

Конференция  
Управление технологическими рисками в ТЭК  
13-14 октября 2010 г., Москва

*Управление технологическими рисками  
как инструмент реализации закона «О  
техническом регулировании».  
Риск-монитор: оценка рисков в  
атомной энергетике*

Р.Т.Исламов

Международный центр по ядерной безопасности  
(МЦЯБ)

# Федеральный закон «О техническом регулировании»

- Принят Государственной Думой 15 декабря 2002 года  
Одобен Советом Федерации 18 декабря 2002 года
- (в ред. Федеральных законов от 09.05.2005 № 45-ФЗ, от 01.05.2007 № 65-ФЗ, от 01.12.2007 № 309-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ)

# Федеральный закон «О техническом регулировании»

## Статья 7. Содержание и применение технических регламентов

1. Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую безопасность;
- взрывобезопасность;
- механическую безопасность;
- пожарную безопасность;
- промышленную безопасность;
- термическую безопасность;
- химическую безопасность;
- электрическую безопасность;
- ядерную и радиационную безопасность;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- единство измерений;
- другие виды безопасности в целях, соответствующих пункту 1 статьи 6 настоящего Федерального закона.

(абзац введен Федеральным законом от 01.05.2007 № 65-ФЗ)

# Федеральный закон «О техническом регулировании»

## Статья 7. Содержание и применение технических регламентов

**8. Международные стандарты должны использоваться полностью или частично в качестве основы для разработки проектов технических регламентов, за исключением случаев, если такое использование признано невозможным вследствие климатических и географических особенностей Российской Федерации, технических и (или) технологических особенностей или по иным основаниям либо если Российская Федерация в соответствии с установленными процедурами выступала против принятия международных стандартов или отдельных их положений.**

# Современные международные рекомендации в области безопасности

## МАГАТЭ

- Вероятностный анализ безопасности с учетом неопределенностей
  - **PSA Quality for Applications**  
Качество вероятностного анализа безопасности  
(технический документ)
- Безопасность компьютерных систем
  - **Guidance on Security of Computer System in Nuclear Facilities**  
Руководство по безопасности компьютерных систем на ядерных объектах  
(отчет)
- Защита против терроризма
  - **Guidance for Identification of Vital Areas at Nuclear Facilities for Physical Protection Against Sabotage**  
Руководство по анализу жизненно важных зон физической защиты ядерных объектов против терроризма  
(закрытый документ)
  - **Analytical Statistical Simulation Methodology**  
Методология аналитико-статистического моделирования  
(отчет)

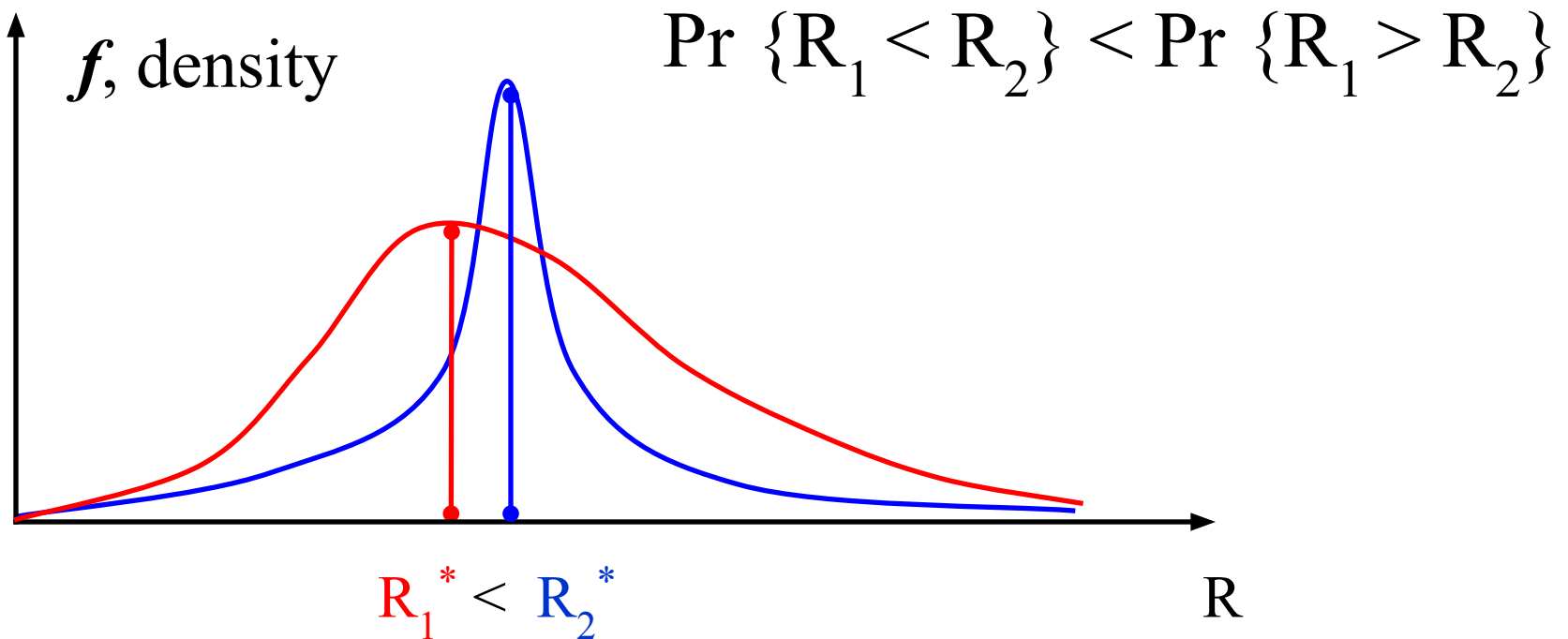
# Современные международные рекомендации в области безопасности

Комиссия ядерного регулирования США

Министерство энергетики США, ЕС

- Development of Standard PRA Procedure Guides  
US DOE
- PRA Uncertainty Method  
US NRC
- Quality Assurance and Peer Review of NovoNPP In-Depth Safety Assessment  
US DOE
- Safety and Environmental Impact of the Storage Facility of VVER1000 Fuel  
(TASIC Program European Commission Contract)  
SGN(FRA), BNFL(UK), NUKEM(GER), BELGATOM(BEL)
- Quality Assurance and Peer Review of KolaNPP In-Depth Safety Assessment  
US DOE
- WWER 440, 1000 Red Book  
US DOE
- Prioritization of Proposed RBMK Safety Upgrades Kursk NPP  
US DOE

# Процесс принятия решений Risk Informed Decision Making Process Including Uncertainties



Общие положения обеспечения безопасности атомных станций  
(ОПБ 88/97)

## Цели ВАБ (1/4)

- 1) количественная оценка текущего уровня безопасности действующих АС или количественная оценка достигнутого в проекте уровня безопасности вновь проектируемых АС
- 2) количественная оценка и обоснование эффективности отдельных мероприятий по модернизации и повышению безопасности, включенных в программу модернизации действующих АС, и определение приоритетов их осуществления



Общие положения обеспечения безопасности атомных станций  
(ОПБ 88/97)

## Цели ВАБ (2/4)

- 3) разработка рекомендаций по оптимизации технологических регламентов эксплуатации, регламентов технического обслуживания, испытаний и ремонтов оборудования АС для действующих АС и иной эксплуатационной документации (включая аварийные инструкции, программы подготовки персонала)
- 4) обоснование технологических регламентов эксплуатации и иной эксплуатационной документации

Общие положения обеспечения безопасности атомных станций  
(ОПБ 88/97)

## Цели ВАБ (3/4)

- 5) разработка перечней запроектных аварий (ЗПА) и сценариев для проведения расчетных анализов процессов при ЗПА и разработка рекомендаций для руководств по управлению ЗПА
- 6) разработка средств оперативного контроля текущего уровня безопасности

Общие положения обеспечения безопасности атомных станций  
(ОПБ 88/97)

Цели ВАБ (4/4)

7) оценка эффективности и разработка рекомендаций по противоаварийному планированию

8) оценка влияния на безопасность имевшихся в работе АС нарушений

# Методы и модели ВАБ

- Аналитические методы
  - Алгебрологические
    - Дерево отказов (надежность оборудования и систем)
    - Дерево событий (аварийные сценарии)
  - Стохастические процессы
    - Марковские графы
- Статистическое моделирование
  - Монте-Карло
- Аналитико-статистические методы
  - Аналитико-статистическое моделирование

# Методы анализа неопределенности (1/2)

- *The analytical approach*
- *Fourier Amplitude Sensitivity Test*
- *The Extreme Condition Approach for Uncertainty Propagation*
- *The Statistical Approach for Uncertainty Propagation*
- *Regression Analysis*
- *The SUAM and CSSUAM methods*
- *Uncertainty Calculation System & Method (UCSM)*
- *Law of propagation of error*
- *GRS-method to quantify uncertainties*
- *Response Surface Method (RSM)*

# Методы анализа неопределенности (2/2)

- *Simple random sampling (SRS)*
- *Latin hypercube sampling*
- *Sample size justification*
- *First-order second-moment analysis*
- *Probabilistic uncertainty of input parameters*
- *Analytical-statistical simulation approach (ASSA)*
- *Fuzzy sets*
- *Bayesian Model*

# Классы методов анализа неопределенности

(Uncertainty Analysis, IAEA TECDOC, Vienna, 2005)

## ■ Вероятностный

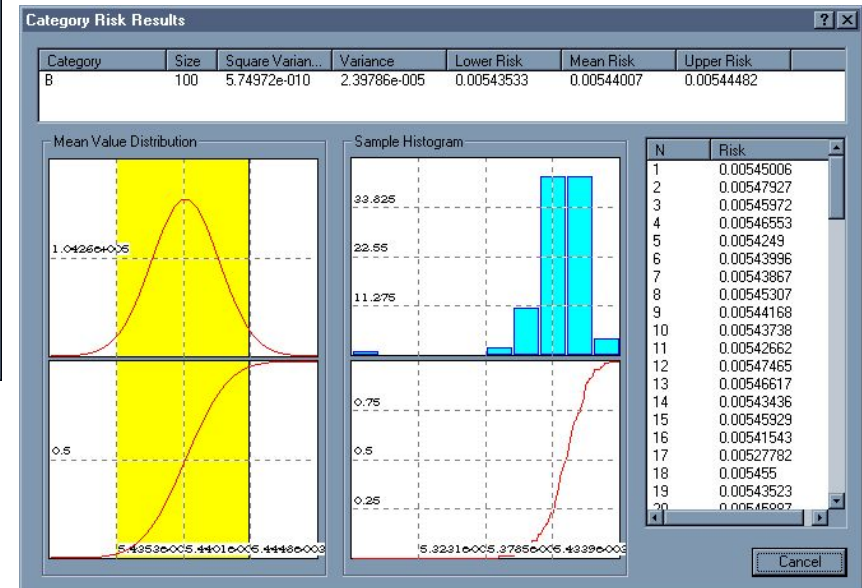
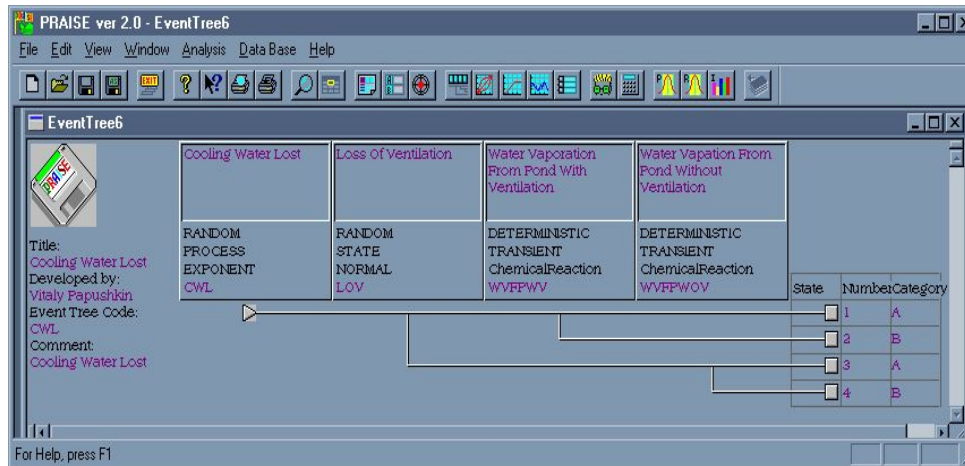
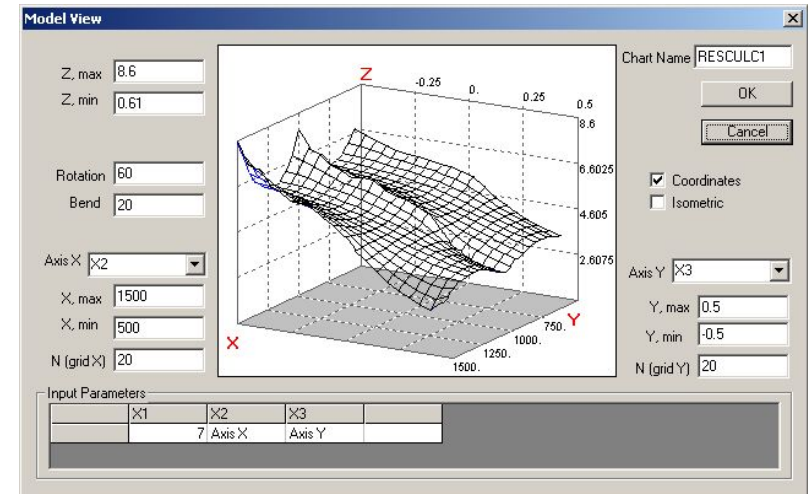
- Неопределенность параметров модели (RW, RA, I, B, F-V, N)
- Неопределенность модели (F-distribution, Hi-Square)

## ■ Детерминистический

- Неопределенность параметров модели (etc)
- Неопределенность модели (ASSA, SAR)

# Вероятностный анализ безопасности с учетом неопределенностей

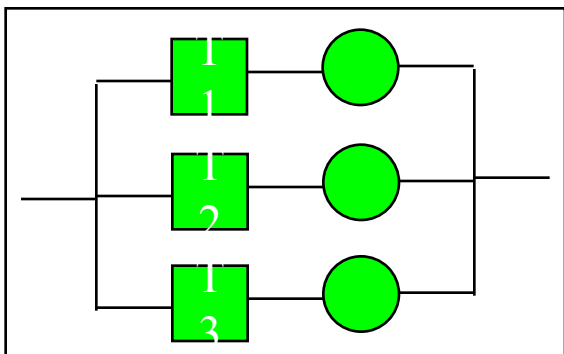
- RISK
- RiskMonitor
- PRAISE/Assa
- PRAISE/Matrix



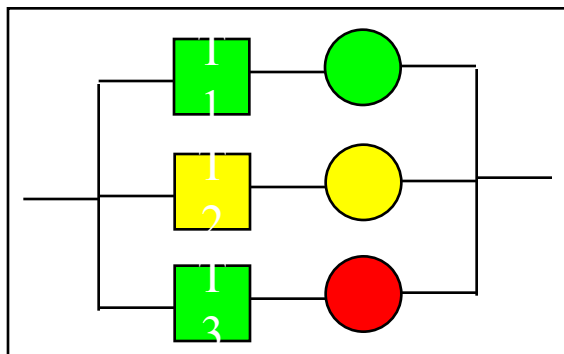


# ВАБ, Риск Монитор, VAI (антитерроризм)

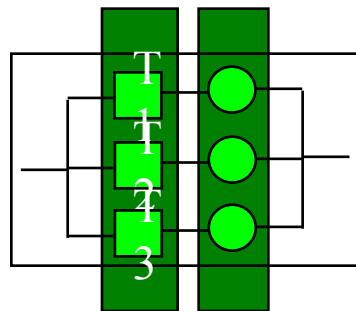
ВАБ  
(МОДЕЛЬ, КОД)



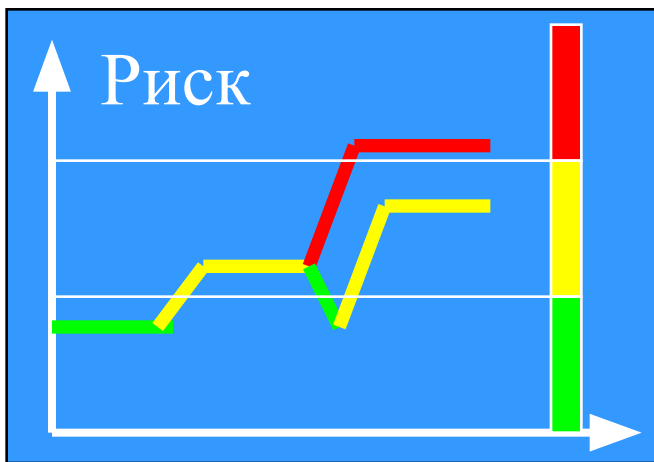
Риск Монитор  
(МОДЕЛЬ, КОД)



VAI АЭС  
(МОДЕЛЬ, КОД)



ОТЧЕТ ВАБ  
Расчет  
вероятности  
(оборудование)



ОТЧЕТ VAI  
Расчет  
вероятности  
(помещение)

# Расчетный код РИСК для проведения ВАБ

- Распоряжение Заместителя министра Б.И. Нигматулина *"Об организации работ по вероятностным анализам безопасности"* № 69-р от 28.02.2000 года
- Тема ДАЭ *"Научно-техническое обеспечение для проведения вероятностных анализов безопасности"*
- Аттестован НТЦ ЯРБ ГОСАТОМТЕХНАДЗОРА (РОСТЕХНАДЗОРА) 2003 году

# Требования для кода РИСК

- Должен выполнять стандартные расчеты:
  - модель дерева отказов
  - модель деревьев событий
  - модели отказов по общим причинам  
( минимальные сечения, вероятностные оценки, анализ значимости и неопределенности)
- Использование ресурсов ОС
- Гибкий интерфейс к базам данных
- Совместимость по формату исходных данных с ранее выполненными ВАБ RiskSpectrum (Швеция) (ЛАЭС, КАЭС, НВАЭС и др.)

# Особенности анализа безопасности АЭС

- Многоэлементность
- Ремонтпригодность
- Старение оборудования
- Переходные режимы
- Неопределенности
- Отказы по общим причинам

# Расчетный код РИСК

Графический интерфейс (Деревья событий и отказов)

The screenshot displays the Risk software interface with the following components:

- Project Data Base:**

ID	Description
ACP-1-	AC power system, bus 1
ACP-2-	AC power system, bus 2
CCW-1-	Component Cooling Water System train
CCW-2-	Component Cooling Water System train
DPS	Depressurization System
ECC	Emergency Core Cooling System
EFW	Emergency Feedwater System
- LARGE LOCA Table:**

No.	Freq.	Conseq.	Code
1		OK	LARGE LOCA
2	5.80234e-007	CD	LARGE LOCA-W
3	6.09836e-007	CD	LARGE LOCA-V
4	1.06058e-008	CD	LARGE LOCA-VW
- Event Tree Records:**

Description	DataGrid1
Event tree for fire in room EC001	
Event tree for fire in room RB001	
Event tree for fire in room RB002	
Event tree for Large LOCA	
Event tree for transients	
- ACP-1- Fault Tree Diagram:**
  - Top event: AC power bus 1 fails (ACP-1-00)
  - Intermediate events: Diesel generator 1 unavailable (ACP-1-10), Loss of offsite power (OFFSITE-POWER)
  - Basic events: Diesel generator fails to start (ACP-DG01-A), Diesel generator 1 unavailable due to maintenance (DG-01-MAINT)
- Fault Tree List:**

ID	Description
ACP-1-	AC power system, bus 1
ACP-2-	AC power system, bus 2
CCW-1-	Component Cooling Water System train
CCW-2-	Component Cooling Water System train
DPS	Depressurization System
ECC	Emergency Core Cooling System
EFW	Emergency Feedwater System

# Расчетный код РИСК

Модели надежности оборудования АЭС

- Модель контролируемого восстанавливаемого элемента
- Модель периодически проверяемого элемента
- Модель фиксированной вероятности отказа
- Модель ограниченного времени выполнения функции
- Модель фиксированной частоты
- Модель неремонтируемого элемента

# Расчетный код РИСК

## Параметры моделей надежности

Обозначение	Определение
<b>Q</b>	Вероятность, коэффициент неготовности
$\lambda$	Интенсивность отказов
<b>F</b>	Частота
$\mu$	Интенсивность восстановлений
<b>TR</b>	Средняя длительность ремонтов ( $TR = 1/\mu$ )
<b>TI</b>	Периодичность испытаний
<b>TF</b>	Время до первого испытания
<b>TM</b>	Длительность выполнения функции
<b>N</b>	Порядковый номер (например, испытания)
<b>W</b>	Параметр потока отказов

Модель контролируемого восстанавливаемого элемента

$$Q(t) = q e^{-\mu t} + \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) (1 - e^{-(\lambda + \mu)t})$$
$$Q_{mean} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

Модель фиксированной частоты

$$W(t) = f$$

Модель неремонтируемого элемента

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda t}$$



## Модель периодически проверяемого элемента

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad \text{для } t < TF$$

$$Q(t) = Q(TI) = 1 - e^{-\lambda TI} \quad \text{для } t = TF + nTI$$

$$Q(t) = Q(TI) + (1 - Q(TI))(1 - e^{-\lambda(t-TI)}) \quad \text{для } TI < t < TI + TR$$

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda(t-TI)} \quad \text{для } TI + TR < t < 2TI$$

$$Q_{mean} = 1 - \frac{1}{\lambda TI} (1 - e^{-\lambda TI}) + (1 - e^{-\lambda TI}) \times \frac{TR}{TI}$$

## Модель фиксированной вероятности отказа

$$Q(t) = q$$

$$Q_{mean} = q$$

## Модель ограниченного времени выполнения функции

$$Q(t) = q + 1 - e^{-\lambda t M} \quad (= \text{constant})$$

$$Q_{mean} = q + 1 - e^{-\lambda T M} \quad (= \text{constant})$$

# Расчетный код РИСК

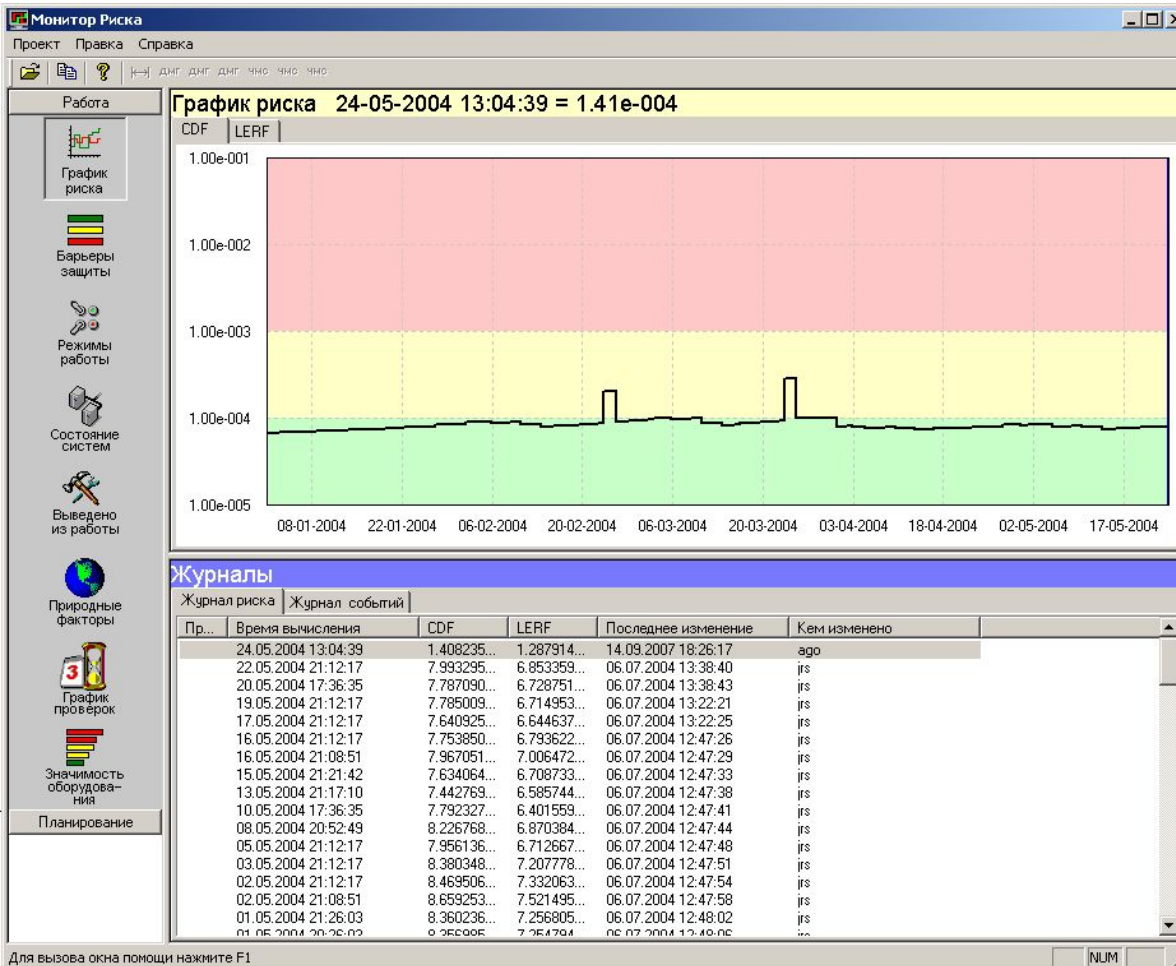
Функции распределения для анализа неопределенности

- *Логнормальное*
- *Гамма*
- *Бета*
- *Нормальное*
- *Равномерное*
- *Логарифмически равномерное*
- *Дискретное*

# Монитор Риска

- Sapphire (США)  
КаАЭС, ВВЭР (*off-line*)
- RiskWatcher (Riskspectrum, Швеция)  
ЛАЭС, РБМК (*off-line*)
- Риск Монитор (МЦЯБ)  
СмАЭС , РБМК (*off-line*)  
КурАЭС , РБМК (*off-line*)  
ЛАЭС, ВВЭР (*АСУ ТП, on-line*)

# Монитор Риска/График Риска (процедура принятия решения)



# Монитор Риска/Барьеры Защиты (оценка эффективности)

The screenshot displays the 'Монитор Риска' (Risk Monitor) software interface. The main window is titled 'Монитор Риска' and contains several panels:

- Состав систем (System Composition):** Lists various systems such as 'Система аварийной подачи питательной воды' (Emergency feedwater system), 'БРУ-Д', 'БРУ-К', 'Система аварийного охлаждения реактора' (Emergency reactor cooling system), 'Система чистого конденсата' (Pure condensate system), 'Система надежного электроснабжения' (Reliable power supply system), 'Система подачи питательной воды' (Feedwater supply system), 'Система технического водоснабжения' (Technical water supply system), and 'Система защиты КМПЦ от превышения давления' (KMPZ protection system against overpressure).
- Выведено из работы (Out of Service):** A table listing systems that are currently out of service.
- Журналы (Logs):** A table showing risk logs with columns for 'Пр...' (Project), 'Время вычисления' (Calculation time), 'CDF', and 'Последнее из...' (Last...).
- Журнал риска (Risk Log):** A detailed table of risk events with columns for 'Пр...', 'Время вычисления', 'CDF', 'LERF', 'Последнее изменение' (Last change), and 'Кем изменено' (Changed by).

The 'Журнал риска' table contains the following data:

Пр...	Время вычисления	CDF	LERF	Последнее изменение	Кем изменено
24.05.2004	13:04:39	1.408235...	1.287914...	14.09.2007 18:26:17	ago
22.05.2004	21:12:17	7.993295...	6.853359...	06.07.2004 13:38:40	js
20.05.2004	17:36:35	7.787090...	6.728751...	06.07.2004 13:38:43	js
19.05.2004	21:12:17	7.785009...	6.714953...	06.07.2004 13:22:21	js
17.05.2004	21:12:17	7.640925...	6.644637...	06.07.2004 13:22:25	js
16.05.2004	21:12:17	7.753850...	6.793622...	06.07.2004 12:47:26	js
16.05.2004	21:08:51	7.967051...	7.006472...	06.07.2004 12:47:29	js
15.05.2004	21:21:42	7.634064...	6.708733...	06.07.2004 12:47:33	js
13.05.2004	21:17:10	7.442769...	6.585744...	06.07.2004 12:47:38	js
10.05.2004	17:36:35	7.792327...	6.401559...	06.07.2004 12:47:41	js
09.05.2004	20:52:49	8.226768...	6.870384...	06.07.2004 12:47:44	js
05.05.2004	21:12:17	7.956136...	6.712667...	06.07.2004 12:47:48	js
03.05.2004	21:12:17	8.380348...	7.207778...	06.07.2004 12:47:51	js
02.05.2004	21:12:17	8.469506...	7.332063...	06.07.2004 12:47:54	js
02.05.2004	21:08:51	8.659253...	7.521495...	06.07.2004 12:47:58	js
01.05.2004	21:26:03	8.360236...	7.256805...	06.07.2004 12:48:02	js
01.05.2004	20:26:03	8.356985...	7.254794...	06.07.2004 12:48:06	js
30.04.2004	21:20:01	8.262923...	7.193038...	06.07.2004 12:48:10	js

At the bottom of the interface, there is a note: 'Для вызова окна помощи нажмите F1' (Press F1 to call the help window).

# Монитор Риска/Состояние системы (подключение к АСУ ТП)

Монитор Риска

Проект Правка Справка

Работа

График риска

Барьеры защиты

Режимы работы

Состояние систем

Выведено из работы

Природные факторы

График проверки

Значимость оборудования

Планирование

Системы и подсистемы

ID	Примечания	Описание
CCW	Component Cooling Water System	
MFW	Main Feed Water System	
SWS	Service Water System	

Состояние систем

	Примечания	Описание
CCW	\$_RW_SC_MX_CCW-P	Component Cooling Water System pu...
+	\$_RW_SC_CCW-2	Component Cooling Water System trai...
-	\$_RW_SC_CCW-1	Component Cooling Water System trai...

Журналы

Журнал риска | Журнал событий

Пр...	Время вычисления	CDF	LERF	Последнее изменение	Кем изменено
	01.02.2004 21:21:42	8.999070...	7.561008...	06.07.2004 12:51:37	irs
	01.02.2004 20:21:42	8.994569...	7.558499...	06.07.2004 12:51:42	irs
	27.01.2004 21:17:10	8.362719...	7.167524...	06.07.2004 12:51:45	irs
	22.01.2004 21:12:17	7.889970...	6.820908...	06.07.2004 12:51:49	irs
	20.01.2004 20:52:17	7.680939...	6.698647...	06.07.2004 12:51:53	irs
	19.01.2004 21:12:17	7.626382...	6.661078...	06.07.2004 12:51:56	irs
	17.01.2004 21:12:17	7.458123...	6.573067...	06.07.2004 12:51:59	irs
	16.01.2004 21:12:17	7.467838...	6.621427...	06.07.2004 12:52:02	irs
	16.01.2004 21:08:51	7.570259...	6.723464...	06.07.2004 12:52:06	irs
	15.01.2004 21:21:42	7.436045...	6.626914...	06.07.2004 12:52:10	irs
	13.01.2004 21:17:10	7.250322...	6.512846...	06.07.2004 12:52:13	irs
	10.01.2004 20:52:17	7.218175...	6.353153...	06.07.2004 12:52:16	irs
	08.01.2004 17:37:34	7.165313...	6.370308...	06.07.2004 12:52:19	irs
	05.01.2004 21:12:17	6.936354...	6.236015...	06.07.2004 12:52:22	irs
	03.01.2004 21:12:17	6.875279...	6.235835...	06.07.2004 12:52:25	irs
	02.01.2004 21:12:17	6.815646...	6.205659...	06.07.2004 12:52:28	irs
	01.01.2004 0:01:00	6.692304...	6.135321...	06.07.2004 12:52:31	irs
	01.01.2004 0:00:56	6.699419...	6.141723...	06.07.2004 12:52:33	irs
	01.01.2004 0:00:04	1.084707...	1.938612...	06.07.2004 12:52:35	irs

Для вызова окна помощи нажмите F1

NUM

# Монитор Риска/График Проверок (оптимизация обслуживания и ремонта)

Монитор Риска

Проект Правка Справка

Работа

График риска

Барьеры защиты

Режимы работы

Состояние систем

Выведено из работы

Природные факторы

График проверки

Значимость оборудования

Планирование

### График проверок

Пр...	ID	Описание	Selected time point (hours)	Now (hours)
ACP-1		Test of AC Power System train 1	507	42165
ACP-2		Test of AC Power System train 2	267	41925
ACP-3		Test of AC Power System train 3	1485	43143
CCW-1		Test of Component Cooling Water Sy...	359	42018
CCW-2		Test of Component Cooling Water Sy...	695	42354
ECC-1		Test of Emergency Core Cooling Syst...	552	42210
ECC-2		Test of Emergency Core Cooling Syst...	215	41874
EPW-1		Test of Emergency Feed Water Syste...	623	42282
EPW-2		Test of Emergency Feed Water Syste...	287	41946
RHR-1		Test of Residual Heat Removal Syste...	431	42090
RHR-2		Test of Residual Heat Removal Syste...	95	41754
SWS-1		Test of Service Water System train 1	335	41994
SWS-2		Test of Service Water System train 2	671	42330

### Журналы

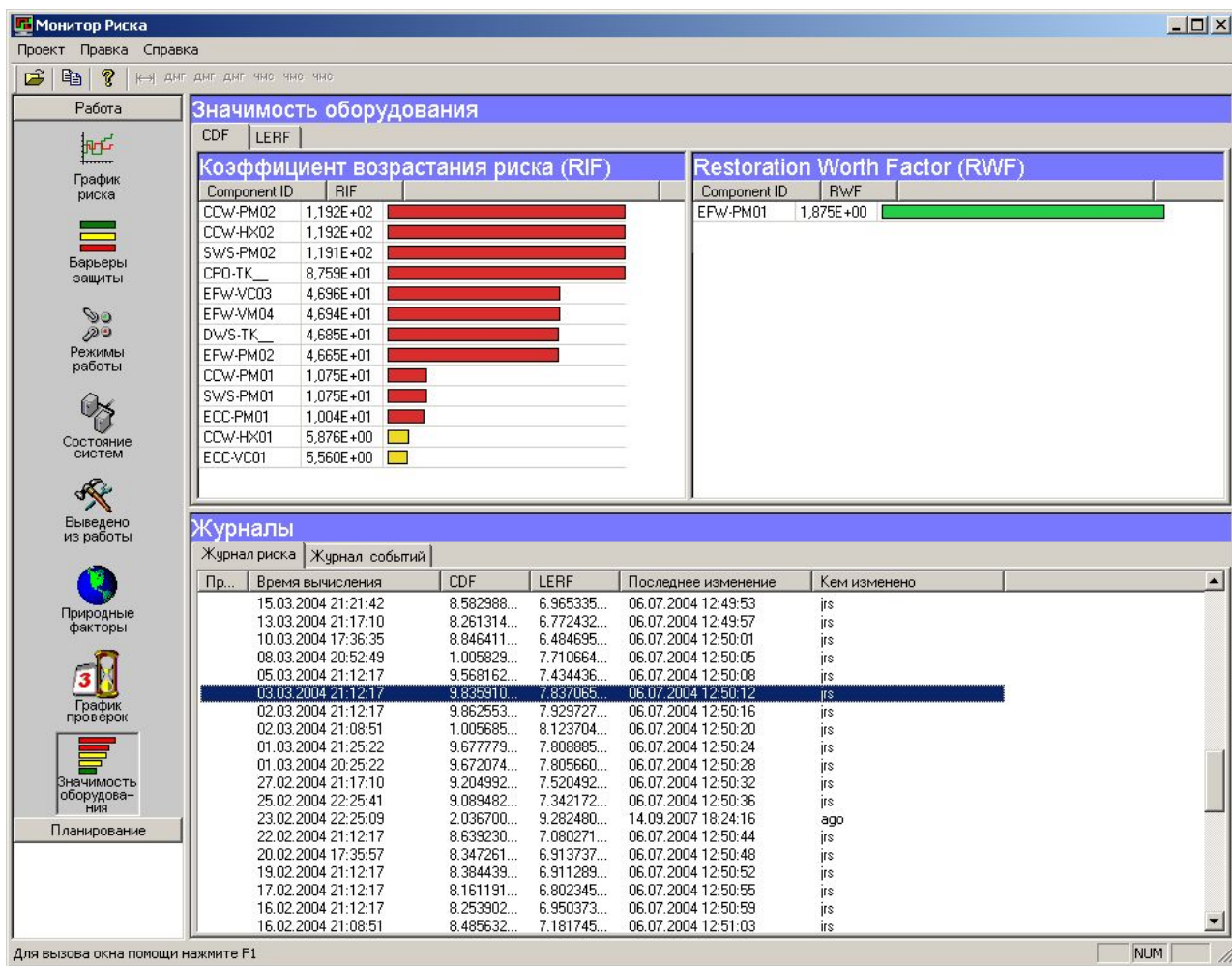
Журнал риска | Журнал событий

Пр...	Время вычисления	CDF	LERF	Последнее изменение	Кем изменено
	15.03.2004 21:21:42	8.582988...	6.965335...	06.07.2004 12:49:53	irs
	13.03.2004 21:17:10	8.261314...	6.772432...	06.07.2004 12:49:57	irs
	10.03.2004 17:36:35	8.846411...	6.484695...	06.07.2004 12:50:01	irs
	08.03.2004 20:52:49	1.005829...	7.710664...	06.07.2004 12:50:05	irs
	05.03.2004 21:12:17	9.568162...	7.434436...	06.07.2004 12:50:08	irs
	03.03.2004 21:12:17	9.835910...	7.837065...	06.07.2004 12:50:12	irs
	02.03.2004 21:12:17	9.862553...	7.929727...	06.07.2004 12:50:16	irs
	02.03.2004 21:08:51	1.005685...	8.123704...	06.07.2004 12:50:20	irs
	01.03.2004 21:25:22	9.677779...	7.808885...	06.07.2004 12:50:24	irs
	01.03.2004 20:25:22	9.672074...	7.805660...	06.07.2004 12:50:28	irs
	27.02.2004 21:17:10	9.204992...	7.520492...	06.07.2004 12:50:32	irs
	25.02.2004 22:25:41	9.089482...	7.342172...	06.07.2004 12:50:36	irs
	23.02.2004 22:25:09	2.036700...	9.282480...	14.09.2007 18:24:16	ago
	22.02.2004 21:12:17	8.639230...	7.080271...	06.07.2004 12:50:44	irs
	20.02.2004 17:35:57	8.347261...	6.913737...	06.07.2004 12:50:48	irs
	19.02.2004 21:12:17	8.384439...	6.911289...	06.07.2004 12:50:52	irs
	17.02.2004 21:12:17	8.161191...	6.802345...	06.07.2004 12:50:55	irs
	16.02.2004 21:12:17	8.253902...	6.950373...	06.07.2004 12:50:59	irs
	16.02.2004 21:08:51	8.485632...	7.181745...	06.07.2004 12:51:03	irs

Для вызова окна помощи нажмите F1



# Монитор Риска/Значимость Оборудования (требования к диагностике)



# Заключение

- Организационная структура подразделения ВАБ
  - Группа сбора данных и анализа надежности систем
  - Группа вероятностного анализа и обеспечения детерминистической поддержки ВАБ
  - Группа мониторинга и анализа риска
- Разработка процедур и Руководств по анализу безопасности объектов
- Проведение работ по ВАБ объектов
- Разработка(адаптация) и аттестация программ
- Разработка Риск-монитора