аварийные ситуации	Защищенность	Риски
1.	Нормальные условия эксплуатации	Повышенная	Управляемые
2.	Отклонения от нормальных условий (режимные ЧС)	Достаточная	Регулируемые
3.	Проектные аварии	Частичная	Анализируемые
4.	Запроектные аварии	Недостаточная	Повышенные
5.	Гипотетические аварии	Низкая	Высокие

# ВЕРОЯТНОСТИ И УЩЕРБЫ ВОЗМОЖНЫХ КРУПНЫХ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ

№	Типы объектов		Вероятности, 1/год			Ущерб, долл.
			Расчетные		Реальные	
			Проектные	Запроектные		
1	Реакторы	Активная зона	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$10^{10}$
		Первый контур	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^9$
2	Ракетно-космические системы		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$10^9$
3	Турбоагрегаты		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$10^8$
4	Летательные аппараты		$10^{-3}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$10^7$
5	Трубопроводы (1000 км)		$10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$10^6$

# ГРУППЫ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

Группа	Вид предельного состояния	Степень опасности	Объекты угроз
ПС-7	Повреждение активной зоны. Разрушение корпуса реактора с выходом радиоактивности в окружающую среду	Предельно высокая	Население, АЭС, природная среда
ПС-6	Разрушение основных компонентов первого и второго контуров с выходом радиоактивности в окружающую среду	Чрезмерно высокая	Население, АЭС, природная среда
ПС-5	Большие течи в первом контуре с выходом радиоактивности за пределы АЭС	Очень высокая	Население, АЭС, природная среда
ПС-4	Повреждения и течи в первом и втором контурах с возможным выходом радиоактивности за пределы АЭС	Высокая	Население, АЭС, природная среда
ПС-3	Повреждение и течи в первом и втором контурах с выходом радиоактивности внутри АЭС	Повышенная	Операторы, персонал, компоненты АЭС
ПС-2	Частичные повреждения без выхода радиоактивности за пределы первого контура, требующие ремонта	Невысокая	Поврежденное оборудование
ПС-1	Частичные повреждения без выхода радиоактивности, не требующие ремонта	Низкая	Поврежденное оборудование

# ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ РИСКОВ $R(t)$

$$R_i(t) = F\{P_i(t), U_i(t)\} \leq [R_i(t)]$$

$$R_i(t) \leq [R_i(t)] = F_R\{P_i(t), U_R(t)\} = \frac{1}{n_R} R_C(t) = \frac{1}{n_R} F_C\{P_C, U_C\} = F_Z\{m_Z Z(t)\}$$

$$P_i(t) = F_P\{P_N(t), P_T(t), P_S(t)\}, \quad - \text{ Вероятности ЧС}$$

$$U_i(t) = F_U\{U_N(t), U_T(t), U_S(t)\}, \quad - \text{ Ущерб от ЧС}$$

$$R_i(t) = F_R\{R_N(t), R_T(t), R_S(t)\}, \quad - \text{ Риски ЧС}$$

**N** – человеческий фактор

**T** – техногенный фактор

**S** – природный фактор

$R(t)$  – фактический расчетный риск

$R_C(t)$  – критический (неприемлемый) риск

$[R(t)]$  – приемлемый риск

$Z(t)$  – затраты на снижение риска

# ОБЛАСТИ ОПАСНЫХ И БЕЗОПАСНЫХ СОСТОЯНИЙ И РИСКОВ



**Опасные  
состояния**

**Случайные  
процессы  
для рисков**

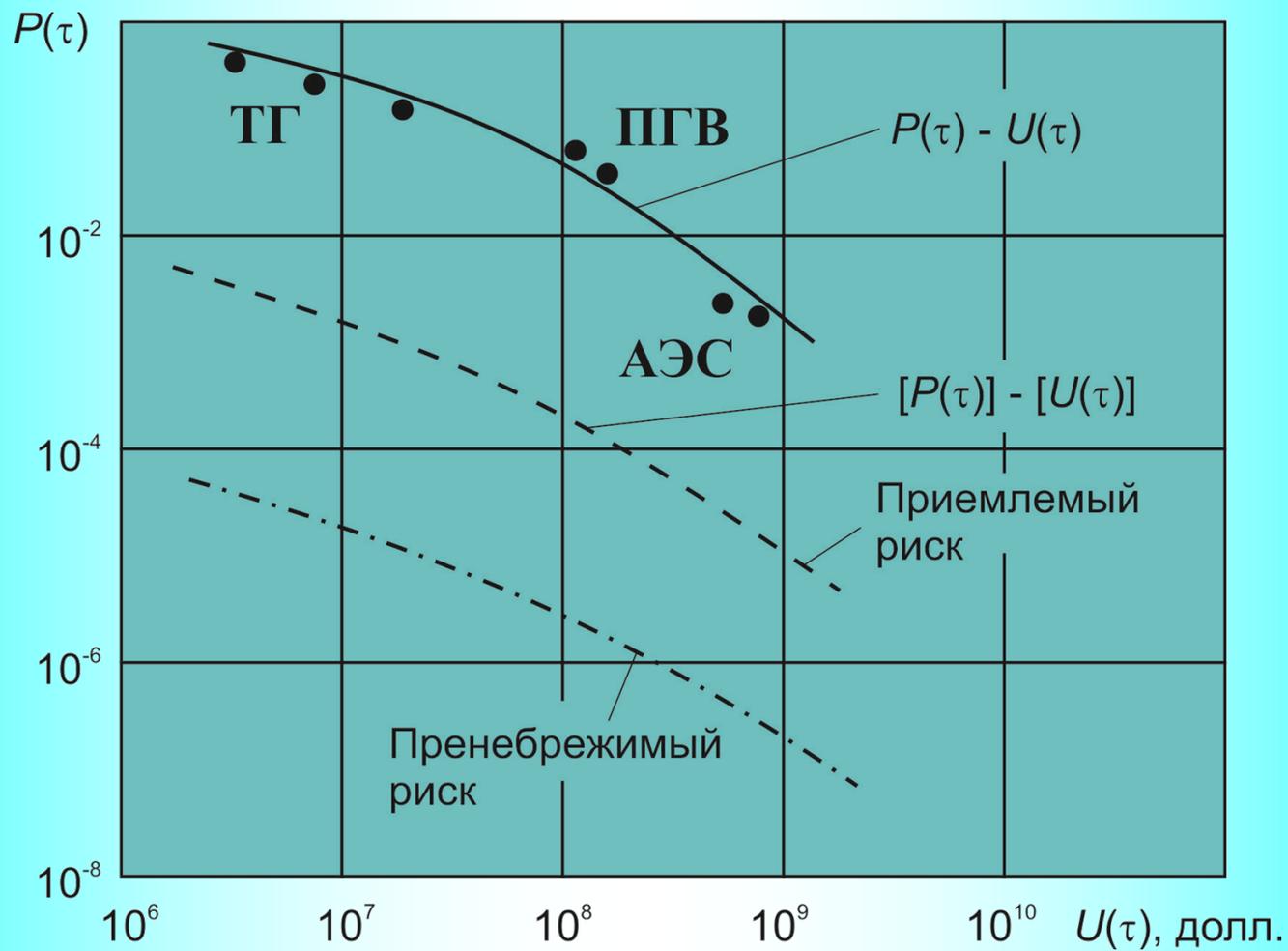
$R_S(R_N, R_T, R_O)$

$E$  – энергия

$W$  – вещество

$I$  – информация

# ПОКАЗАТЕЛИ РИСКОВ ДЛЯ АЭС С ВВЭР



# МНОГОТОМНАЯ СЕРИЯ «ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ» Учебные пособия



Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОККТД) представляет серию книг "ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ":



1. Махутов Н.А., Гаденин М.М.  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА И БЕЗОПАСНОСТИ**
2. Туробов Б.В.  
**ВИЗУАЛЬНЫЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ**
3. Артемьев Б.В., Буклей А.А.  
**РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ**
4. Алешин Н.П., Бобров В.Т., Ланге Ю.В., Щербинский В.Г.  
**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ**
5. Федосенко Ю.К., Шкатов П.Н., Ефимов А.Г.  
**ВИХРЕТОКОВЫЙ КОНТРОЛЬ**
6. Бакунов А.С., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е.  
**МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ**
7. Шелихов Г.С., Глазков Ю.А.  
**МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ**
8. Буладин О.Н., Вавилов В.П., Абрамова Е.В.  
**ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ**
9. Зусман Г.В., Барков А.В.  
**ВИБРОДИАГНОСТИКА**
10. Потапов А.И.  
**ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ**
11. Матвеев В.И.  
**РАДИОВОЛНОВОЙ КОНТРОЛЬ**
12. Иванов В.И., Бигус Г.А., Власов И.Э.  
**АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ**
13. Глазков Ю.А.  
**КАПИЛЛЯРНЫЙ КОНТРОЛЬ**
14. Сажин С.Г., Евлампиев А.И., Сумкин П.С.  
**ТЕЧЕИСКАНИЕ**
15. Клюев С.В., Коновалов Н.Н., Кольцов С.Г., Соловьева М.О.  
**АТТЕСТАЦИЯ ПЕРСОНАЛА В ОБЛАСТИ НК Муравская Н.П.  
МЕТРОЛОГИЯ В НК**

Учебные пособия рекомендуются для подготовки к аттестации специалистов 1, 2 и 3 уровней НК по международной и европейской системам аттестации, а также в качестве базового материала для дистанционного обучения специалистов по НК.

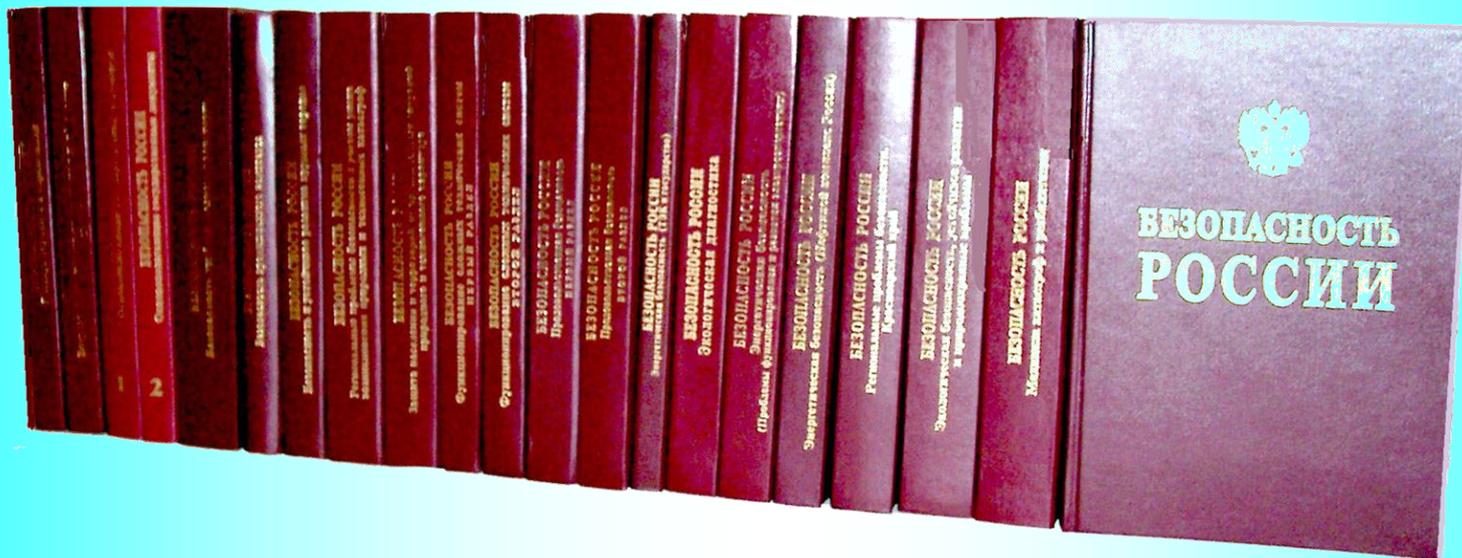
# Серия монографических публикаций «ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ПРОЧНОСТИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ»



**Издательство  
«НАУКА»  
1987 – 2009 гг.**

# МНОГОТОМНЫЕ СЕРИИ ИЗДАНИЙ

«БЕЗОПАСНОСТЬ РОССИИ» - 44 тома



«ПРИРОДНЫЕ ОПАСНОСТИ РОССИИ» – 6 томов

«ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО СНГ ПО ПРОБЛЕМАМ ЧС» - 4 тома

Энциклопедические издания – 6 томов

Федеральные руководящие документы – 4 тома

Научно-технические документы – 28 томов

Видеотека чрезвычайных ситуаций – 4300 сюжетов