

«Безопасность затратна, её отсутствие разорительно»

У.Черчилль

Заслуженный деятель науки РФ, профессор Б.Г.Гордон.

gordon@secnrs.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

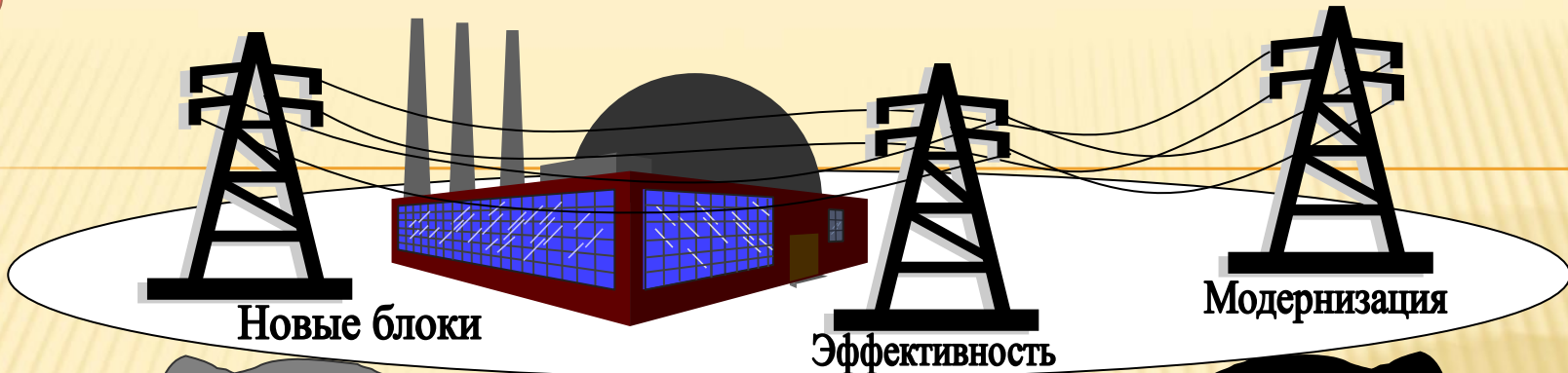
М. 2023

ОСНОВНЫЕ ТЕЗИСЫ

- ✘ Первые ЯР предназначались для военного использования
- ✘ Энергетические ЯР имеют конверсионное происхождение
- ✘ Современная атомная энергетика преждевременна
- ✘ Будущее – за практически безопасными реакторами

ПРИОРИТЕТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

- ✗ изучение нейтронно-физических , теплофизических , физико-химических и других процессов в геометрии и оборудовании РУ,
- ✗ обоснование работоспособности, эффективности объекта и принятых проектных решений,
- ✗ обоснование радиационной безопасности человека и ядерной безопасности объекта при его эксплуатации,
- ✗ оптимизация конструкций применяемого оборудования,
- ✗ моделирование и отработка систем управления и запуска,
- ✗ выбор натуральных средств диагностики, измерения, контроля и автоматики
- ✗ накопление опыта работы с новыми материалами, теплоносителями, оборудованием и т. п.



Безопасность



СВЯЗЬ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ АС

Вид нарушения	Остановка энергоблока 1 ГВт на сутки	Недодача 1% электроэнергии в год	Ремонты, замены, отказы оборудования	Тяжёлые запроектные аварии
Порядок величины ущерба в долларах	1-2 млн.	1-5 млн.	10-50 млн.	100 – 500 млрд.

ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТОПЛИВА

Вид топлива	Теплотворная способность	Единицы измерения
Сырая нефть	45 – 46	МДж/кг
Природный газ	39	МДж/м ³
Каменный уголь	21 – 30	МДж/кг
Бурый уголь	10	МДж/кг
Сухая древесина	16	МДж/кг
Естественный уран в реакторах на тепловых нейтронах	500 – 650	ГДж/кг
Обогащённый до 3.5% уран	3900	ГДж/кг
Естественный уран в реакторах на быстрых нейтронах	28000	ГДж/кг

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- ✗ Новые технологии,
- ✗ Безопасность,
- ✗ Охрана и физическая защита,
- ✗ Нераспространение,
- ✗ Обращение с РАО и ОЯТ,
- ✗ Совершенствование независимой системы регулирования безопасности.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ТЕХНИЧЕСКИХ АВАРИЙ

Градиенты	Запасы веществ	Запасы энергии
Давление	Взрывчатые	Механическая
Температура	Горючие, воспламеняющиеся	Электромагнитная
Концентрация	Химические, биологические	Химическая
Высота	Радиоактивные	Ядерная

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ЯДЕРНЫХ АВАРИЙ

- × Реактивностные и мощностные эффекты
- × Разуплотнение контура теплоносителя
- × Локальное кипение теплоносителя
- × Потеря управления энергоблоком
- × Отказ систем эксплуатационного и аварийного охлаждения
- × Пожары
- × Взрывы
- × Внешние воздействия, включая диверсии

ПУНКТ 1.2.4. ОПБ АС

- ✗ «Безопасность АС должна обеспечиваться за счет последовательной реализации глубокоэшелонированной 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 должна включать:
 - 1.границу контура теплоносителя реактора,
 2. герметичное ограждение РУ и
 - 3.биологическую защиту, а также, как правило,
 - 4.топливную матрицу и
 - 5.оболочку ТВЭЛа».

ЗАЩИТНЫЕ БАРЬЕРЫ РУ ВВЭР

Оборудование	Количество барьеров
Реактор	3-5
Бассейн выдержки	2-4
Хранилище ОЯТ	2-3

МОДЕЛЬ РАСЧЁТА

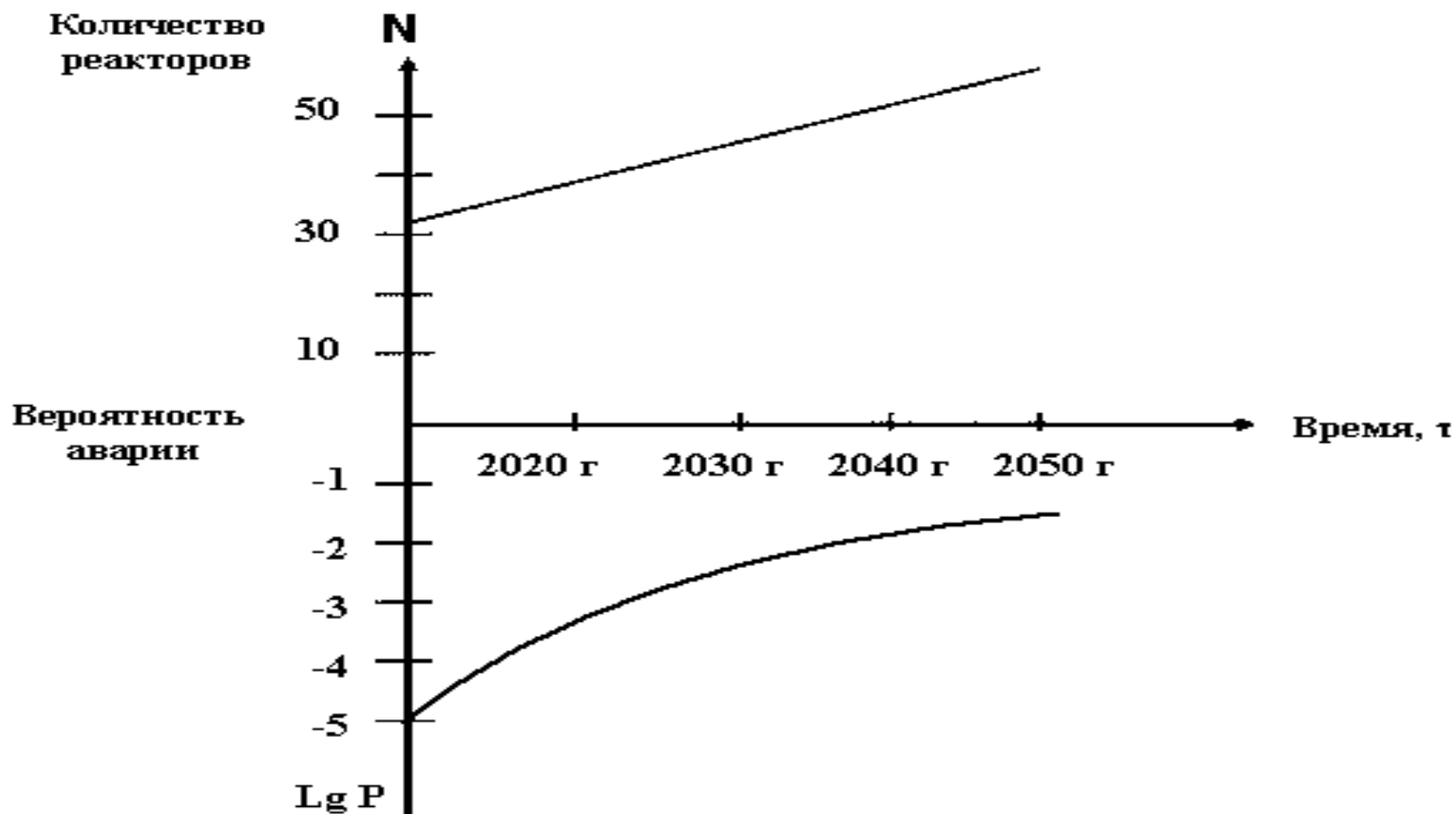
$$P = 1 - \exp(-\lambda N \tau)$$

$$P = N \times \lambda \times \tau,$$

$$0 < N \times \lambda \times \tau < 0.01.$$

ВЕРОЯТНОСТЬ АВАРИИ В СИСТЕМЕ АЭС

$$P = 1 - \text{EXP}(-\Delta NT)$$



ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВИДОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Внутренняя самозащищённость РУ	ОПБ-88, НП-001-15	Свойство обеспечивать безопасность на основе естественных обратных связей, процессов и характеристик
Внутренне присущая, естественная	Вейнберг А. 1990, Орлов В.В. 1992	Исключение больших радиоактивных выбросов при авариях на АС
Гарантированная, детерминистская	WENRA 2003, Кириенко С.В. 2007	Исключение аварий, требующих эвакуации или отселения
Практическое исключение ядерной аварии	Гордон Б.Г. 2008	Срок службы всей совокупности РУ много меньше времени вероятного наступления аварии

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИКИ

- ✗ утилизация низкопотенциальной энергии, связанной с градиентами в несколько десятков градусов;
- ✗ прямое преобразование ядерной энергии (синтеза или деления атомов) в электрическую, минуя тепловую;
- ✗ ёмкие и экономичные источники длительного хранения энергии;
- ✗ экономичная передача электроэнергии на большие расстояния без потерь;
- ✗ дальнейшее широкое развитие энергетически ничтожноёмких производств и технологий.