



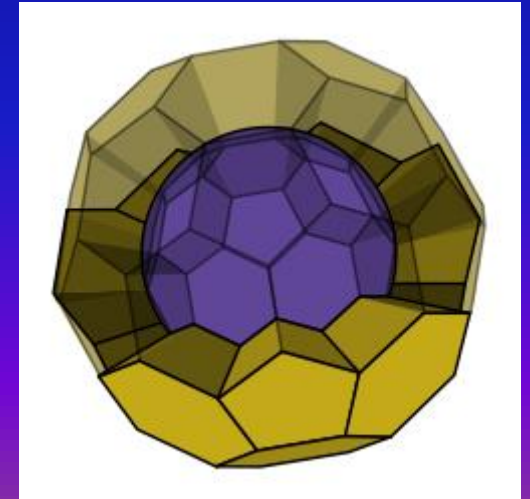
**Критические размеры и нейтронное
поле в реакторе с отражателем**

Введение

Идеальная модель реактора – гомогенная размножающая среда конечных размеров цилиндрической формы, находящаяся в вакууме.

Такая конструкция не препятствует утечке тепловых нейтронов.

Необходимо создать условия, сохраняющие тепловые нейтроны внутри активной зоны – ввести *отражатель*.



Отражатель теплового реактора

Отражатель реактора - окружающая активную зону среда, которая в силу своих замедляющих свойств позволяет:

- уменьшить утечку тепловых нейтронов из активной зоны
- уменьшить критические размеры активной зоны
- выровнять поле тепловых нейтронов в активной зоне

Требования к материалу отражателя:

- большое значение замедляющей способности ($\xi\Sigma_s$);
- низкое значение макроскопического сечения поглощения замедляющихся и тепловых нейтронов (Σ_a);
- технологичность;
- доступность и низкая цена.

Механизм действия отражателя

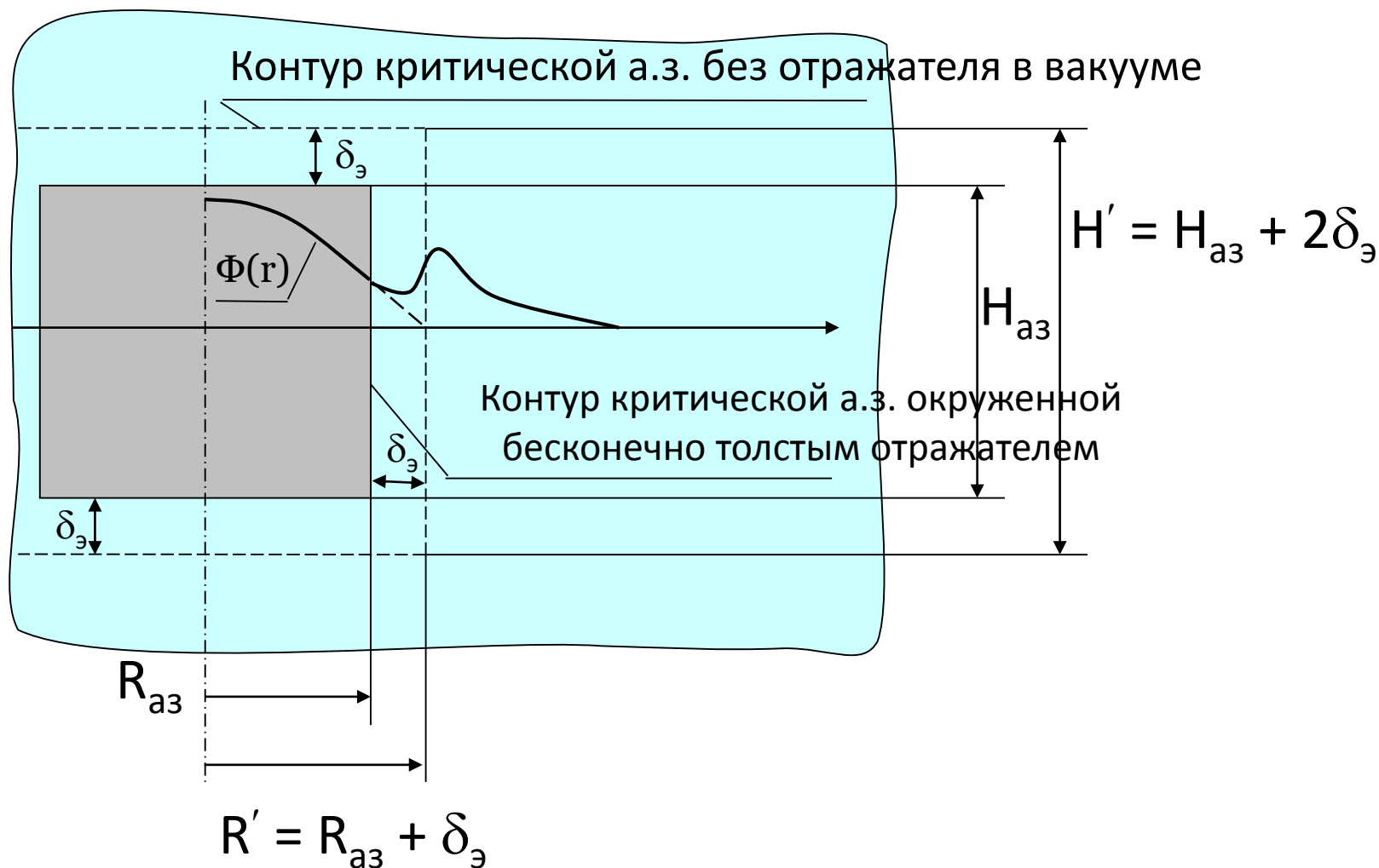
Гомогенная цилиндрическая активная зона определённого состава в вакууме характеризуется критическими размерами.

Из этой активной зоны в вакуум происходит утечка тепловых и эпитепловых нейтронов: эпитепловых - в большей степени, тепловых - в меньшей, поскольку вещества активной зоны обладают большими величинами сечений поглощения тепловых нейтронов; эпитепловые нейтроны обладают большими скоростями, чем тепловые.

Поместим эту активную зону в бесконечный отражатель.

Вблизи границ активной зоны идёт интенсивный процесс замедления эпитепловых нейтронов, обеспечивающий накопление тепловых нейтронов. Наблюдается «всплеск» плотности потока тепловых нейтронов, обеспечивающий диффузию нейтронов в сторону активной зоны.

Схема критического реактора с отражателем



Действие отражателя

Диффундирующие в отражателе к границе активной зоны тепловые нейтроны добавляются к тепловым нейтронам, которые покинули активную зону, увеличивают значение плотности тепловых нейтронов в отражателе, в области непосредственной близости к активной зоне (включая и границу).

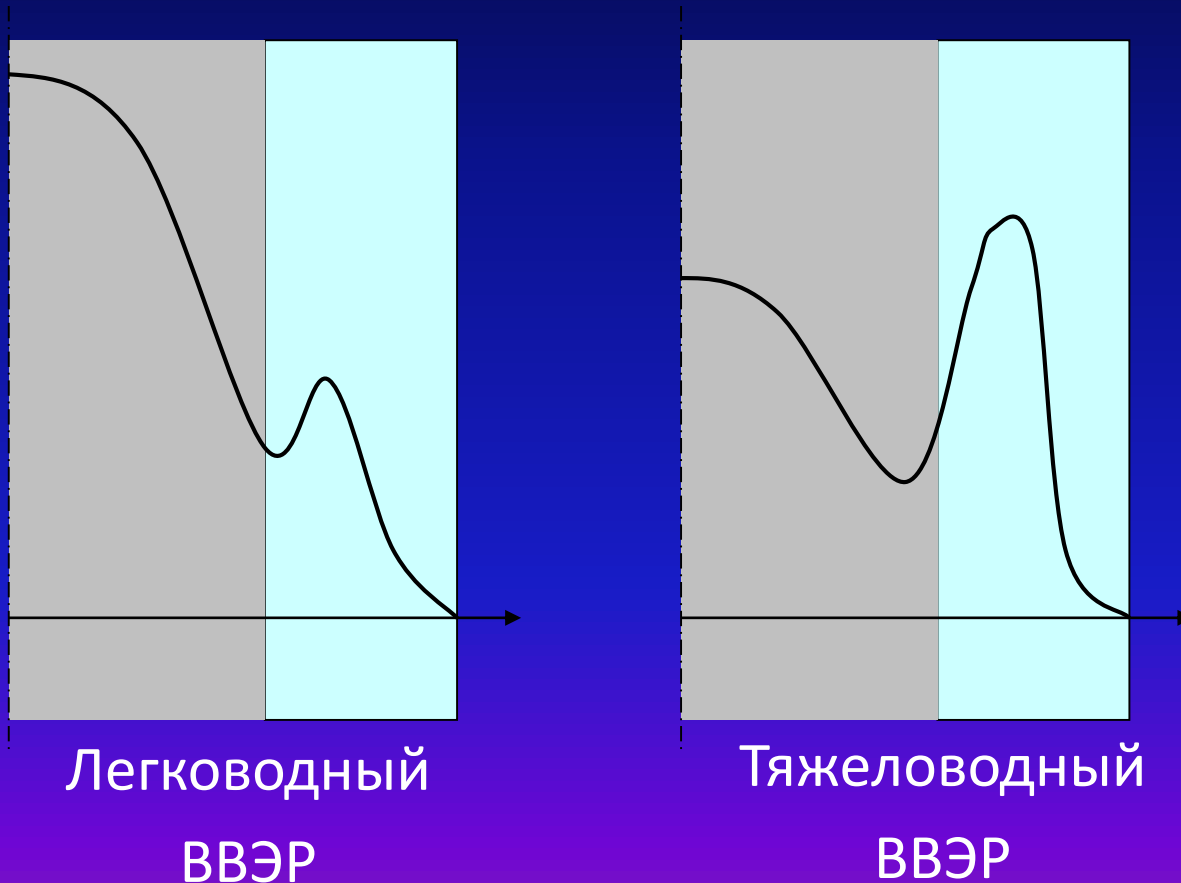
Это уменьшает градиент плотности потока тепловых нейтронов на границе активной зоны, увеличивает значение эффективного коэффициента размножения.

Если активная зона в вакууме была критичной, то после введения отражателя она становится надкритичной.

Чтобы сделать её опять критичной, не меняя состава, необходимо уменьшать её размеры, пока она вновь не возвратится в критическое состояние.

Действие отражателя

Отражатель теплового реактора работает как накопитель тепловых нейтронов для создания барьера, препятствующего их утечке в силу закона диффузии тепловых нейтронов.



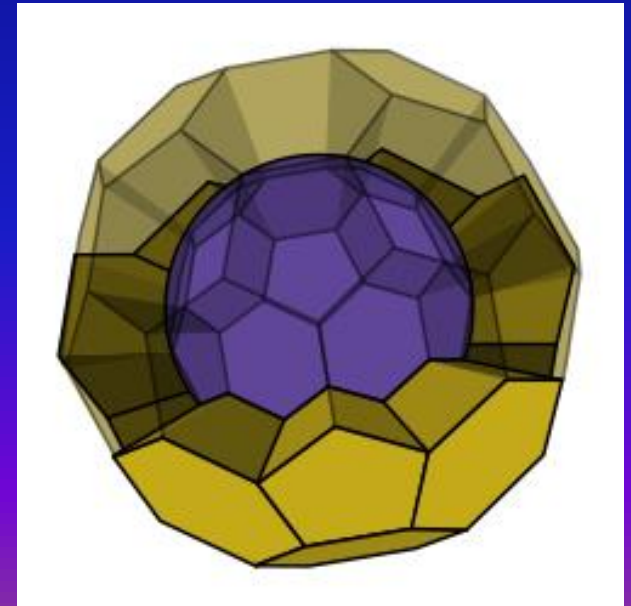
Радиальные
распределения
плотности потока
тепловых нейтронов

Действие отражателя: выводы

Окружение активной зоны реактора отражателем даёт возможность:

- уменьшить критические размеры активной зоны;
- выровнять поле тепловых нейтронов в объеме активной зоны;
- добиться экономии ядерного топлива и конструкционных материалов.

Намного ли отражатель уменьшает критические размеры активной зоны?



Эффективная добавка

Эффективная добавка - разница критических полуразмеров активной зоны, получаемая за счёт применения отражателя:

$$\delta_{\text{э}} = H'/2 - H_{\text{аз}}/2 = R' - R_{\text{аз}}$$

Найдя величину $\delta_{\text{э}}$, можно ответить на вопрос о выигрыше в компактности активной зоны, получаемом за счёт применения отражателя.

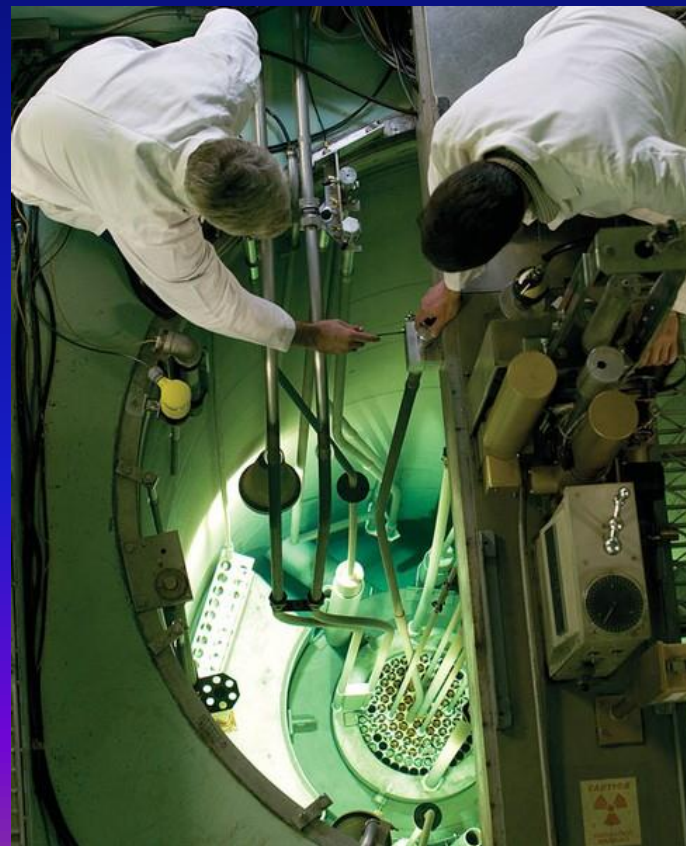
Эффективность действия отражателя зависит от толщины отражателя (P_o). В диффузионно-возрастном приближении:

$$P_{\text{эф}} \approx 1.5M_{\text{аз}} = \sqrt{L_{\text{аз}}^2 + \tau_{\text{аз}}}$$

Толщина отражателя

Эффективная толщина отражателя из заданного материала - толщина, при которой отражатель по своим свойствам практически идентичен бесконечно толстому отражателю из этого материала.

- Для ВВЭР
водяной отражатель: $10 \div 11$ см
- Для РБМК
графитовый отражатель: 94 см



Конструкционные особенности

Материалом отражателя является материал замедлителя.

В ВВЭР водно-стальной: кольцевые слои воды вокруг активной зоны чередуются с кольцевыми слоями нержавеющей стали.

Применение стальных слоев в экранной сборке ВВЭР обусловлено необходимостью защиты от гамма-излучения.



Показатели неравномерности нейтронного поля

Коэффициент неравномерности распределения плотности потока тепловых нейтронов – отношение максимального к среднему значений плотности потока тепловых нейтронов по этой координате.

Коэффициенты неравномерности по координатам а.з.:

по радиусу (R), по высоте (H), по объему активной зоны (V).

Коэффициент неравномерности по радиусу активной зоны (k_R) - число, показывающее, во сколько раз максимальная по радиусу активной зоны величина плотности потока тепловых нейтронов больше среднерадиального её значения:

$$k_R = \frac{\Phi_{\max}(R)}{\overline{\Phi}(R)} \approx \frac{2.31}{1 + 2 \frac{\delta_3}{R_{az} + \delta_3}}$$

Показатели неравномерности нейтронного поля

Коэффициент неравномерности по высоте активной зоны (k_H) - число, показывающее, во сколько раз максимум плотности потока тепловых нейтронов в распределении по высоте активной зоны больше среднего её значения:

$$k_H = \frac{\Phi_{\max}(R)}{\overline{\Phi}(R)} \approx \frac{1.57}{1 + \frac{2\delta_3}{H_{az} + 2\delta_3}}$$

Объёмный коэффициент неравномерности поля тепловых нейтронов в активной зоне реактора - это отношение максимальной плотности потока тепловых нейтронов к среднему по объёму активной зоны значению плотности потока тепловых нейтронов:

$$k_v = k_R \cdot k_H = \frac{\Phi_{\max}(V)}{\frac{1}{V_{az}} \int_0^V \Phi(\vec{r}) d\vec{r}}$$

Методы снижения неравномерности

Мероприятия по уменьшению неравномерности распределения плотности потока тепловых нейтронов в реакторе направлены *на выравнивание числа актов деления ядер топлива* в объеме топлива данного реактора.

Распределение удельного тепловыделения по объему активной зоны определяется формулой:

$$q_V = \sum_{f5} \cdot \Phi_{тн} \cdot E_f = \sigma_{f5} \cdot N_5 \cdot \Phi_{тн} \cdot E_f$$

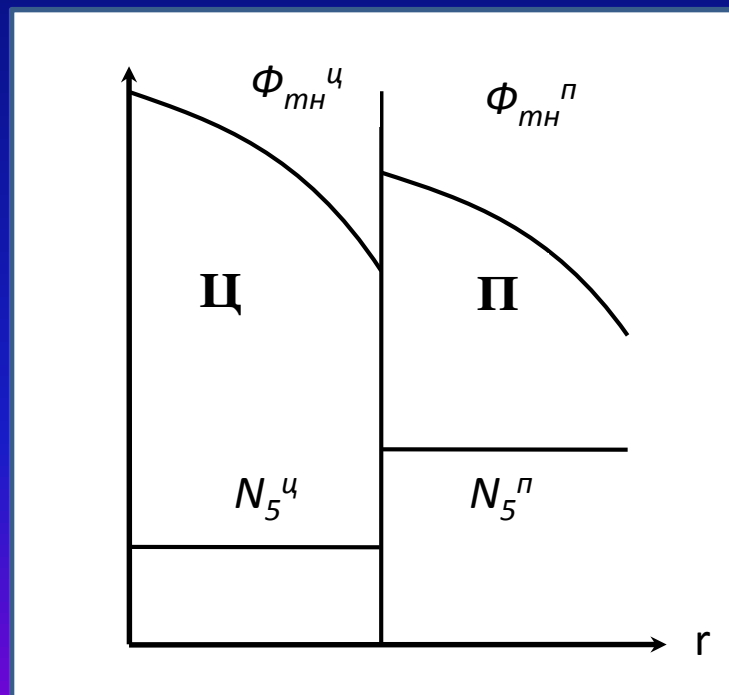
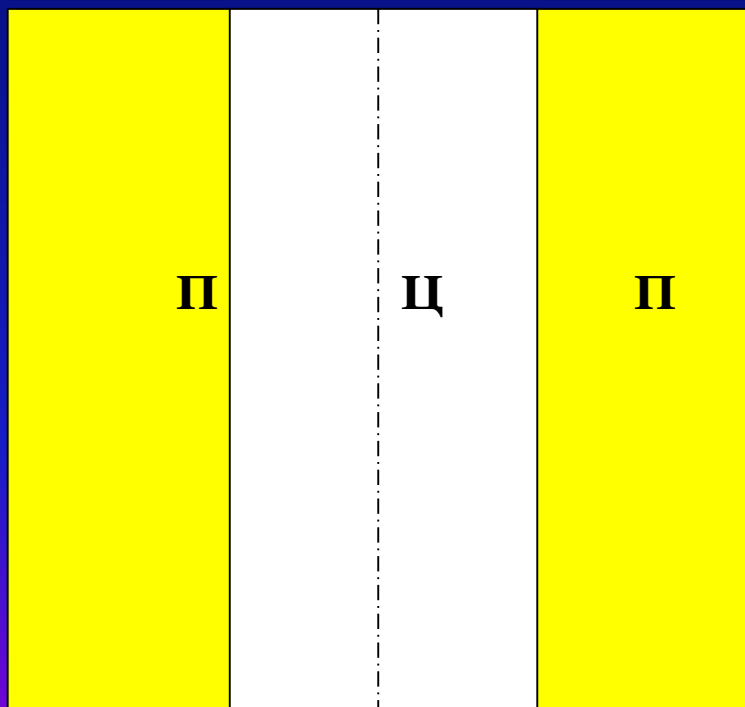
Выделение энергии в данной точке а.з. зависит от концентрации ядер ^{235}U и плотности потока тепловых нейтронов $\Phi_{тн}$ в данной точке а.з.

Следовательно, добиться требуемого выравнивания мощности можно, изменяя концентрацию ядерного топлива по объему реактора либо введением в а.з. поглотителя.

Вариация величиной обогащения ядерного топлива

Активная зона разбивается на зоны – центральную и периферийную кольцевую зону.

$$N_{Ц}^5 < N_{П}^5$$



Методы снижения неравномерности

Выравнивание нейтронного поля в реакторах АЭС достигается путём:

- Вариаций величиной обогащения ядерного топлива;
- Рационального размещения поглотителей в объёме активной зоны;
- Частичных и непрерывных перегрузок топлива.

Рациональное размещение поглотителей

Суть метода: в центральной части активной зоны размещается большее количество поглотителя по сравнению с периферией

Чем больше поглотителей находится в какой-то области объёма активной зоны, тем меньше плотность потока тепловых нейтронов в этой области.

Недостатки:

- Вариации количеством поглотителя дают выигрыш лишь на относительно небольшой период кампании активной зоны;
- Применение больших количеств поглотителя ухудшает размножающие свойства активной зоны (за счет уменьшения θ).

Продолжение следует...

