

дес. или сотен штук в отд. пакеты — тепловыделяющие сборки (ТВС).

Через активную зону прокачивается теплоноситель, к-рый омывает ТВЭЛы и уносит выделяющееся в них тепло. Наличие теплоносителя в активной зоне, а также большого кол-ва конструкц. материалов в условиях разветвлённой теплопередающей поверхности не препятствует протеканию цепной реакции. Это существенно облегчает техн. проблемы теплосъёма по сравнению, напр., с реакторами синтеза, где внесение посторонних веществ в зону протекания ядерной реакции недопустимо.

Для выработки электроэнергии в АЭС применяются турбогенераторы. В одноконтурных (т. н. кипящих) Я. р. при прокачивании водяного теплоносителя через активную зону образуется слабордиоактивный пар, к-рый затем поступает на турбину. Для того чтобы ограничить возможность распространения радиоактивности, используется двухконтурная система теплопередачи. В ней теплоноситель, циркулируя по замкнутому первичному контуру, отдаёт тепло для выработки пара во вторичный нерадиоактивный контур. В реакторах с жидкометаллич. натриевым теплоносителем для большей гарантии безопасности применяется трёхконтурная система теплопередачи. Плотн. тепловыделения в энергетич. Я. р. достигает сотен кВт на литр активной зоны.

В состав активной зоны многих Я. р. входит замедлитель — вещество с малым атомным весом, к-рое служит для снижения первонач. энергии нейтронов деления (быстрых нейтронов) за счёт их упругого рассеяния. В результате многократных соударений с ядрами замедлителя нейтроны теряют свою энергию, пока не войдут в тепловое равновесие со средой. Энергетич. распределение таких нейтронов (т. н. тепловых) близко к максвелловскому с максимумом при комнатной темп-ре ок. 0,025 эВ. В активной зоне Я. р. размещаются также подвижные стержни или кассеты с интенсивно поглощающим нейтроны веществом (В, Cd, Eu), предназначенные для регулирования цепной реакции деления.

Активная зона окружена отражателем, снижающим утечку нейтронов наружу и соответственно позволяющим уменьшить величину критич. массы. Материал отражателя обычно тот же самый замедлитель. В случае *реактора-размножителя* в отражателе помещается обеднённый или природный уран и, как и в активной зоне, происходит накопление  $^{239}\text{Pu}$ .

Вокруг отражателя размещается радиац. биол. защита, состоящая из бетона и др. материалов, предназначенная для снижения интенсивности ядерного излучения снаружи до допустимого уровня. Радиоакт. первичный контур теплоносителя также размещается внутри бетонной защиты.

По спектру нейтронов Я. р. подразделяются на быстрые (без замедлителя), в к-рых деление происходит на быстрых нейтронах (со ср. энергией порядка сотен кэВ); тепловые (с достаточным кол-вом замедлителя), в к-рых деление ядер происходит на тепловых нейтронах; промежуточные (с относительно небольшим кол-вом замедлителя), в к-рых деление осуществляется на частично замедленных нейтронах — промежуточных или резонансных. По виду используемого ядерного горючего Я. р. подразделяются на урановые и плутониевые; по виду замедлителя — на водяные (обычная вода), тяжеловодные, графитовые; по виду теплоносителя — на водяные, натриевые (жидкий натрий), газовые (углекислый газ, гелий).

Абс. большинство существующих Я. р. — тепловые с урановым ядерным горючим, с водяными замедлителем и теплоносителем (вода-водяные Я. р.). В Я. р. с графитовым замедлителем для отвода тепла используется вода или газ (вода-графитовые и газо-графитовые Я. р.). Обычно топливо физически отделено от замедлителя, образуя гетерогенную структуру активной зоны (рис. 2). В отдельных experim. Я. р. может отсутствовать теплоноситель (критич. сборка, или реактор нулевой мощности), отражатель (голый Я. р.). В гомогенных Я. р. вет ТВЭЛов и ядерное горючее используется в смеси с замедлителем или теплоносителем в виде раствора или

суспензии. Особую группу составляют исследовательские *импульсные реакторы*, в к-рых создаются периодические или одиночные нейтронные вспышки. Часто понятие Я. р. распространяется на весь реакторный блок, включающий в себя непосредственно сам реактор, а также все обслуживающие его системы (управления, теплопередачи и др.).

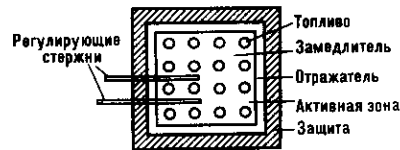


Рис. 2. Схематический разрез гетерогенного реактора.

**Взаимодействие нейтронов с материалами Я. р.** Осн. процессы, протекающие в активной зоне Я. р.: деление ядер, радиац. захват, упругое и неупругое рассеяния нейтронов. При делении первичный нейтрон поглощается ядром, в результате образуются обычно два радиоактивных осколка и испускается в ср.  $\nu$  вторичных нейтронов и неск.  $\gamma$ -квантов. Значения  $\nu$  для осн. испытывающихся в реакторе деление изотопов приведены в табл. 1.

Табл. 1.

Изотоп	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{233}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
$\nu$	2,4	2,9	2,5	2,5	2,3

Величина  $\nu$  слабо растёт с ростом энергии нейтронов.

Энергетич. спектр нейтронов деления практически одинаков для всех изотопов и почти не зависит от энергии падающих нейтронов. Он простирается от 0 до примерно 10 МэВ и приближённо описывается ф-лой

$$f(E') \approx \text{sh} \sqrt{2E'} \exp(-E')$$

где  $E'$  — энергия нейтронов (в МэВ). Ср. энергия вылетающих нейтронов — 2 МэВ. Угл. распределение практически изотропно.

Небольшое кол-во нейтронов (т. н. запаздывающие нейтроны) испускаются после деления из возбуждённых ядер, образующихся при  $\beta$ -распаде осколков. Их интенсивность спадает экспоненциально со временем. Имеется 6 групп запаздывающих нейтронов со ср. временами запаздывания от десятых долей секунды до одной минуты. Доля всех запаздывающих нейтронов  $\beta$  по отношению к мгновенным нейтронам деления для разных изотопов представлена в табл. 2.

Табл. 2.

Изотоп	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{233}\text{U}$	$^{238}\text{U}$	$^{232}\text{Th}$
$\beta$ , %	0,7	0,23	0,3	1,9	2,2

Вероятность процесса деления, определяемая эфф. поперечным сечением ядра  $\sigma_f$ , существенно зависит от энергии падающего нейтрона  $E$ . На рис. 3 представлена соответствующая зависимость сечения для  $^{235}\text{U}$ . Нерегулярности слева определяются резонансным характером процесса поглощения нейтронов малой энергии. В ср. в этой области энергий сечение деления обратно пропорц. скорости нейтрона (закон  $1/v$ ). Зависимости  $\sigma_f(E)$  для изотопов  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{233}\text{U}$  имеют аналогичный вид. Ядра  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  не делятся тепловыми нейтронами. Эфф. пороги деления для них примерно одинаковы — ок. 1 МэВ (рис. 3). Значения  $\sigma_f$  в барнах при делении тепловыми и быстрыми нейтронами приведены в табл. 3.