

## Лекция 32

### ИДЕОЛОГИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

#### Основные черты атомной энергетики России

Отличительными чертами российской атомной энергетики являются:

- собственная отечественная уникальная высокая технология;
- использование самых передовых, в том числе военных наработок;
- высокий научный и кадровый потенциал, обеспечивающий ее рост и развитие;
- ядерная и радиационная безопасность — часть национальной и международной безопасности.

Приоритеты современных эволюционных реакторов:

- энергоэффективность производства электрической и тепловой энергии;
- технологичность;
- конкурентоспособность с другими видами электростанций (ТЭС, ГЭС);
- безопасность и далее надежность, ремонтпригодность и т.п.

Приоритеты военных технологий:

- эффективность (для промышленных реакторов – способность наработки плутония, для лодочных – источник энергии движения винтов);
- технологичность (все оборудование реакторных установок должно изготавливаться на отечественных машиностроительных заводах по имеющимся технологиям);
- физическая защита, включая секретность размещения, документации и т.д.;
- безопасность и далее надежность, энергоэффективность для промышленных двухцелевых реакторов и т.п.

Приоритеты стратегии развития атомной энергетики

- безопасность (детерминистское исключение запроектных аварий и исключение радиационных последствий любых аварий для населения и окружающей среды);
- нераспространение (технологическое обеспечение нераспространения ядерных материалов);
- обращение с отходами (радиационно-эквивалентное обращение с радиоактивными отходами);
- энергоэффективность;
- конкурентоспособность.

## Принципы концепции развития атомной энергетики

- безграничность человеческой способности познания;
- ограниченность нашей планеты;
- культура безопасности.

Промышленные компании, извлекающие прибыль из сооружения и эксплуатации АЭС, заинтересованы в развитии эволюционной ядерной энергетики. Однако общество в лице государственных и межгосударственных организаций должно думать о будущем и вкладывать средства в революционные типы реакторов.

Государственные и межгосударственные органы должны уже сейчас начать активно вкладывать средства в научные разработки революционных типов реакторов, в доведение их до промышленных прототипов.

Ведомства, заинтересованные в охране населения и окружающей среды, парламенты, отвечающие за будущее своих стран, межгосударственные организации (КЕС, OECD, МАГАТЭ), координирующие исследования в мире, должны быть свободны от лоббирующего воздействия богатых энергетических компаний.

При формировании национальных бюджетов ведущих стран должна непременно учитываться энергетическая перспектива. Эти страны несут ответственность за будущее планеты и уже сейчас должны отщеплять часть национального дохода, вкладывая ее в сохранение своего лидирующего положения, в свое будущее и будущее всей планеты. Именно таким путем человечество способно обеспечить свои энергетические потребности в третьем тысячелетии.

**Безопасность** — состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз.

**Безопасность АЭС, ядерная и радиационная** — свойство ас при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации, включая аварии, ограничивать радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду установленными пределами.

## ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПРИНЦИПЫ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Практическая деятельность и вмешательства, сопряженные с радиоактивным облучением, подлежат обоснованию.
2. Дозы облучения для отдельных лиц поддерживаются на уровне ниже установленных пределов.

3. Меры безопасности подлежат оптимизации, а аварии должны предотвращаться.
4. Необходимо уделять должное внимание всем возможным случаям облучения человека, как в настоящем, так и будущем, являющимся результатом практической деятельности или вмешательства.
5. Необходимо уделять должное внимание возможным последствиям деятельности для окружающей среды, в том числе для иных биологических видов, нежели человеческие
6. Вся полнота ответственности за защиту и безопасность остается за оператором.
7. Правительственные органы должны устанавливать, реализовывать и поддерживать правовую и государственную инфраструктуру, предназначенную для защиты и безопасности, включая действительно независимый регулирующий орган.
8. Регулирующий орган устанавливает требования к защите и безопасности, соразмерные уровню регулируемого риска.
9. Для целей защиты и безопасности создается, реализуется и поддерживается система административного управления.
10. Глобальная стратегия достижения цели безопасности состоит в применении концепции глубоко эшелонированной защиты.
11. Необходимо систематически выполнять и через определенные промежутки времени пересматривать оценку безопасности и верификацию по видам осуществляемой деятельности.
12. Заблаговременно принимаются меры для эффективного снижения последствий любого непредусмотренного события, которое может подвергнуть риску меры защиты и безопасность.

### **О ядерной опасности (безопасности) и радиационной опасности (безопасности)**

Понятия ядерная опасность (безопасность) и радиационная опасность (безопасность) являются существенно разными понятиями, т.к. базируются на различных носителях опасности (ядерные материалы и установки и радиоактивные вещества и радиационные источники), проявляются в различных физических процессах (неконтролируемом выделении ядерной энергии и выходе технологического процесса за установленные рамки и наличии полей радиоактивных излучений), обеспечиваются различными способами технического и правового регулирования (смотри, например, статью 3 ФЗ «Об использовании атомной

энергии»), отметим также различные системы учета и контроля источников ядерной опасности и радиационной опасности.

### Способы обеспечения безопасности:

- ликвидация угроз, например, вывод и снятие с эксплуатации ядерно и радиационноопасных объектов;
- избежание внешних угроз, например, размещение производственных объектов в соответствии с требованиями отсутствия или минимизации угроз природных ЧС: землетрясений, катастрофических паводков и пр.;
- выбор площади и их физзащита;
- избежание внутренних угроз, например, использование технологий и систем с внутренне присущей безопасностью; зонирование производственных помещений;
- глубокоэшелонированная защита от воздействия источников опасности, использование барьеров безопасности.

Характеристика понятия	РБ	ЯБ	ПБ	ПрБ
Где содержится определение	Закон /3/	ПБЯ РУ АС-89 /5/	Закон /7/	Закон /11/
Что является угрозой	Ионизирующее излучение	Ядерная авария	Пожар	Авария на опасном производственном объекте
От чего исходит угроза	Источник ионизирующего излучения	Ядерная энергия топлива; накопленные продукты деления; энергия теплового взрыва	Энергия горения; температура; токсичные вещества	Энергия рабочего тела; потенциальная энергия падения тел; токсичные вещества; энергия взрыва
На кого направлена угроза	Человек и окружающая среда	ОИАЭ	Личность, имущество, общество	Личность, общество
Как измеряется безопасность	Детерминистически	Вероятностно	Вероятностно	Вероятностно
Чем обеспечена безопасность	Все виды безопасности обеспечиваются системой организационно-технических мероприятий, направленной на сохранение целостности защитных барьеров			

## Основные принципы ЯРБ:

- АЭС удовлетворяет требованиям безопасности, если ее радиационное воздействие на персонал, население и окружающую среду при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, не должно приводить к превышению установленных доз облучения персонала и населения, нормативов по выбросам и сбросам, содержанию радиоактивных веществ в окружающей среде, а также должно ограничиваться при запроектных авариях;
- уровни облучения персонала на АС и населения в результате выброса и сброса любых радиоактивных веществ с АС должны быть ниже установленных пределов и на разумно достижимом низком уровне;
- безопасность АС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации концепции глубоко эшелонированной защиты, основанной на применении системы физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду и системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их эффективности, а также по защите персонала, населения и окружающей Среды;
- система физических барьеров блока АС включает: топливную матрицу, оболочку твэла, границу контура теплоносителя реактора, герметичное ограждение реакторной установки и биологическую защиту.

Характеристика понятия	РБ	ЯБ	ПБ	ПрБ
Где содержится определение	Закон /3/	ПБЯ РУ АС-89 /5/	Закон /7/	Закон /11/
Что является угрозой	Ионизирующее излучение	Ядерная авария	Пожар	Авария на опасном производственном объекте
От чего исходит угроза	Источник ионизирующего излучения	Ядерная энергия топлива; накопленные продукты деления; энергия теплового взрыва	Энергия горения; температура; токсичные вещества	Энергия рабочего тела; потенциальная энергия падения тел; токсичные вещества; энергия взрыва
На кого направлена угроза	Человек и окружающая среда	ОИАЭ	Личность, имущество, общество	Личность, общество
Как измеряется безопасность	Детерминистически	Вероятностно	Вероятностно	Вероятностно
Чем обеспечена безопасность	Все виды безопасности обеспечиваются системой организационно-технических мероприятий, направленной на сохранение целостности защитных барьеров			

## Критерии ЯРБ

- Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе вероятностного анализа безопасности значение суммарной вероятности тяжелых запроектных аварий не превышало  $10 \text{ E}^{-5}$  на реактор в год.
- В целях исключения необходимости эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий, устанавливаемой в соответствии с нормативными требованиями к размещению АС, следует стремиться к тому, чтобы оцененное значение вероятности установленного этими требованиями предельного аварийного выброса не превышало  $10 \text{ B}^{-7}$  на реактор в год.
- УСБ должны быть спроектированы таким образом, чтобы при автоматическом запуске возможность их отключения оперативным персоналом блокировалась в течение 10 -30 мин.
- Предел безопасной эксплуатации по количеству и величине дефектов твэлов составляет 1% твэлов с дефектами типа газовой неплотности и 0,1 % твэлов, для которых имеет место прямой контакт теплоносителя и ядерного топлива.
- Максимальный проектный предел повреждения твэлов соответствует не превышению следующих предельных параметров:
  - температура оболочек твэлов — не более  $1200^\circ \text{ C}$ ;
  - локальная глубина окисления оболочек твэлов — не более 18% первоначальной толщины стенки;
  - доля прореагировавшего циркония — не более 1% его массы в оболочках твэлов.
- При нормальной эксплуатации все физические барьеры должны быть работоспособными, а меры по их защите должны находиться в состоянии готовности. При выявлении неработоспособности любого из предусмотренных физических барьеров или неготовности мер по его защите РУ должна быть остановлена и приняты меры по приведению блока АС в безопасное состояние.
- Технические и организационные решения, принимаемые для обеспечения безопасности АС, должны быть апробированы прежним опытом или испытаниями, исследованиями, опытом эксплуатации прототипов и соответствовать требованиям нормативных документов. Такой подход должен применяться не только при разработке оборудования и проектировании АС, но и при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации АС, при реконструкции АС и модернизации ее систем (элементов).

- Активная зона должна быть спроектирована таким образом, чтобы при нормальной эксплуатации и проектных авариях обеспечивалась ее механическая устойчивость и отсутствие деформаций, нарушающих нормальное функционирование средств воздействия на реактивность и аварийные остановки реактора или препятствующих охлаждению ТВЭЛОВ.

### Уровни глубоко эшелонированной защиты

- Условия размещения АС предотвращение нарушений нормальной эксплуатации.
- Предотвращение проектных аварий системами нормальной эксплуатации.
- Предотвращение запроектных аварий системами безопасности.
- Управление запроектными авариями.
- Противоаварийное планирование.



### ОБОСНОВАНИЕ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ (РОСАТОМ)

#### Действующие реакторы:

- экспериментальное моделирование аварий;
- разработка программных средств для моделирования аварий;
- руководства по управлению запроектными авариями;
- вероятностный анализ безопасности.

## Действующие и эволюционные реакторы:

- ядерная и нейтронная физика;
- прочность конструкций и материаловедение в условиях радиации;
- теплофизика;
- диагностика защитных барьеров;
- психофизиология человека;
- системы управления и защиты

### КЛАССИФИКАЦИЯ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

Лицензируемые	Инновационные
<b>Действующие (продлеваемые):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• ВВЭР-213, 230, 320</li><li>• РБМК-1000</li><li>• БН-600</li></ul>	СВБР-75/100, 1200 БРЕСТ-300, 1200 ГТ-МГР-300 ВК-300 ВБР-300
<b>Сооружаемые:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• В-1000 (Россия, Китай, Индия, Иран)</li><li>• БН-800</li></ul>	
<b>Проектируемые:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• АС-92, В-1500</li><li>• БН-1600</li></ul>	

## ПОКАЗАТЕЛИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Показатель событий
2. Показатель неготовности систем безопасности
3. Показатель внеплановых остановов энергоблока
4. Показатель качества обслуживания
5. Показатель неготовности энергоблока к несению электрической нагрузки
6. Показатель выработки проектного ресурса
7. Показатель соблюдения водно-химического режима
8. Показатель недостатков в поддержании герметичности твэлов и сохранения топливной матрицы
9. Показатель герметичности первого контура реактора (для реакторов РБМК – показатель герметичности КМЩЦ)
10. Показатель радиоактивных выбросов и сбросов с АЭС

11. Показатель дозовых нагрузок персонала
12. Показатель нарушений в работе, связанных с отказами локализирующих систем безопасности и повреждениями защитных барьеров
13. Показатель нарушений, связанный с эксплуатацией систем СУЗ и защитных систем безопасности



## КЛАССИФИКАЦИЯ УГРОЗ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ

**Активные угрозы** имеют детерминированное происхождение, их носителем являются вещество или энергия, они воздействуют в реальности, могут быть **измерены** инструментально и легко уменьшены. Масштабом их измерения служат превышения реальных доз и концентраций над предельно допустимыми значениями.

Таким образом, состояние защищенности (безопасность) от активных угроз человека, рукотворных объектов и природы также может быть измерено численно, а следовательно, эта составляющая безопасности может быть повышена или понижена.

**Потенциальные угрозы** имеют вероятностное происхождение, их носителем являются представления человека. Угрозы воздействуют только при своей реализации, до нее они не могут быть измерены инструментально, а только **рассчитаны** как произведение вероятности

реализации опасного события на величину его последствий (ущерб). Это произведение называется риском события.

Так как последствия могут быть многообразны, столь же многообразны и риски события, и они рассчитываются в тех же единицах, что и ущерб. После реализации потенциальных угроз их последствия могут измеряться инструментально и обобщаться статистическими расчетами. Также статистически могут рассчитываться вероятности реализации этих угроз. Расчеты вероятностей реализации потенциальных угроз и величины их последствий в настоящее время различны в разных промышленных отраслях, не имеют единых методик и алгоритмов, а, следовательно, результаты расчетов рисков событий не могут быть сопоставлены между собой.

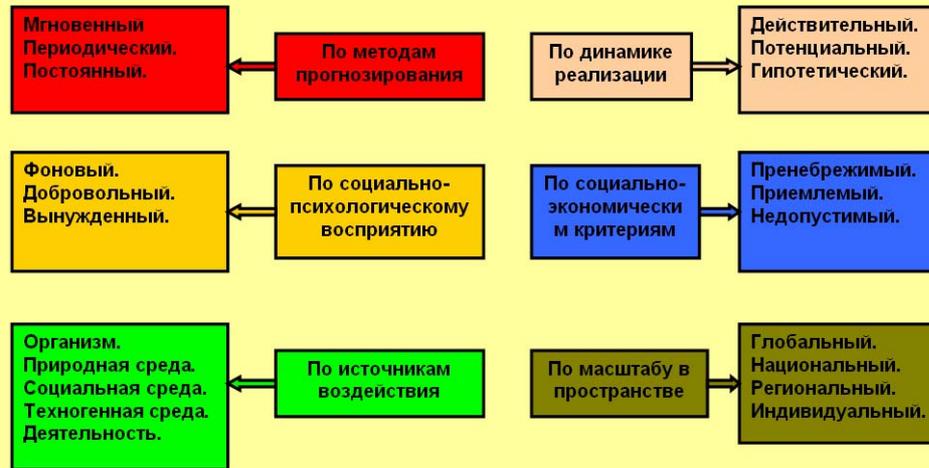
### Классификация угроз

Угроза (внешняя и внутренняя, социальная, экономическая, экологическая)	Комплексная		Ничтожная	
	Активная	Потенциальные (послевые угрозы)	Нет Р=0	Есть
Вероятность (Р)	Нет (Достоверность) Р=1	Есть 0<Р<1	Нет Р=0	Есть
Воздействие	Есть	Может быть	Есть	Нет

### Классификация аварий

Авария, ЧС (техногенная, природная, биолого- социальная)	Произошедшая, реализовавшаяся, апостериорная, реальное событие	Возможная, прогнозируемая, предполагаемая, априорная, виртуальное событие	
Последствия	Многообразные		Фиксированные
Чем оценивается безопасность	Ущерб от аварии	Риск аварии	Вероятность аварии
Наименование аварий в области использования атомной энергии	Радиационная, ядерная и радиационная		Тяжелая запроектная (ядерная) авария

## Общая типология рисков



$$k_a = D_p - D_n \quad (1)$$

$$N = N_{перс.} + N_{нас.} \quad (2)$$

$$D_{нас.}^{перс.} = \sum_{i=1}^N (D_i - D_n^{перс.}) \quad (3)$$

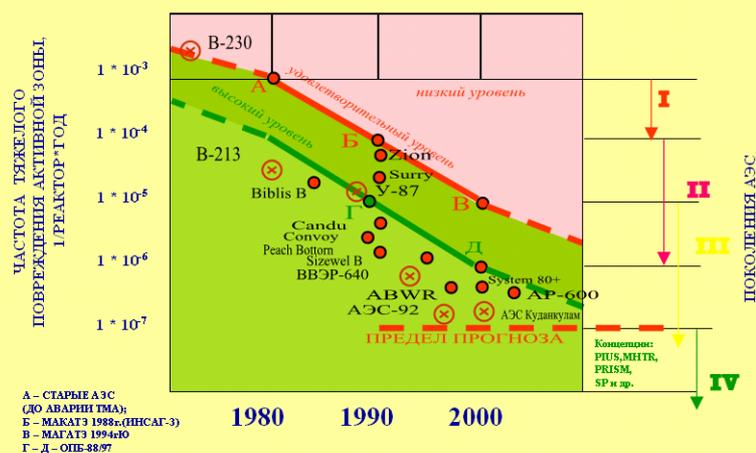
$$k_n = -P'(t) \quad (4)$$

$$K = \frac{P_{i-1} - P_i}{10^5 \cdot \Delta\tau} \quad (5)$$

## Полученные результаты

№	Энергоблок АС	Основной разработчик ВАБ	Точечная оценка ЧПЗ, 1/(реактор*год), год разработки ВАБ		К
1	Нововоронежская АС, ВВЭР-1000, Энергоблок 5, Проект В-187.	НТЦ ЯРБ, г.Москва	6,85E-4, 1999 г.	4,03E-4, 2005 г.	4,7
2	Кольская АС, ВВЭР-440, Энергоблок 2, Проект В-230,	Кольская АС	2,77E-5, 2002 г.	2,52E-5, 2004 г.	0,125
3	Нововоронежская АС, ВВЭР-440, Энергоблок 3, Проект В-179	ФГУП АЭП г.Москва	1,08E-4, 2000 г.	3,44E-5, 2002 г.	3,68
4	Нововоронежская АС, ВВЭР-440, Энергоблок 4, Проект В-179	ФГУП АЭП г.Москва	1,08E-4, 2000 г.	5,12E-5, 2002 г.	2,84
5	Ленинградская АС, РБМК, Энергоблок 1	Ленинградская АС	2,32E-4, 2002 г.	9,5E-6, 2003 г.	22.3
6	Ленинградская АС, РБМК, Энергоблок 2	Ленинградская АС	8,7E-5, 2001 г.	8,8E-6, 2004 г.	2.61

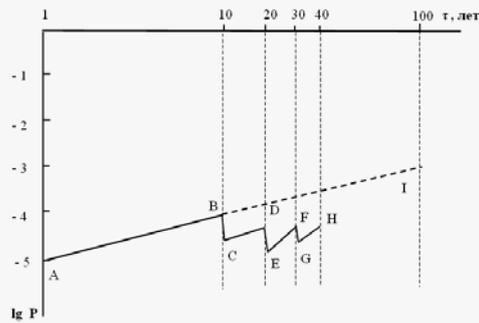
### Результаты ВАБ-1 для различных поколений АЭС



## Методы анализа безопасности

Название	Цель	Мера безопасности
Анализ опыта эксплуатации, АОЭ	Оценка реализовавшихся активных угроз, активной составляющей безопасности	$N_{перс.} + N_{нас.}$
Детерминистский анализ безопасности, DAB	Детерминистское обоснование целостности барьеров глубоко эшелонированной защиты, доказательство выполнения критериев безопасности	Нет
Вероятностный анализ безопасности, PSA	Оценка вероятностей тяжелых аварий, потенциальной составляющей безопасности	$-\left(\frac{\partial P}{\partial \tau}\right)_{const}$

### Изменение вероятности аварии за время эксплуатации энергоблока



### Вероятность аварии в энергосистеме из $N$ блоков

$$P = N\lambda\tau$$

Частота плавления активной зоны, 1/реактор·лет	Количество энергоблоков, $N$	Время эксплуатации, $\tau$ , лет	Вероятность аварии, $P$
$10^{-5}$	20	50	$10^{-2}$