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

Управление технологическими рисками как инструмент реализации закона «О техническом регулировании». Риск-монотор: 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
  Одобрен 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.

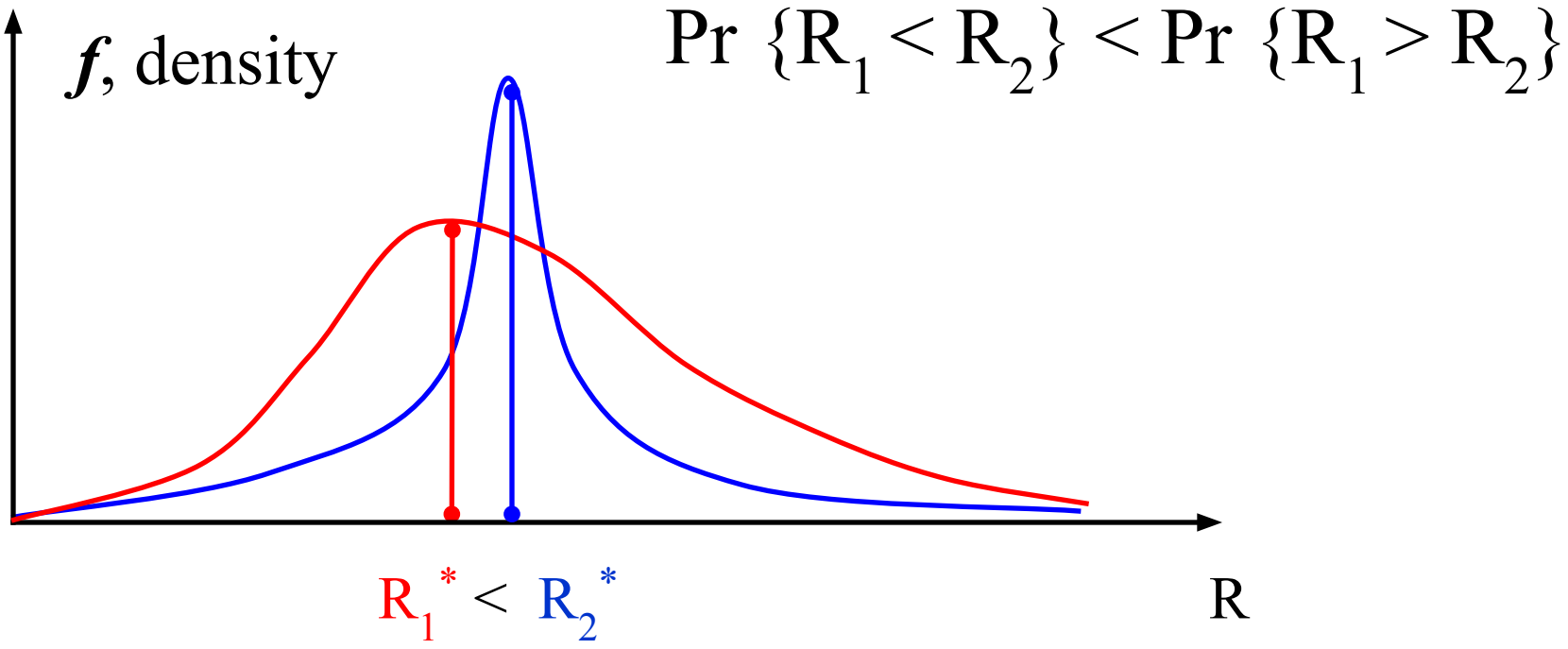
Современные международные рекомендации в области безопасности
МАГАТЭ

- 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 Assuarance and Peer Review of KolaNPP In-Depth Safety Assessment
  US DOE
- WWER 440, 1000 Red Book
  US DOE
- Prioritization of Proposed RBMK Safety Upgrates 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) <u>разработка средств оперативного контроля текущего уровня безопасности</u>

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)

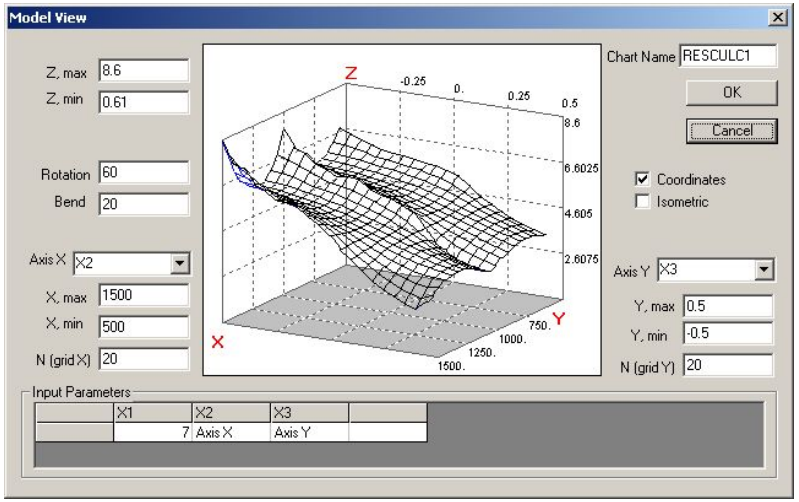
- Вероятностный
  - Неопределенность параметров модели (RW,RA, I, B, F-V, N)
  - Неопределенность модели (F-distribution, Hi-Square)
- Детерминистический
  - Неопределенность параметров модели

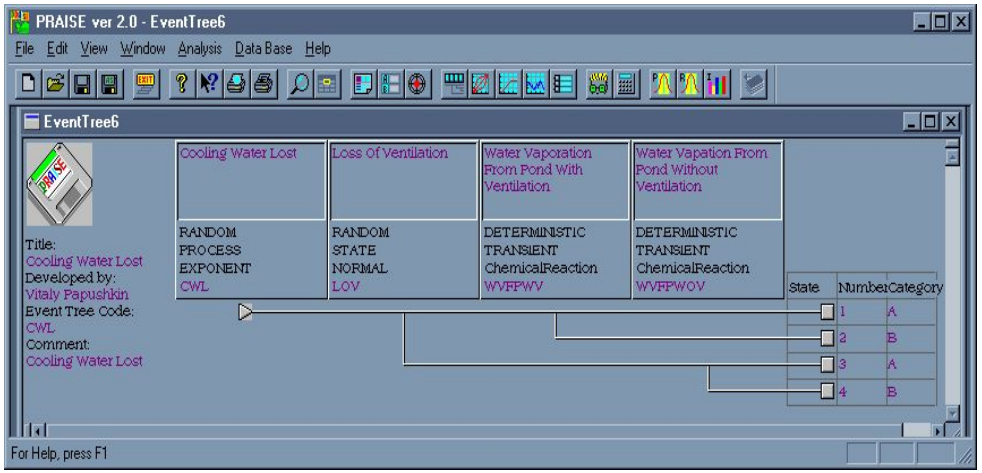
    (etc)
  - Неопределенность модели

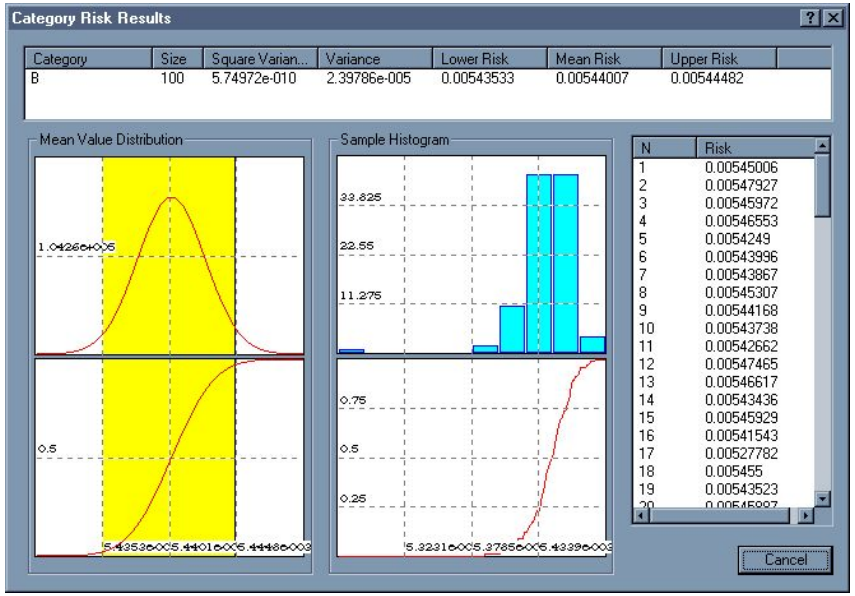
    (ASSA, SAR)

Вероятностный анализ безопасности с учетом неопределенностей

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





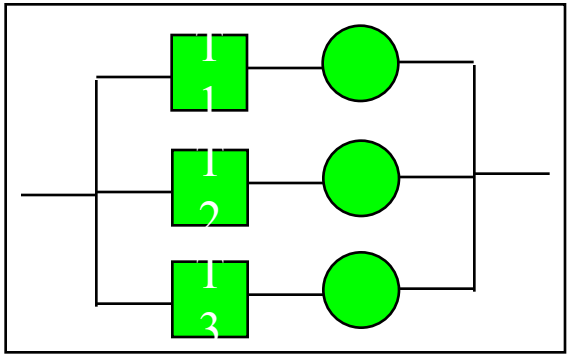


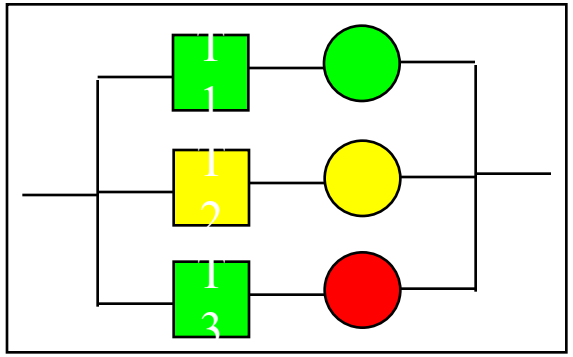
ВАБ, Риск Монитор, VAI (антитерроризм)

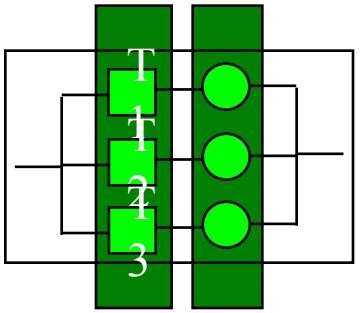
ВАБ
(модель, код)

Риск Монитор
(модель, код)

VAI АЭС
(модель, код)

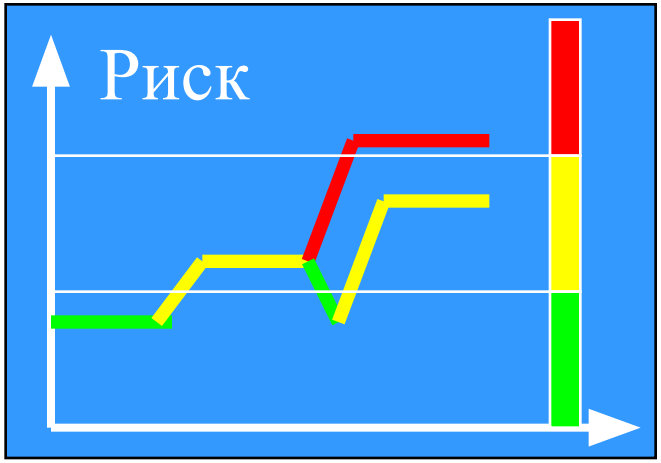






ОТЧЕТ ВАБ

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

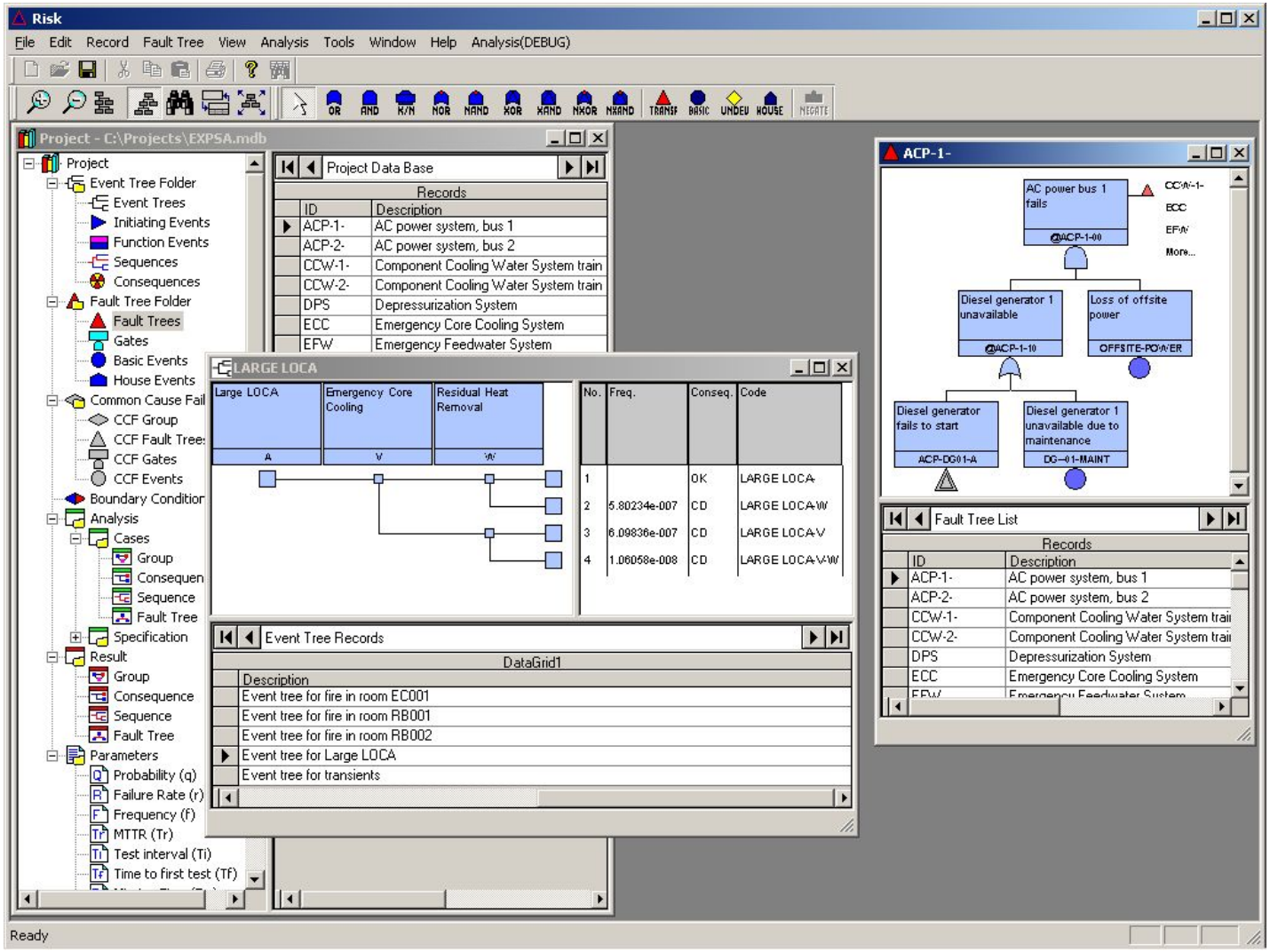
- Должен выполнять стандартные расчеты:
  - модель деревья отказов
  - модель деревьев событий
  - модели отказов по общим причинам
  (минимальные сечения, вероятностные оценки, анализ значимости и неопределенности)
- Использование ресурсов ОС
- Гибкий интерфейс к базам данных
- Совместимость по формату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

Особенности анализа безопасности АЭС

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

Расчетный код РИСК

Графический интерфейс (Деревья событий и отказов)



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
Q	Вероятность, коэффициент неготовности
λ	Интенсивность отказов
F	Частота
μ	Интенсивность восстановлений
TR	Средняя длительность ремонтов (TR= 1/μ)
TI	Периодичность испытаний
TF	Время до первого испытания
TM	Длительность выполнения функции
N	Порядковый номер (например, испытания)
W	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

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

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

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

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

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

Модель фиксированной вероятности отказа

$$Q(t) = q$$

$$Q_{mean} = q$$

Модель ограниченного времени выполнения функции

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

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

Расчетный код РИСК

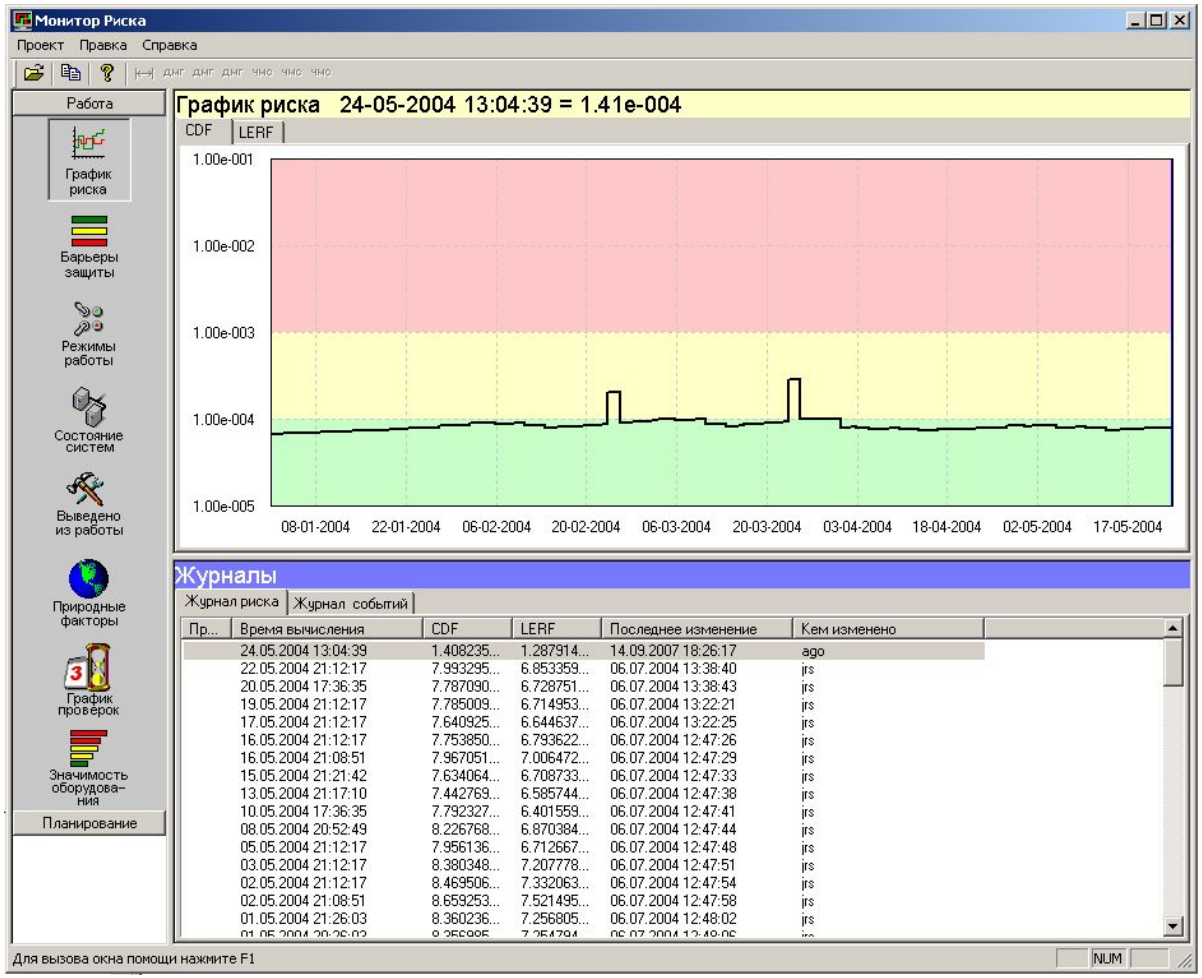
Функции распределения для анализа неопределенности

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

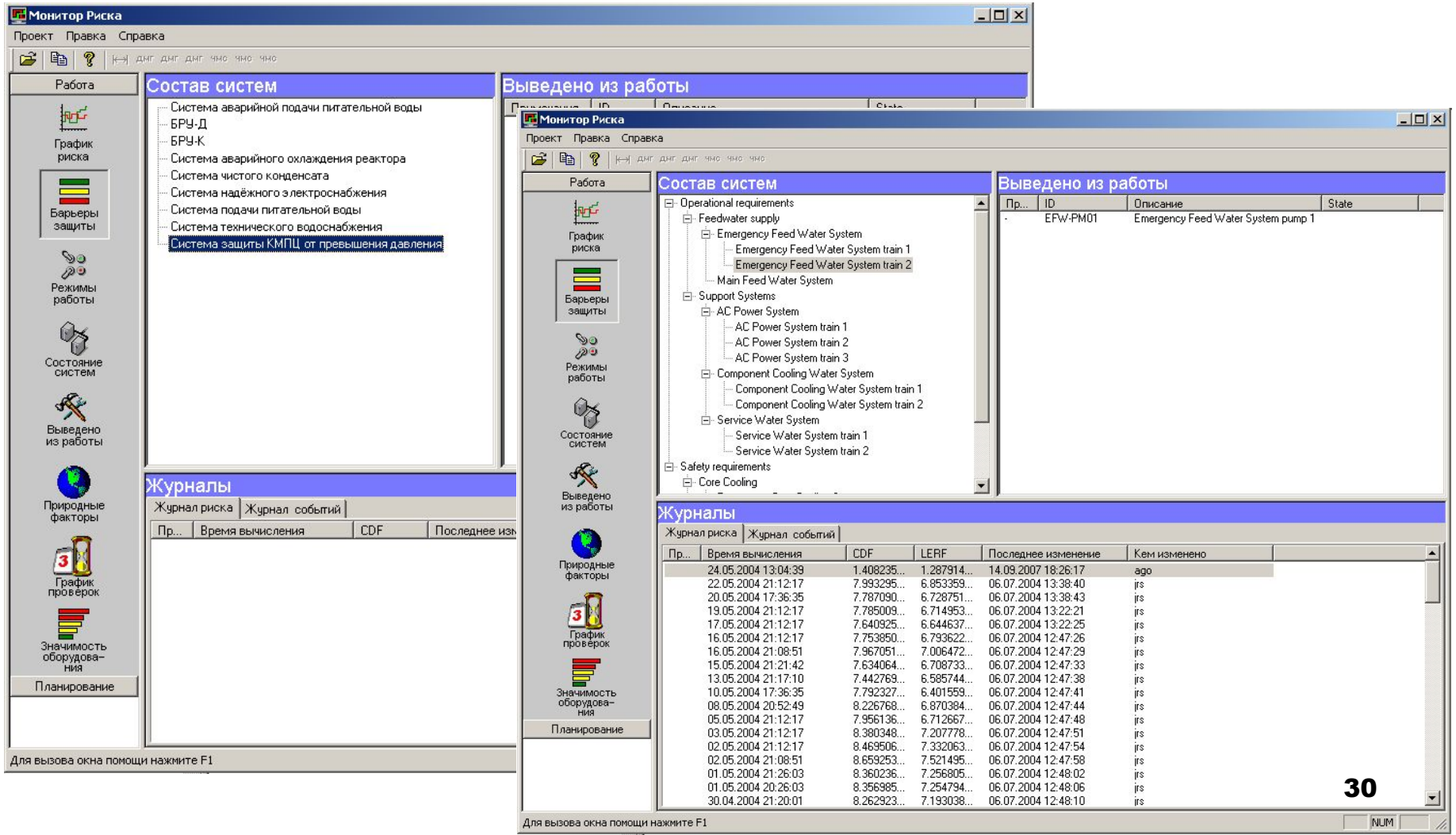
Монитор Риска

- Saphire (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)

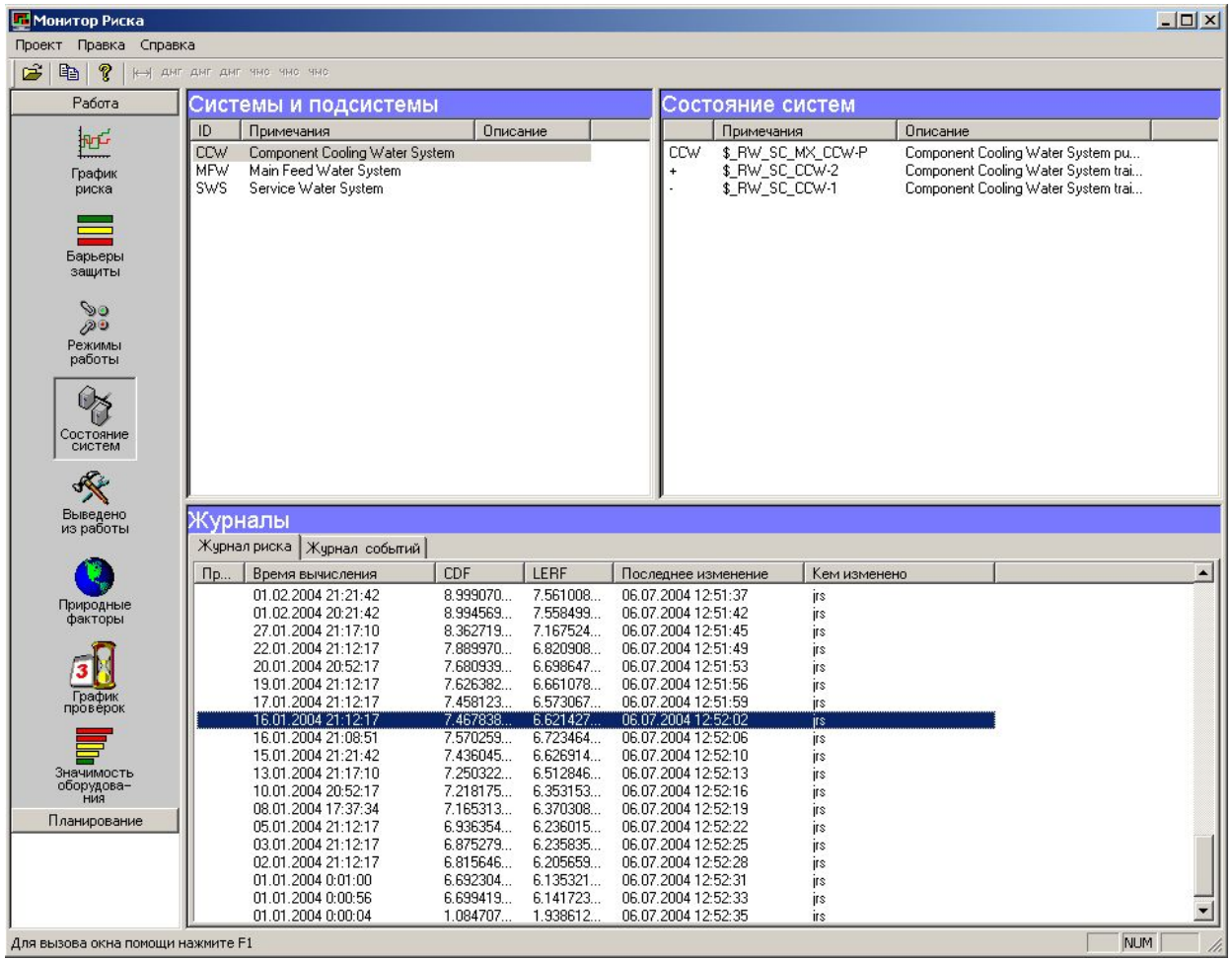
Монитор Риска/График Риска (процедура принятия решения)



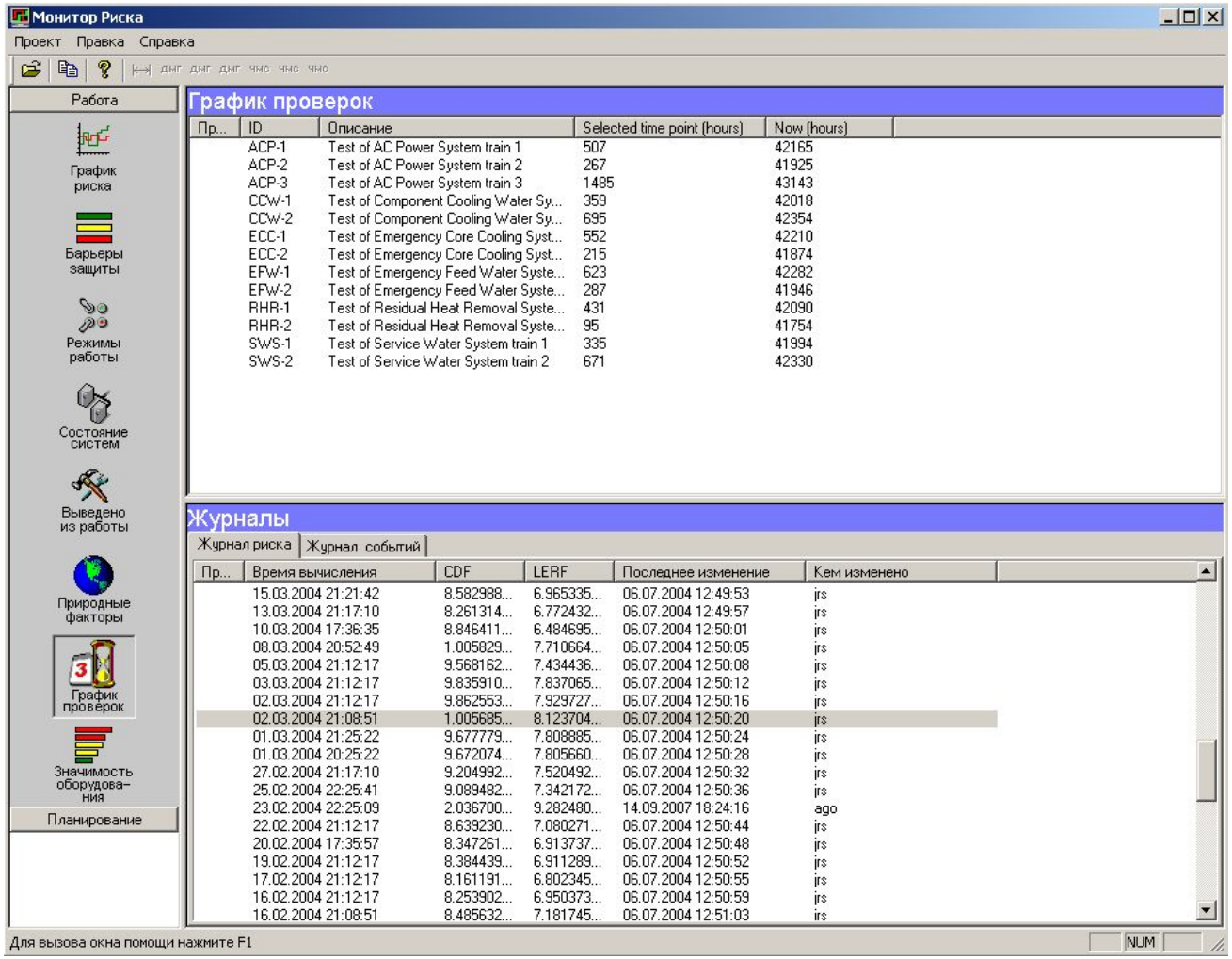
Монитор Риска/Барьеры Защиты (оценка эффективности)



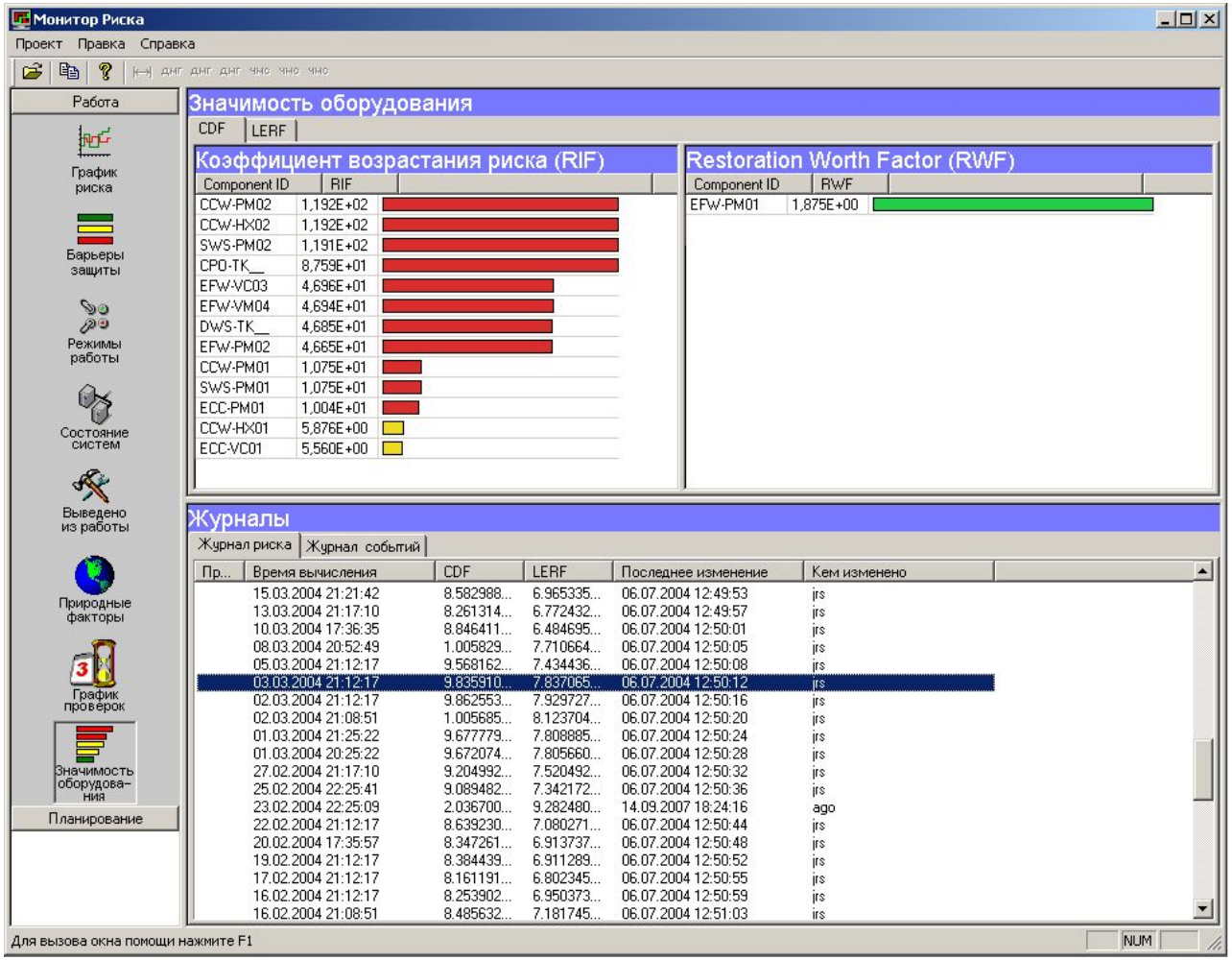
Монитор Риска/Состояние системы (подключение к АСУ ТП)



Монитор Риска/График Проверок (оптимизация обслуживания и ремонта)



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