

Институт ядерных исследований РАН

Радиационно-защитный костюм для пожарных на АЭС

Посвящается морякам
атомной подводной лодки К-19
и пожарным Чернобыльской АЭС

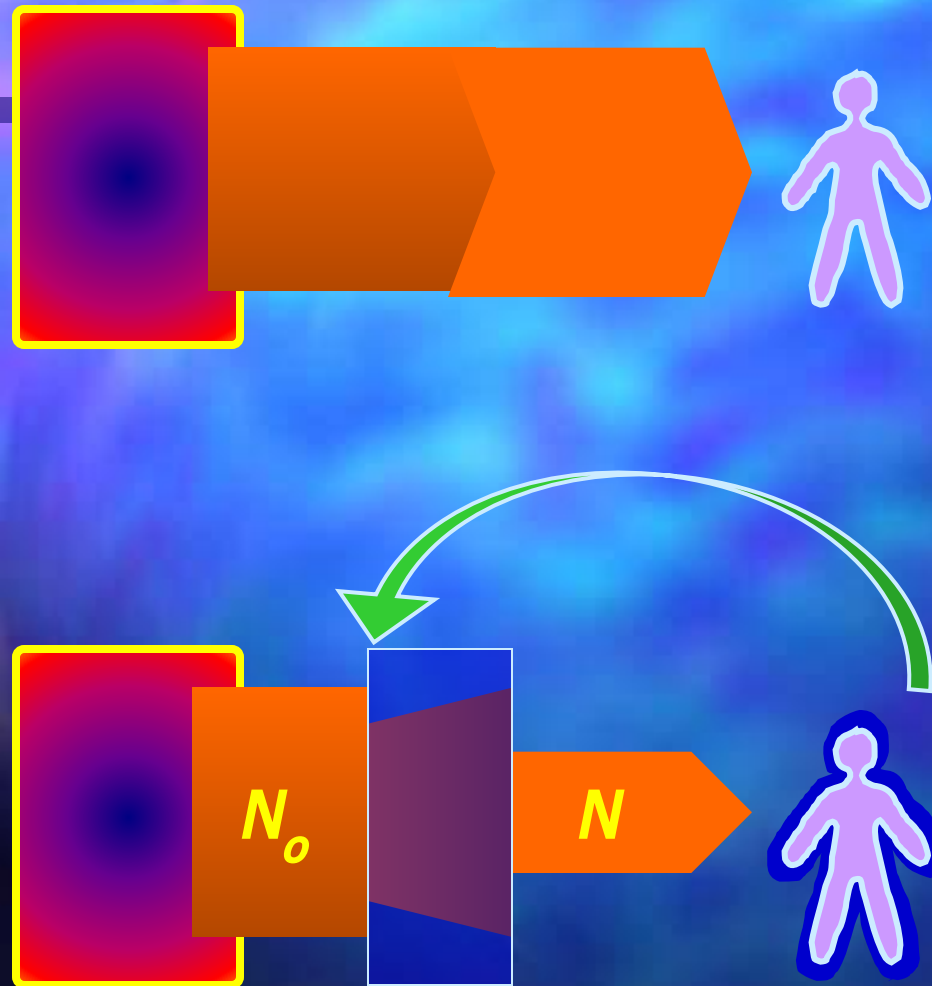
*Выставка "Чернобыль: экология, человек,
здоровье", Москва, ВВЦ, 5 – 8 декабря 2006 года*

Пролог

Подвиг моряков атомной подводной лодки К-19, предотвративших в 1961 г. взрыв ядерной силовой установки, хорошо известен. Вышедший недавно в мировой прокат художественный фильм вновь напомнил о героических действиях экипажа.

Между тем, существует медицинский аспект этих событий, который известен лишь узкому кругу специалистов: при лечении людей, поражённых радиоактивным излучением, заметно повышается вероятность благоприятных исходов, если лучевая болезнь не отягощена лучевым ожогом. Этот факт, установленный при лечении 122 подводников, был подтверждён затем в 1986 г. в Чернобыле...

Введение



Анализ структуры радиационных полей, вызываемых облучением последствий, а также свойств материалов показал, что существует возможность снижения вредного воздействия. В этих целях были определены параметры защитных материалов (или пакетов материалов), а также принцип их распределения по телу с учётом оптимизации защитных свойств, чувствительности органов и массы изделий.

На основе разработок, проведённых в Институте ядерных исследований РАН (ИЯИ), была создана специальная аварийная защитная одежда пожарных для применения в условиях контролируемого и, в особенности, неконтролируемого облучения.

Работа Института ядерных исследований по созданию средств индивидуальной защиты от радиационных поражений

Корреляционный анализ факторов радиационного воздействия и тяжести сочетанных поражений

Формулировка задачи

Теоретический поиск

Экспериментальные исследования

Создание концепции защиты от сочетанных излучений

Разработка безопасного способа промышленного контроля радиационно-защитных свойств материалов и изделий

Участие в разработке конструкции костюма

Создание автоматизированного рабочего места

Доказательство перспективности разработки средства индивидуальной защиты нового типа

Теоретический поиск

```
graph TD; TP[Теоретический поиск] --> A[Анализ]; TP --> R[Расчёт]; A --> A1[Структура аварийного излучения]; A --> A2[Состав защитных материалов]; A --> A3[Воздействие излучения на биообъекты]; R --> R1[Эффективные составляющие излучения]; R --> R2[Состав радиационно-защитных материалов]; R --> R3[Конструкция костюма];
```

The diagram illustrates the theoretical search process, starting with 'Теоретический поиск' (Theoretical search) at the top. This process branches into two main paths: 'Анализ' (Analysis) and 'Расчёт' (Calculation). The 'Анализ' path leads to three sub-topics: 'Структура аварийного излучения' (Structure of emergency radiation), 'Состав защитных материалов' (Composition of protective materials), and 'Воздействие излучения на биообъекты' (Effect of radiation on bioobjects). The 'Расчёт' path leads to three sub-topics: 'Эффективные составляющие излучения' (Effective components of radiation), 'Состав радиационно-защитных материалов' (Composition of radiation-protective materials), and 'Конструкция костюма' (Suit construction).

Анализ

Структура аварийного излучения

Состав защитных материалов

Воздействие излучения на биообъекты

Расчёт

Эффективные составляющие излучения

Состав радиационно-защитных материалов

Конструкция костюма

При анализе характеристик аварийных радиационных полей использованы следующие источники информации:

Данные об авариях на атомных подводных лодках (1961, 1968).

Данные об аварии в Виндскейле (1957).

Данные об аварии в Тримайл Айленде (1979).

Данные об аварии в Чернобыле (1986).

Труды Радиевого института АН СССР.

Американские материалы об испытаниях и применения ядерного оружия на Маршалловых островах (1954).

Данные японо-американского Фонда Хиросимы.

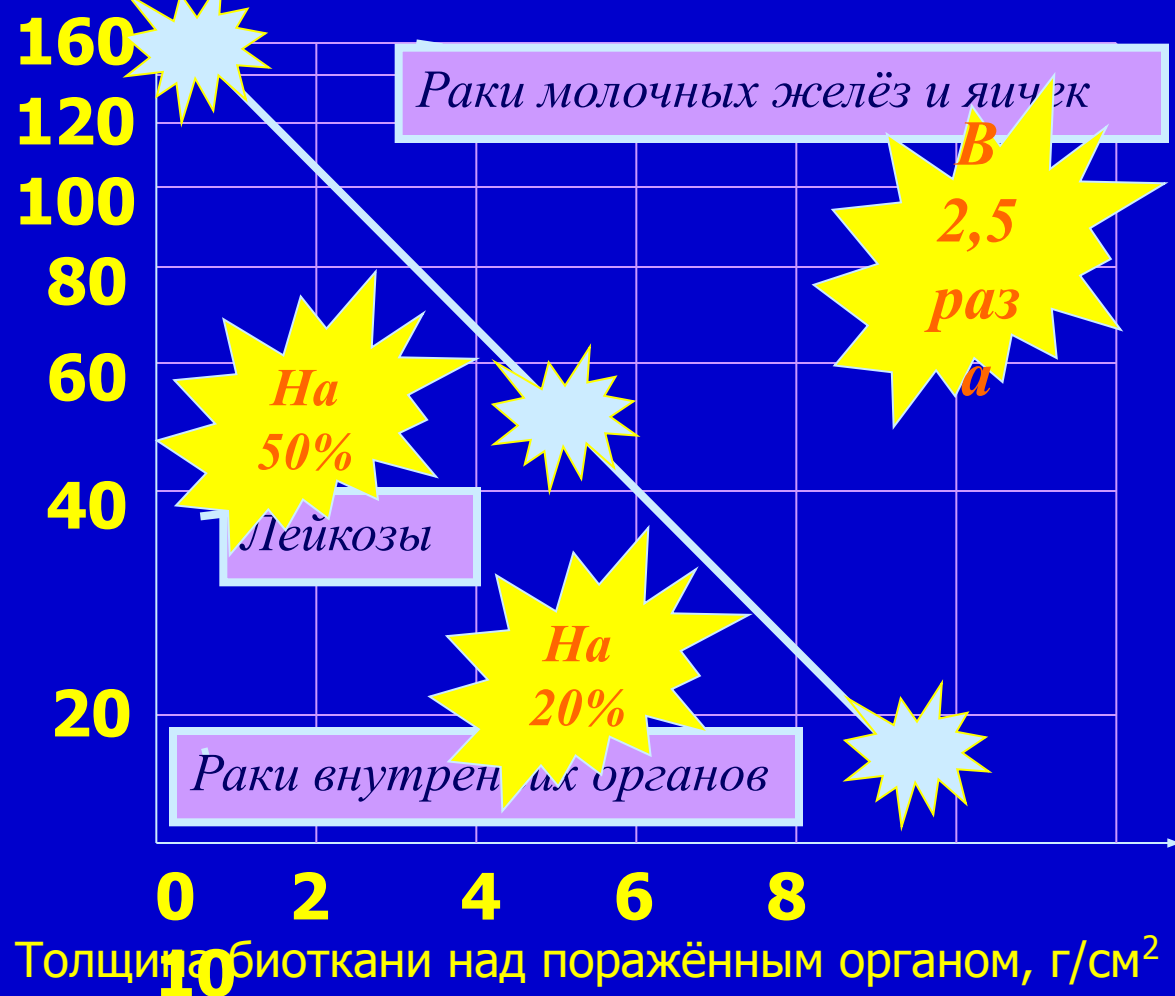
Данные о результатах натуральных испытаниях в Неваде (1986).

Результаты расчётов ИЯИ РАН.

Обработка данных японо-американского фонда "Хиросима"

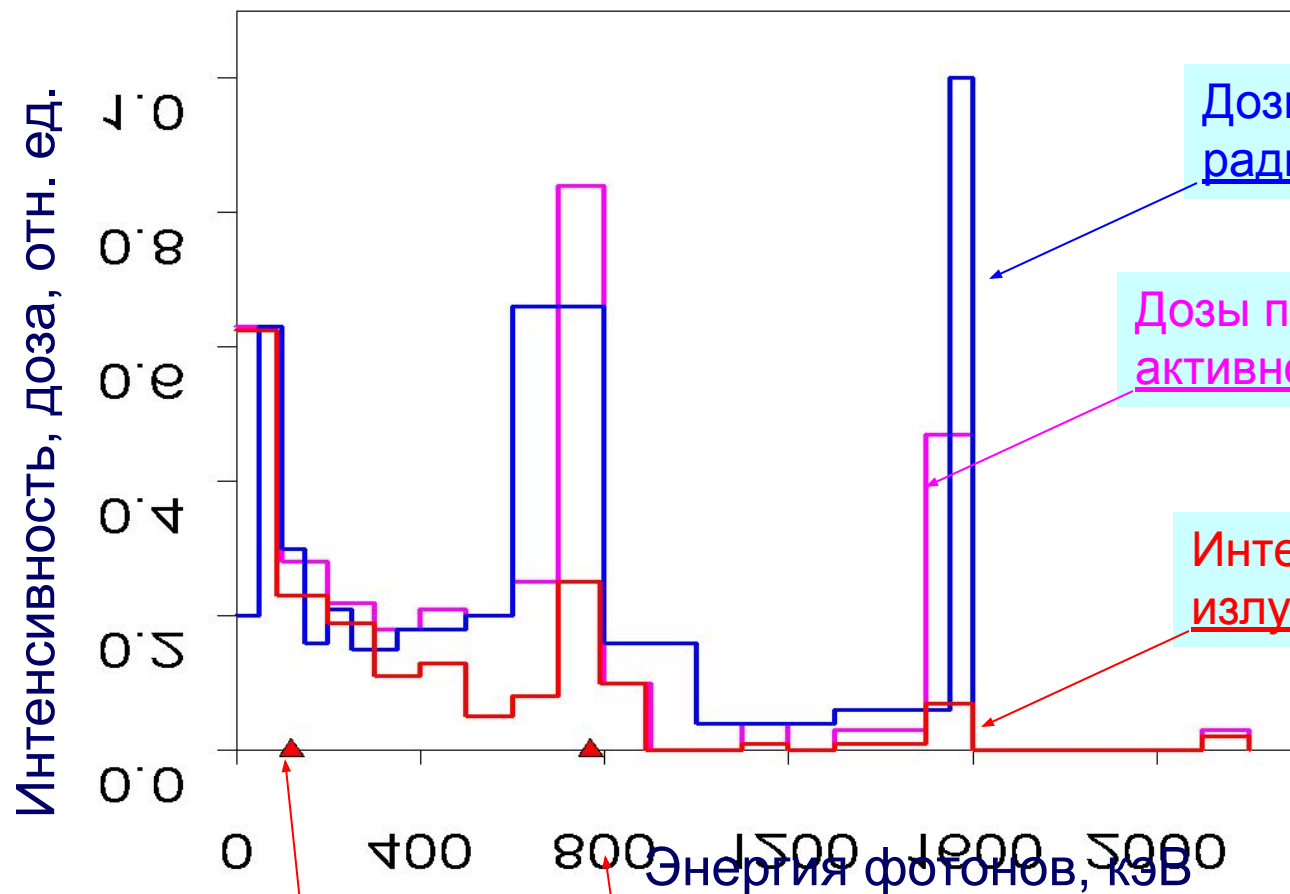
1. Исследования
2. Данные о
3. Позднее это расхождение было разъяснено благодаря вводу в расчёт поправки, учитывающей влияние и мягкого компонента. Таким образом, было показано, что воздействие сочетанного облучения может иметь количественное описание.

Превышение частот развития опухолей, %



Толщина биоткани над поражённым органом, г/см²

Распределение интенсивностей и доз фотонного излучения смеси продуктов деления



Дозы при выпадении радиоактивных осадков

НОВОЙ

Дозы при разрушении активной зоны реактора

Большой АЭС

Интенсивность излучения должны

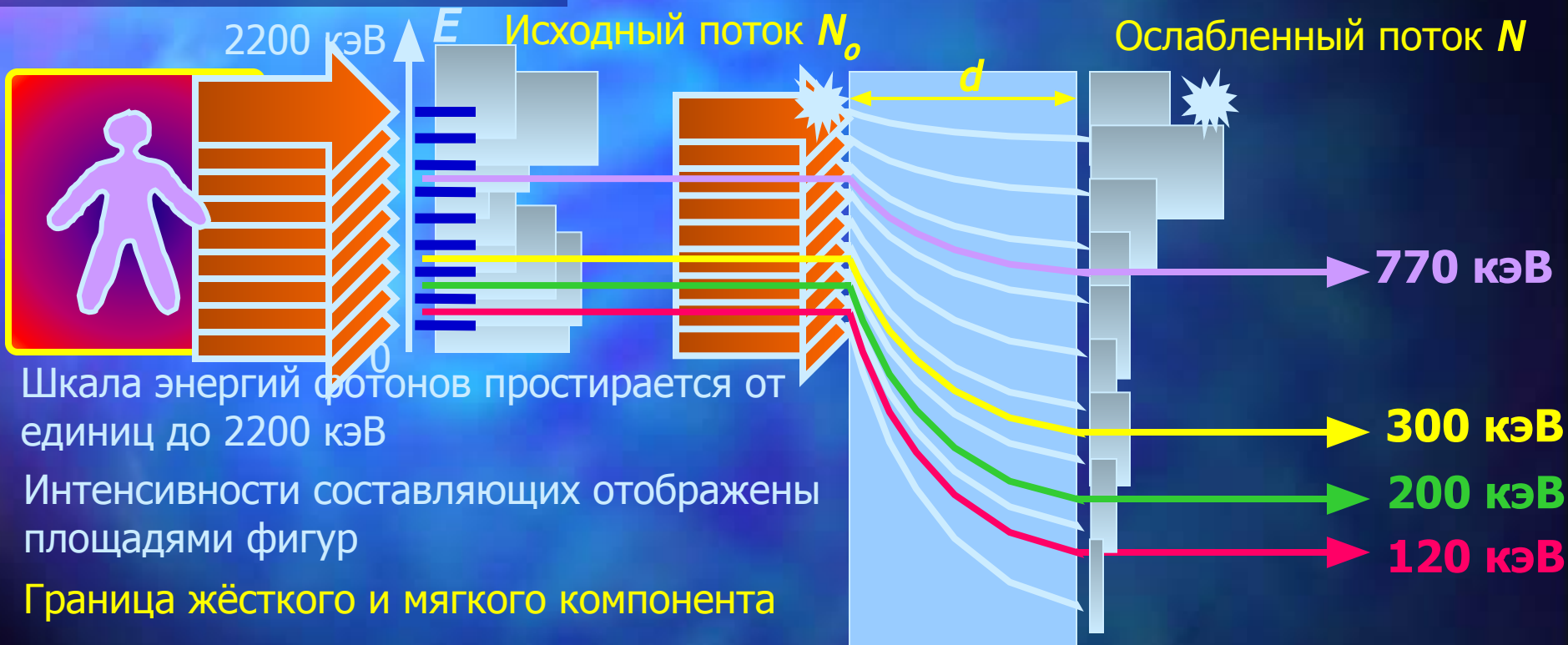
е в ИЯИ РАН,

Эффективная энергия жёсткого компонента (770 кэВ)

Эффективная энергия мягкого компонента (120 кэВ)

Структура излучения продуктов деления

Анализ п Ана Ана
Определение эффективных энергий для расчётов в двухкомпонентном приближении



Шкала энергий фотонов простирается от единиц до 2200 кэВ

Интенсивности составляющих отображены площадями фигур

Граница жёсткого и мягкого компонента

Эффективная энергия жёсткого компонента

Эффективная энергия мягкого компонента

Эффективная энергия для оценки экспозиционной дозы

Композиционный материал, содержащий свинец¹⁰

Классификация излучений смеси продуктов деления

По составу

По воздействию

Фотоны с энергией свыше 300 кэВ – первичное гамма-излучение

0,7%

Поражает все органы, ткани организма, особо тяжело – гонады, органы кроветворения, толстый кишечник, лёгкие, желудок

Фотоны с энергией до 300 кэВ – мягкое гамма-излучение

29,7%

Характеристическое излучение

9%

Вторичное излучение, формируемое в среде рассеянии назад

8,9%

Тормозное излучение электронов бета-распада

1,7%

Бета излучение

%

Такие же поражения

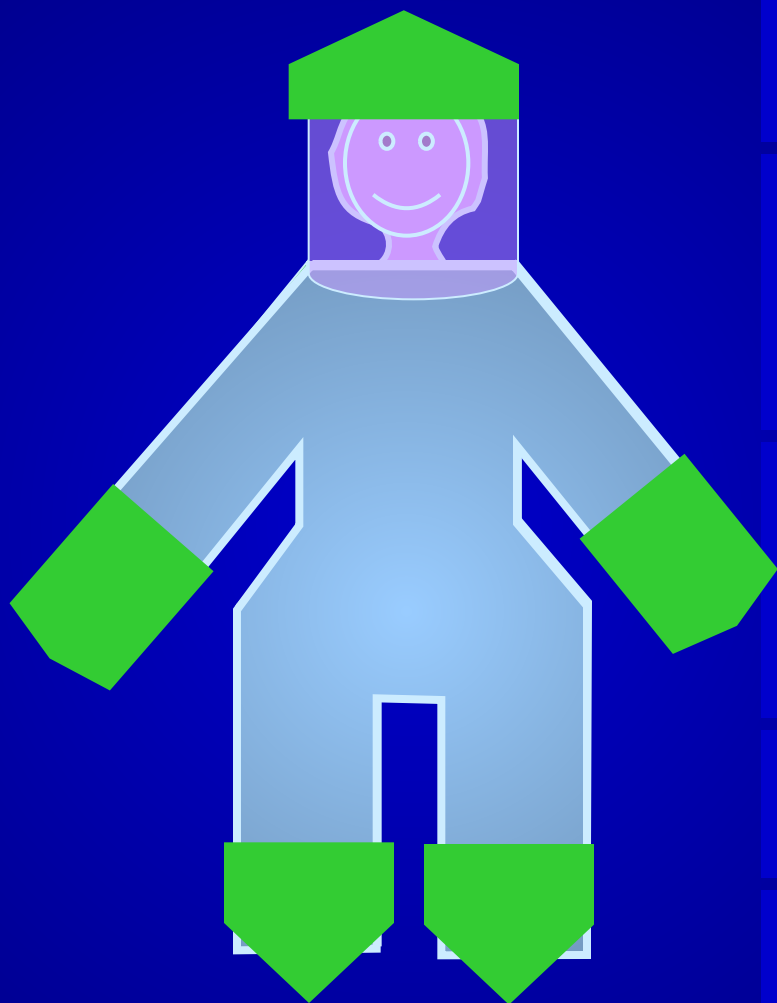
Радиационный ожог

Жёсткий КОМПОНЕНТ,
ограничивается защитой временем

Мягкий КОМПОНЕНТ,
составляет не менее 49,3% всего фотонного излучения

Полностью экранируется

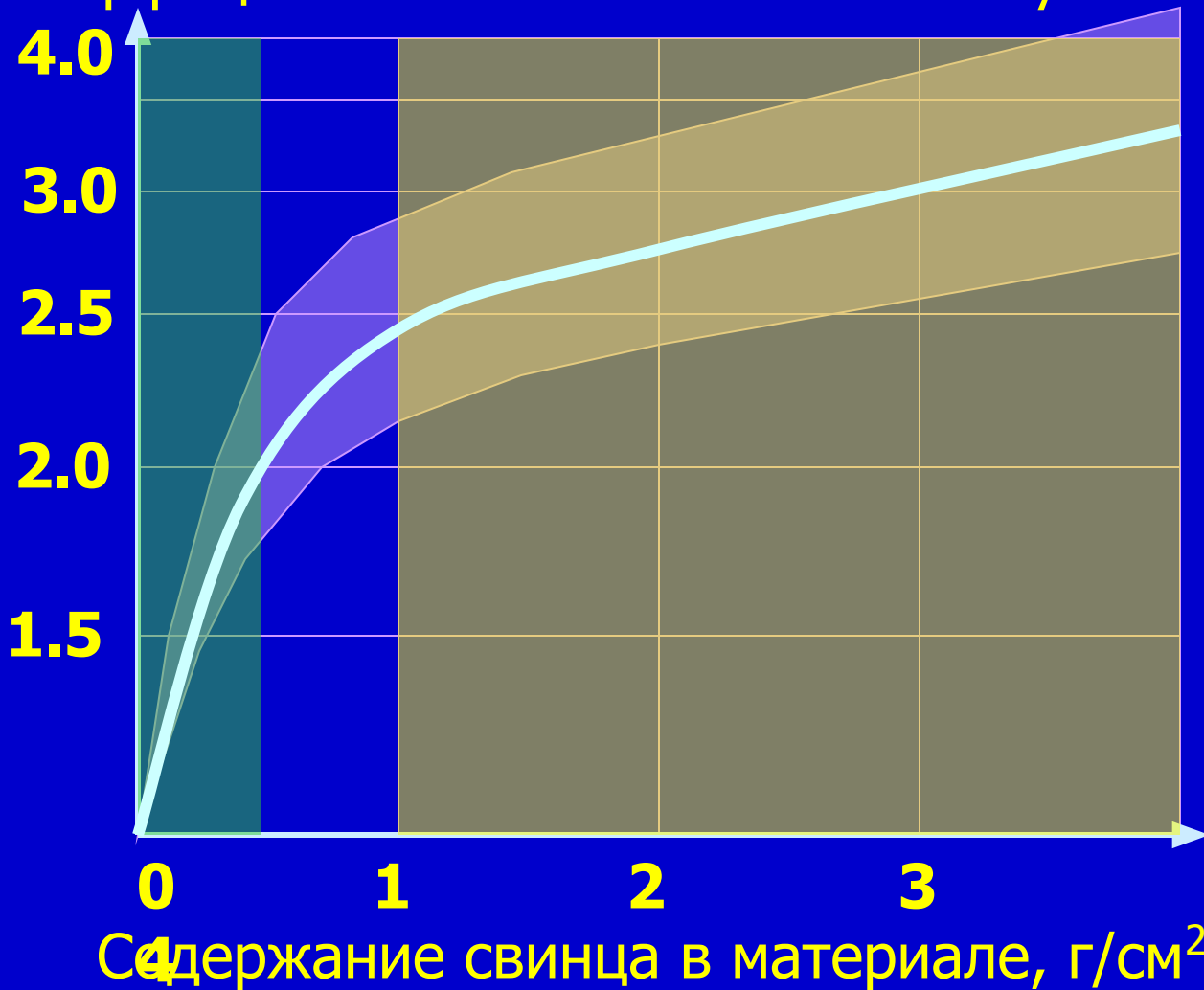
Концепция парциальной индивидуальной защиты от сочетанного облучения



1. Предотвращение радиационного ожога, вызываемого бета- и мягким фотонным излучением.
2. Ослабление воздействия фотонного излучения на гонады и кроветворные органы, понижение дозовой нагрузки от мягкого компонента в 2 – 6 раз.
3. Исключение загрязнения поверхности тела и внутренних органов радиоактивными аэрозолями, газами и пылью.
4. Уменьшение риска комбинированных радиационно-термических поражений.
5. Понижение вероятности ранений, заживление которых затруднено при угнетённом кроветворении.

Ослабление аварийного излучения защитным материалом (1)

Коэффициент ослабления гамма-излучения



1. На графике
2. до 0.5 г/см²
3. Делится на
4. Угол кривой
5. Начальный, крутой, участок соответствует данным о высоком ослаблении мягкого компонента с эффективной энергией 120 кэВ, а пологий участок — о низком ослаблении жёсткого компонента с эффективной энергией 770 кэВ.

Экспериментальные исследования свинцоводержащих композиционных материалов

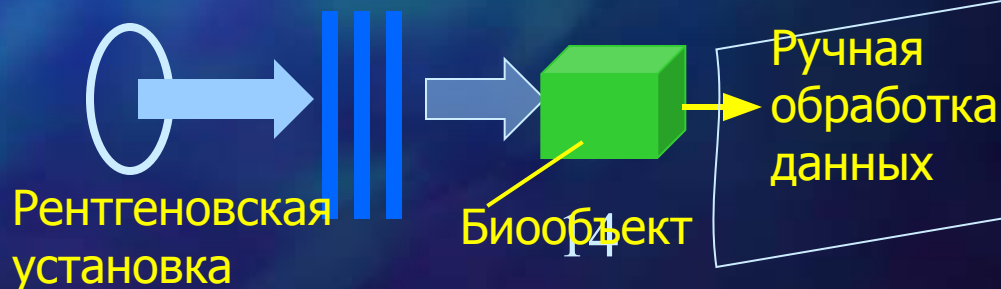
Натурные испытания
материалов в районе
Чернобыльской АЭС



Лабораторные испытания
методом гамма-спектрометрии



Лабораторные испытания
методом биодозиметрии



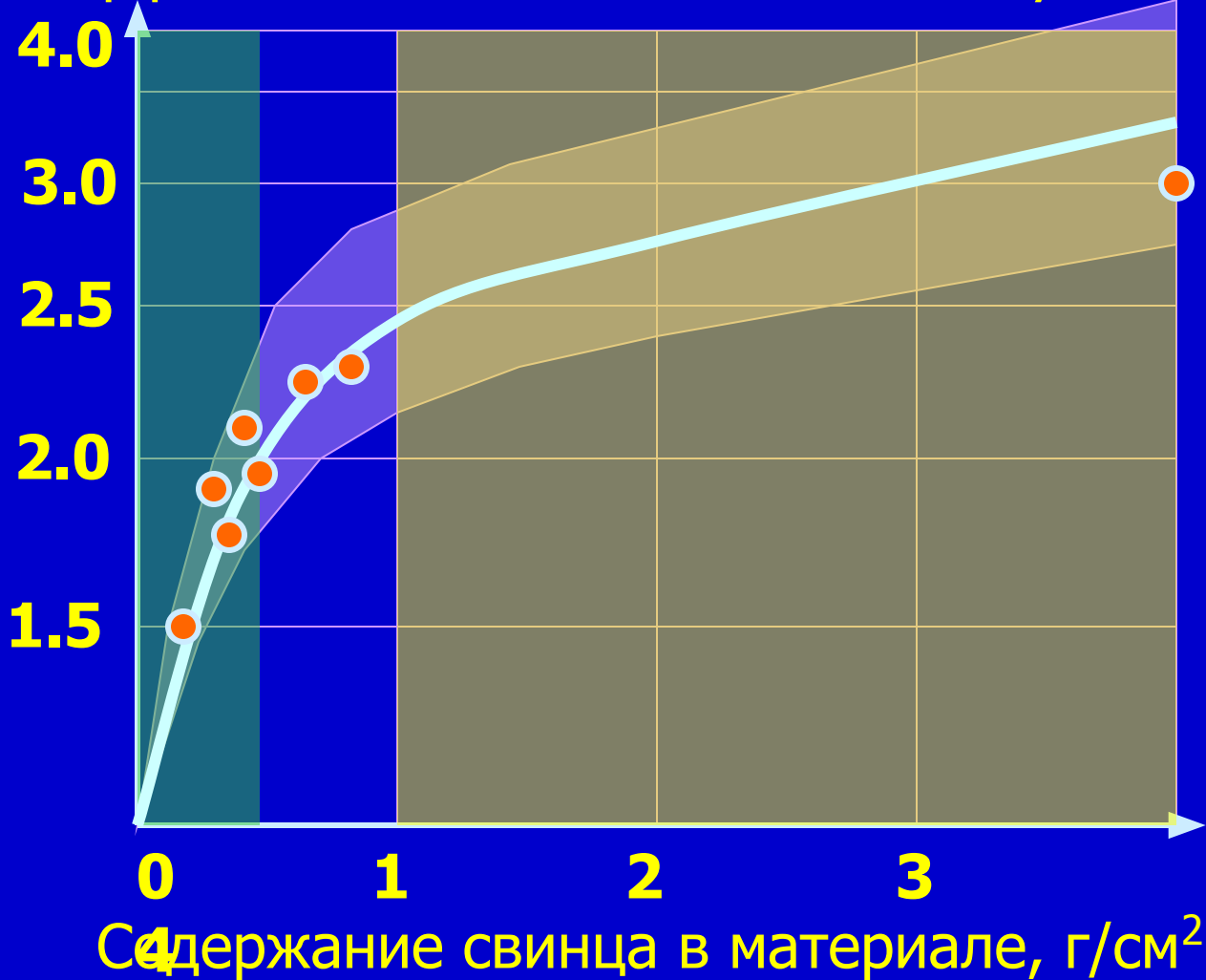
6. Представленный

7. Точки

8. Представленные данные занимают существенное место в проведённых исследованиях. На их основе обосновано сбалансированное соотношение массы и эффективности радиационно-защитных свойств костюма нового типа.

Ослабление аварийного излучения защитным материалом (2)

Коэффициент ослабления гамма-излучения



При общей поверхностной плотности композиционного материала 1 г/см^2 и содержания свинца $0,5 \text{ г/см}^2$ вес костюма составит около 20 кг. Такая одежда в условиях радиоактивного загрязнения типа чернобыльского предотвращает лучевой ожог, снижает дозу проникающего облучения примерно в два раза, а степень поражения снижает на единицу. При аварийном неконтролируемом повышенном облучении эта одежда может оказаться единственным средством спасения жизни людей. Новая концепция защиты от излучений, характерных для ядерной аварии, была впервые реализована при создании специальной защитной одежды типа СЗО-1, предназначенной для пожарных, охраняющих АЭС.



Внешний вид СЗО-1



Фрагменты СЗО-1 : подшлемник и верхняя часть комбинезона

Контроль радиационно-защитных свойств (РЗС)

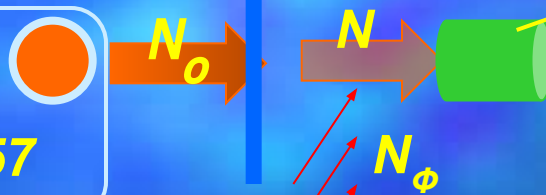
В ИЯИ для промышленности разработан способ контроля нового для отрасли качества продукции – радиационно-защитных свойств. Для оценки РЗС материалов и изделий установлен параметр – коэффициент ослабления потока моноэнергетического гамма-излучения изотопа кобальт-57 с энергией 122 кэВ (k_{122}).

Ослабленный поток Детектор

Исходный поток

гамма-излучения

Изотоп
кобальт-57



Образцовый спектрометрический
гамма-источник (ОСГИ)

$$k_{122} = N_0 / N \text{ – в общем виде}$$

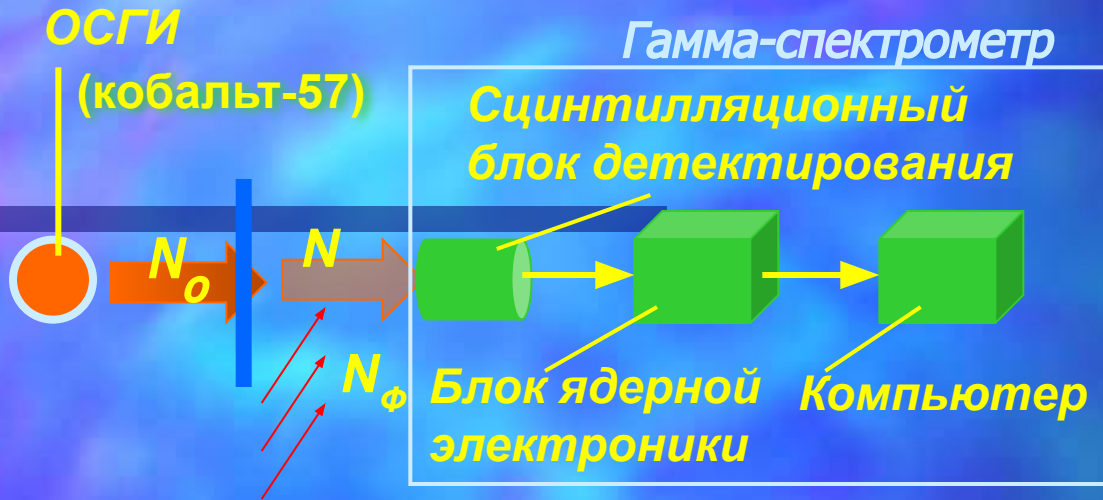
$$k_{122} = (N_0 - N_\phi) / (N - N_\phi) \text{ – формула для практического применения}$$

Разработанный способ

В данных условиях необходимо учитывать воздействие на детектор гамма-квантов фона.

В формулу для вычисления коэффициента ослабления введён дополнительный параметр $-N_\phi$.

Измерения с помощью гамма-спектрометра

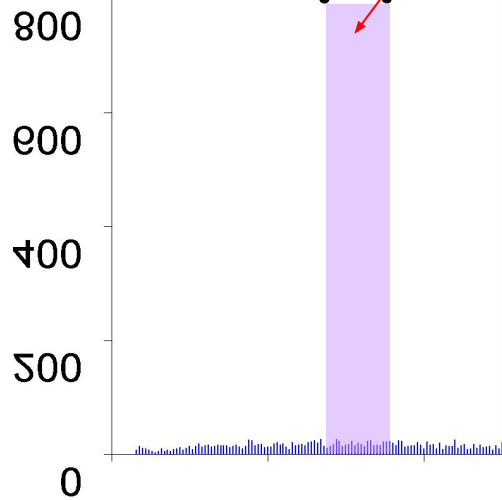


5. Конечным результатом измерений служит сумма содержимого каналов в зоне интереса. Зона интереса устанавливается симметрично относительно вершины пика с границами на уровне полувысоты пика.

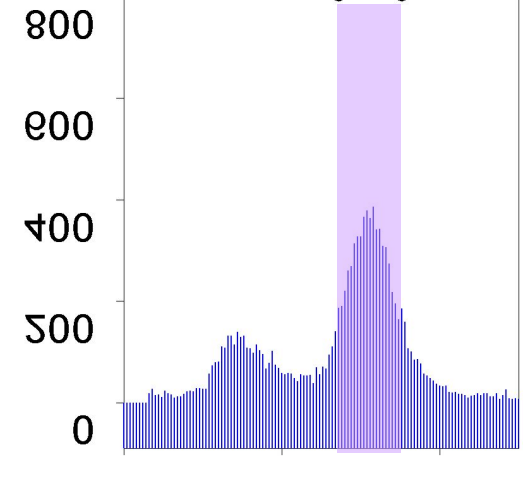
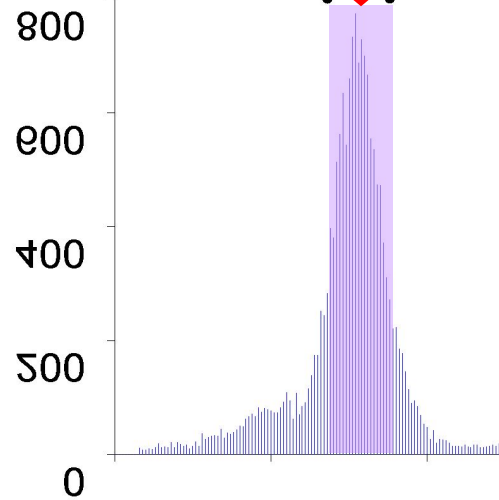
Зона интереса (ΔE)

122 кэВ

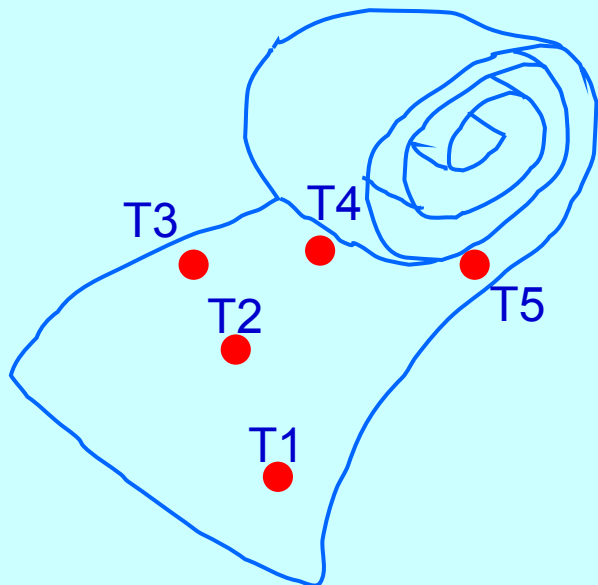
Число гамма-квантов



Номер канала

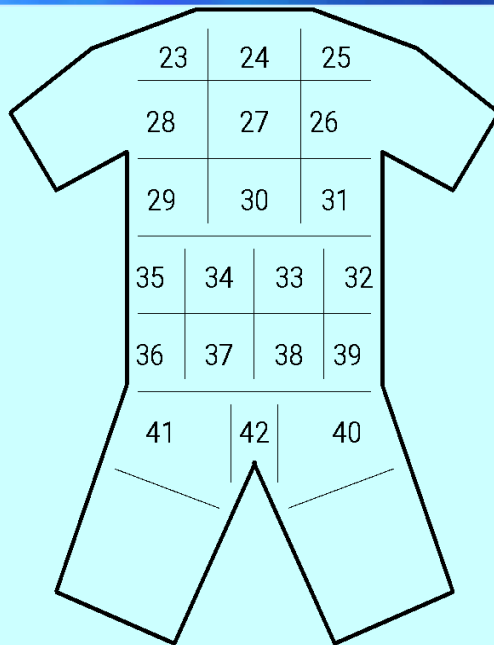
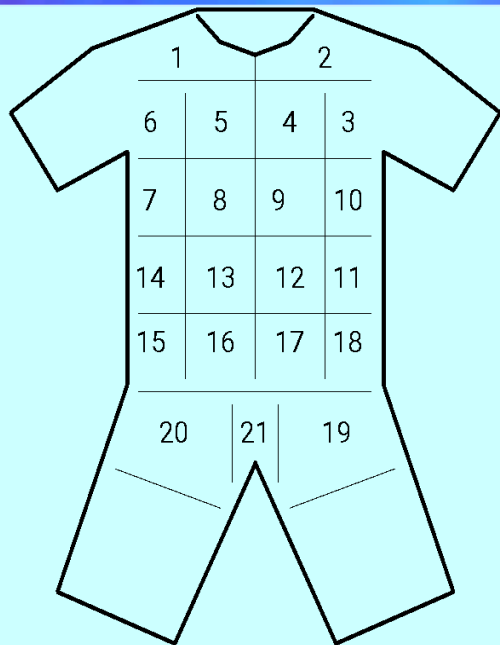


Объекты контроля



1. Входной контроль **исходного материала**, поступающего в виде полотна шириной около 1 м, длиной около 10 м, с содержанием свинца около $0,1 \text{ г/см}^2$, проводится согласно статистически обоснованному расчёту по 20 точкам.

2. Промежуточный контроль отдельных деталей костюма (**кроя**).

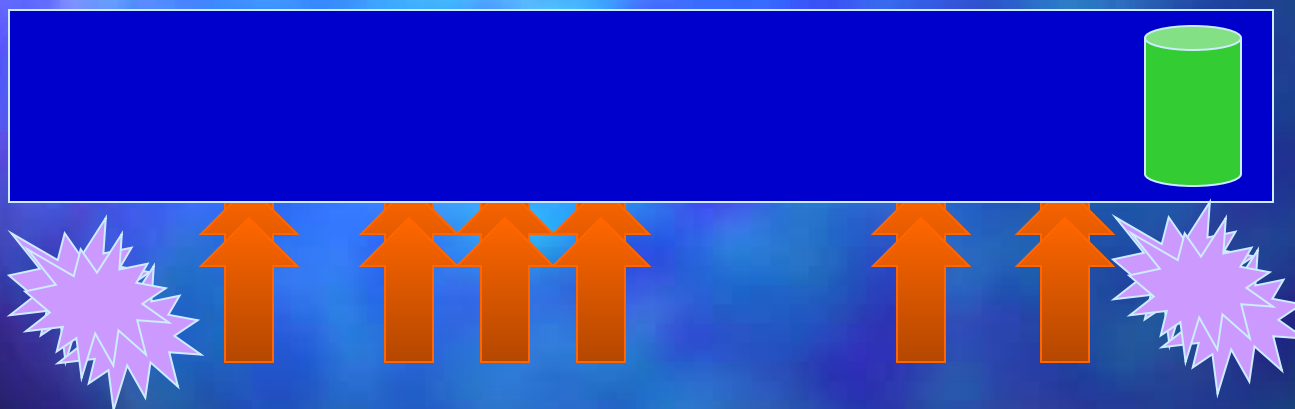


3. Сертификация **готовой продукции** сложной объёмной формы. Проверка производится в определённых точках в количестве около 40 штук. На проверку комплекта затрачивается около часа.

Прямые измерения параметров излучения, схема накопления данных

При работе спектрометра производится накопление пяти массивов данных

1 2 3 4 5. Измерение излучения фона, второе



Фон 1/1
Фон 1/2
Фон 1/3

Источник 1/1
Источник 1/2
Источник 1/3

Объект, точка 1/1
Объект, точка 1/2
Объект, точка 1/3

Объект, точка 2/1
Объект, точка 2/2
Объект, точка 2/3

Объект, точка 3/1
Объект, точка 3/2
Объект, точка 3/3

И так далее...

Объект, точка n/1
Объект, точка n/2
Объект, точка n/3

Источник 2/1
Источник 2/2
Источник 2/3

Фон 2/1
Фон 2/2
Фон 2/3

Косвенные измерения параметров материала, схема обработки массива первичных данных



Итог работы Института ядерных исследований – вклад в развитие нового производства

Формирование технологической цепочки...

Схема производства

Автоматизированный
контроль
радиационно-
защитных свойств

Рекомендации по
составу

Рекомендации по
конструкции
костюма

И
С
Х
О
Д
Н
Ь
М
А
Т
Е
Р
И
А
Л

Входной контроль

Крой

Промежуточный
контроль

Сборка

Сертификация

Готовая продукция



Развитие данного направления работ стало возможным при сотрудничестве ИЯИ РАН с ЦКБ Медицинского центра УД Президента РФ, ВНИИ противопожарной обороны, НИИ текстильных материалов, ОАО «ПТС», НИИ эластомерных материалов, Медицинской службой ВМФ и другими организациями.

В 2006 г. закончены разработка, испытания и внедрение в эксплуатацию нового средства индивидуальной защиты – радиационно-защитного комплекта **РЗК**.

КОНЕЦ

*Изготовлено в Лаборатории атомного ядра ИЯИ РАН
М.Н. Лифановым
при участии Б.А. Бенецкого.
Москва, 2006*