

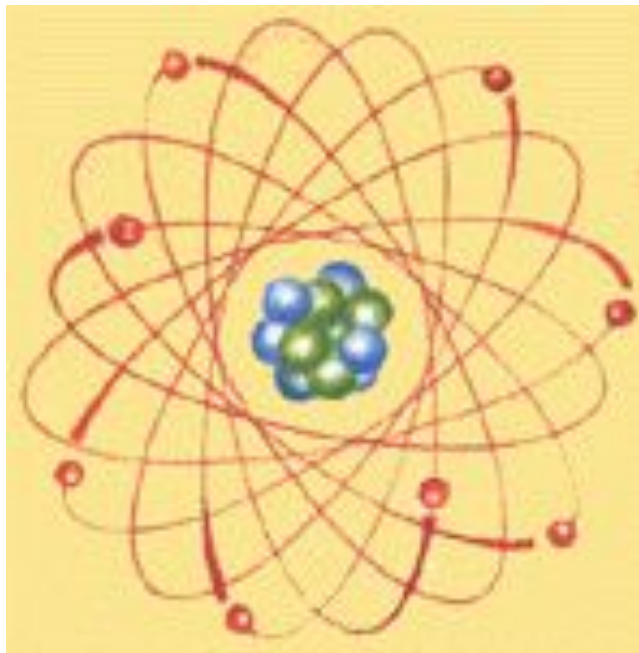
СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ

Молекулы - это наименьшие частицы вещества, сохраняющие все его физические свойства. В состав молекул входят **атомы** различных химических элементов.

Количество веществ, состоящих из атомов, ограничено периодической системой элементов (таблицей Менделеева). Химические элементы состоят из атомов одного типа.

Атом, мельчайшая частица химического элемента, состоит из положительно заряженного "тяжелого" **ядра** и вращающихся вокруг него **электронов**.

Планетарная модель атома



Если принять **массу ядра водорода за 1**, то масса электрона равна $1/1850$, т.е. в 1850 раз меньше. Почти вся масса сосредоточена в ядре.

В ядерной физике используется относительная единица измерения для заряда равная $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (кулон). Эта наименьшая порция заряда называется **элементарным зарядом (e)**. Тогда заряд электрона равен -1 (минус единица).

Ядра разных химических элементов отличаются **зарядом**.

Заряд ядра химического элемента соответствует его номеру в периодической таблице Менделеева.

ЯДРА

Ядра атомов образованы совокупностью **положительно заряженных протонов** и **нейтральных нейтронов**. Эти частицы называются также **нуклонами**.

Протон (p) - наименьшая устойчивая частица, имеющая положительный заряд, по абсолютной величине равный заряду электрона (плюс единица).

Нейтрон (n) - частица с массой приблизительно равной массе протона, не имеющая электрического заряда.

Частица	Масса, кг	Заряд, Кл (Электрон)
Протон (p ⁺)	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$+1,6 \cdot 10^{-19}(+1)$
Нейтрон (n)	$1,675 \cdot 10^{-27}$	0
Электрон (e ⁻)	$9,109 \cdot 10^{-31}$	$-1,6 \cdot 10^{-19} (-1)$

Ядро элемента X обозначают как ${}^A_Z X$, например, уран ${}^{235}_{92}U$, где

A - массовое число ядра (в атомных единицах массы), равное суммарному числу протонов и нейтронов ($1 \text{ а.е.м} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – одна двенадцатая массы изотопа углерода с массовым числом 12),

Z - заряд ядра, определяющий атомный номер ядра (равен числу протонов).

Поскольку Z определяет число протонов, а A - число нуклонов в ядре, то число нейтронов в атомном ядре $N=A - Z$.

ИЗОТОПЫ

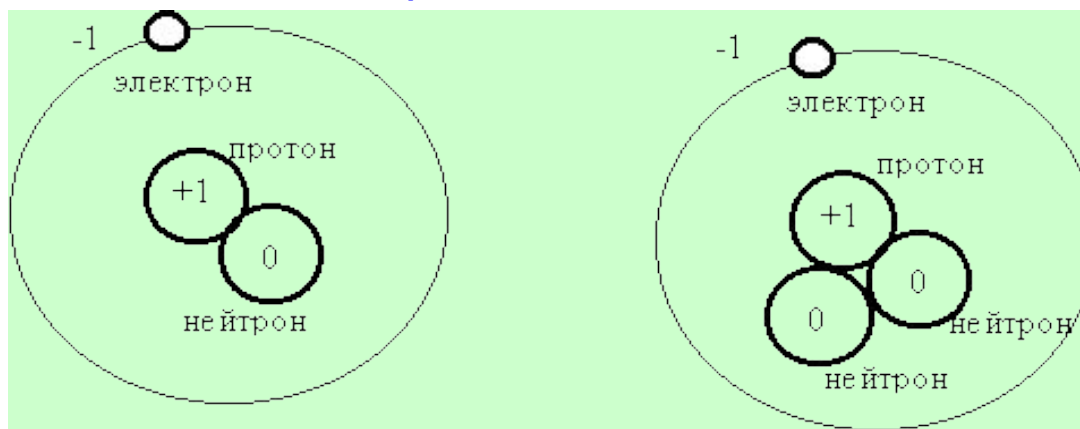
Изотопами химического элемента называются атомы, имеющие **одинаковый заряд ядра** (число протонов), но **разную массу** (число нейтронов).

Практически любой элемент имеет **несколько изотопов**. Кроме **стабильных изотопов**, большинство элементов имеют и **нестабильные изотопы**, для которых характерно ограниченное время жизни.

В природе уран встречается в виде двух изотопов с массами 238 а.е.м и 235 а.е.м. (^{238}U и ^{235}U). Причем доля последнего (^{235}U) составляет всего 0,714%, а именно этот изотоп является топливом для большинства современных энергетических реакторов.

Водород, ядро которого состоит из одного протона, имеет изотопы **дейтерий** и **тритий**, в ядрах которых имеются соответственно **один и два нейтрона**.

Атомы изотопов водорода



а) Дейтерий

б) Тритий

РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД

Явление радиоактивности, или спонтанного распада ядер некоторых веществ (уран, торий, радий и др.), - самопроизвольное (естественным образом) испускание энергии (в виде лучей или частиц) в окружающее пространство.

Радиоактивность - свойство испускать потоки заряженных альфа-, бета- и нейтральных гамма- частиц. **α -частицы** представляют собой ядра гелия, **β -частицы** - электроны, а **γ -частицы** - поток квантов света (электромагнитное излучение с очень малой длиной волны).

Атомное ядро, испускающее γ -кванты, α -, β - или другие частицы, называется **радиоактивным ядром**. В природе существует **272 стабильных атомных ядра**. Все остальные ядра радиоактивны и называются **радиоизотопами**.

Радиоактивный распад - это самопроизвольное превращение одного изотопа в другой (возможно даже в изотоп другого элемента) сопровождающийся сбросом энергии ядра в окружающие пространство в виде α - или β -частиц, нейтронов или γ -квантов.

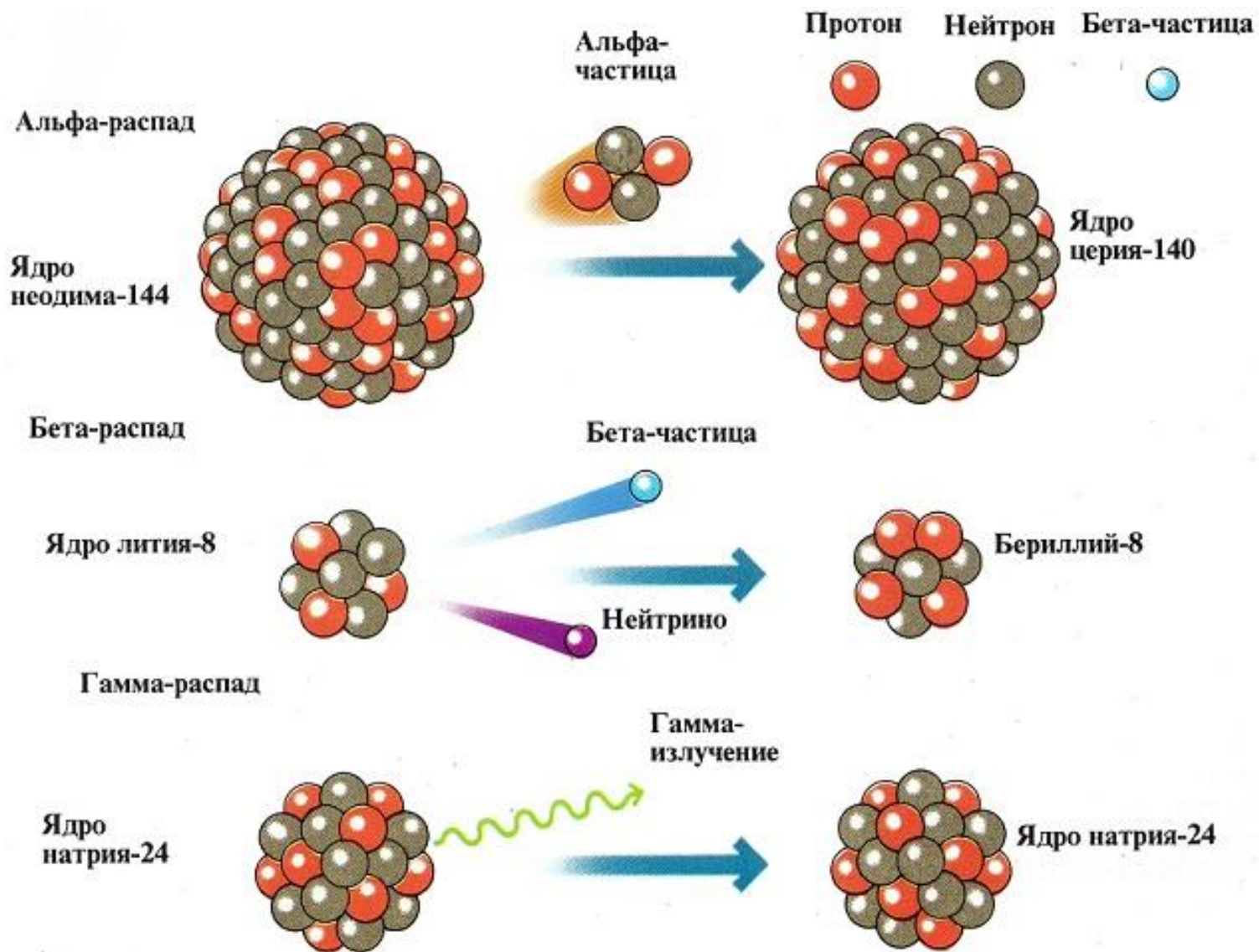
Виды радиоактивного распада

Все типы распада можно разделить на три группы:

- Подобные α -распаду. Это кластерный распад, протонная эмиссия, нейтронная эмиссия и другие. Во всех случаях происходит "откалывание" части нуклонов от ядра.
- Подобные β -распаду. Это β^- распад, β^+ распад, двойные β распады. В них распад происходит за счёт слабого взаимодействия.
- Подобные γ -распаду. Это γ -распад (изомерный переход) и внутренняя конверсия. Здесь происходит изомерный переход ядра с эмиссией фотона.

Название распада		Описание	Дочернее ядро	Эмиссия
Нуклонная эмиссия				
Альфа распад	α	От ядра отделяется α -частица - ядро атома гелия-4.	(A-4, Z-2)	${}^4\text{He}$
Протонная эмиссия	p	Отделяется 1-2 нуклона. Характерен для лёгких ядер с большим избытком протонов или нейтронов.	(A-1, Z-1)	p
Двойной протонный распад	2p		(A-2, Z-2)	2p
Нейтронная эмиссия	n		(A-1, Z)	n
Двойной нейтронный распад	2n		(A-4, Z)	2n
Кластерный распад	KL	Отделяется кластер - ядро тяжелее ${}^4\text{He}$, но намного легче дочернего ядра.	(A-A _x , Z-Z _x)	(A _x , Z _x)
Спонтанное деление	SF	Ядро делятся примерно пополам. Характерно для тяжёлых ядер (трансурановых)	2 (~A/2, ~Z/2)	2-5n
Различные β-распады				
Бета минус распад	β^-	Нейтрон распадается за счёт слабого вз. с испусканием электрона: $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$	(A, Z+1)	$e^-; \nu$
Бета плюс распад (позитронная эмиссия)	β^+	Обратный процесс. Протон распадается на Нейтрон: $p \rightarrow n + e^+ + \nu$	(A, Z-1)	$e^+; \nu$
Электронный захват	ϵ	Происходит захват электрона из электронной оболочки атома: $p + e^- \rightarrow n + \nu$	(A, Z-1)	ν
Бета минус распад с переходом в зп. оболочку ^(en)		Иногда электрону не хватает энергии выйти из атома, и он переходит в электронную оболочку атома.		
Двойной бета минус распад	$2\beta^-$	Происходит два распада нейтрона одновременно.	(A, Z+2)	$2e^-; 2\nu$
Двойной бета плюс распад	$2\beta^+$		(A, Z-2)	$2e^+; 2\nu$
Двойной электронный захват	2 ϵ	Происходит два распада протона одновременно. Каждый распад может быть либо позитронной эмиссией, либо электронным захватом.	(A, Z-2)	2 ν
Электронный захват с эмиссией позитрона	$\epsilon\beta^+$		(A, Z-2)	$e^+; 2\nu$
Без нейтринный двойной бета-распад	0 $\nu 2\beta$	Предполагаемый распад, в ходе которого две частицы нейтрино реагируют с самоуничтожением.	(A, Z+2)	$2e^-$
Изомерный переход				
Гамма-распад	γ	Ядро переходит из возбуждённого состояния в основное.	(A, Z)	γ
Внутренняя конверсия	IC	Испущенный γ -квант поглощается электроном из зп. оболочки атома. Он либо переходит на новый уровень, либо становится свободным (<i>конверсионный электрон</i>)	(A, Z)	e^-

ВИДЫ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

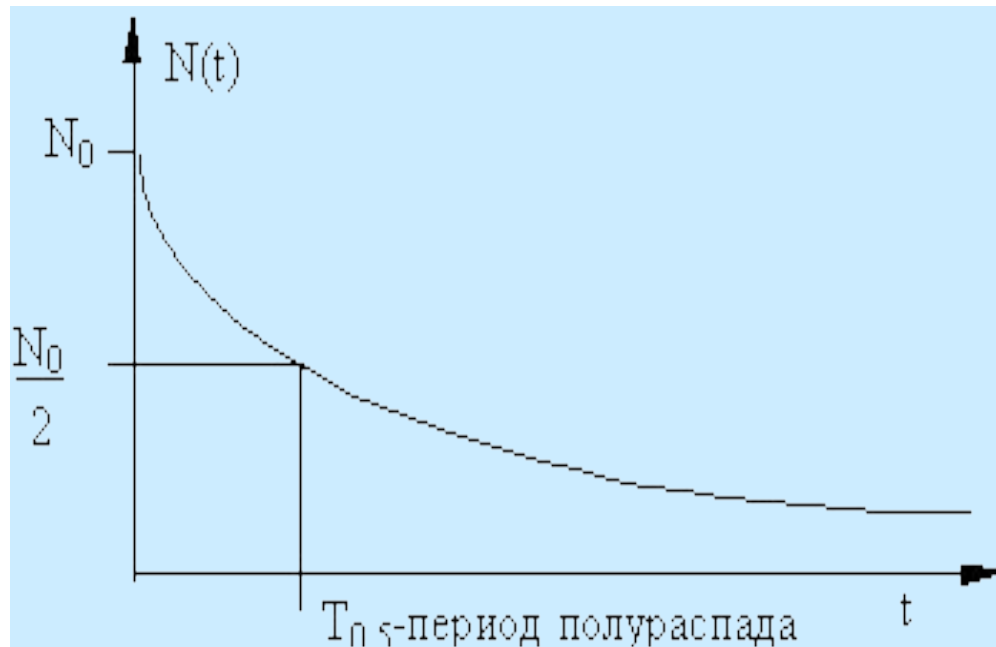


ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Каждый изотоп обладает своим значением постоянной радиоактивного распада. Если известно количество ядер изотопа в начальный момент времени N_0 и постоянная распада этих ядер λ , то для любого момента времени t можно определить количество ядер $N(t)$ по формуле:

$$N(t) = N_0 \times e^{-\lambda t}$$

Графически закон радиоактивного распада можно представить в виде графика, где по оси ординат отложено количество ядер $N(t)$, а по оси абсцисс – время t .



За характеристику радиоактивного распада принят так называемый **период полураспада** - время, в течение которого распадается половина исходного количества ядер.

Для каждого изотопа существует свое время полураспада. Период полураспада для одних изотопов составляет тысячные доли секунды, для других тысячи и миллиарды лет.

Интенсивность радиоактивного распада измеряется в единицах, называемых "беккерель" (Бк)

1 Бк = 1 распад/1 сек; 1 кюри = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк = 37 ГБк

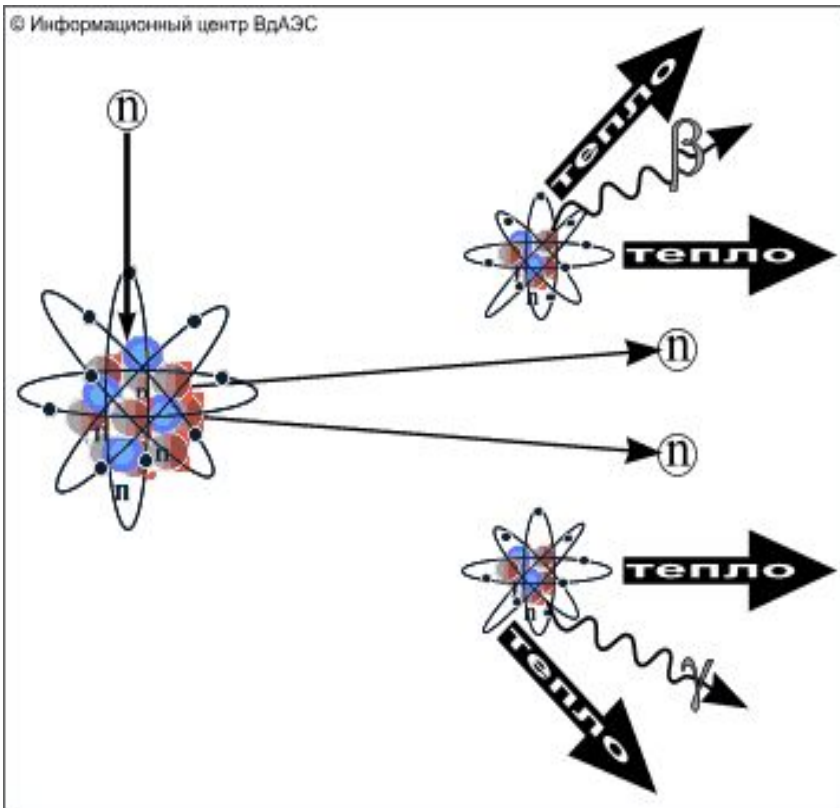
ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Естественный радиоактивный распад веществ ускорить нельзя. Его энергию невозможно использовать в практических целях из-за большой протяженности во времени.

Ядерная реакция (открыта в 1939 г.) - это процесс превращения ядер в результате их взаимодействия с элементарными частицами или с другими ядрами.

Основное отличие ядерных реакций от самопроизвольного радиоактивного распада заключается в участии в процессе кроме ядра еще и других частиц.

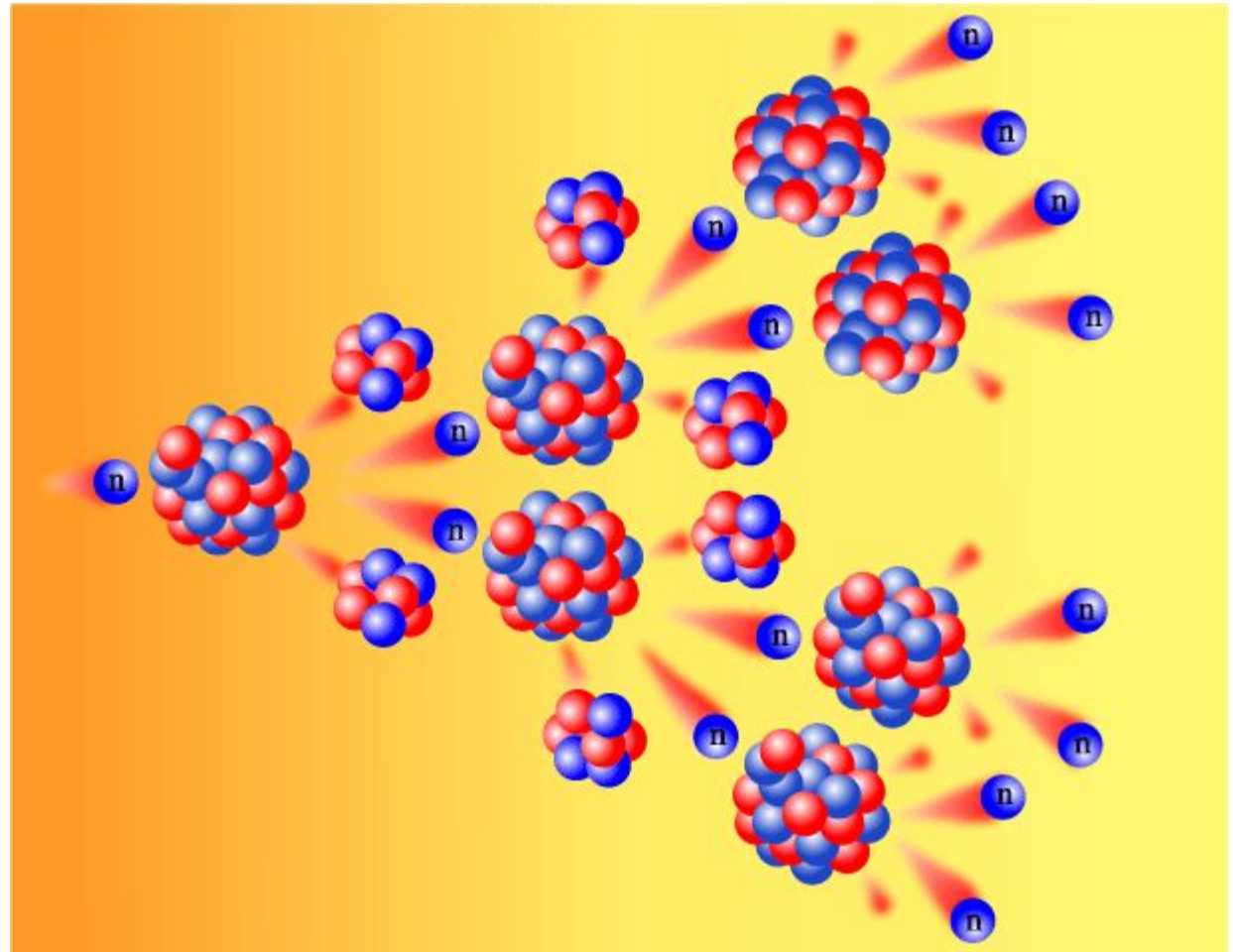
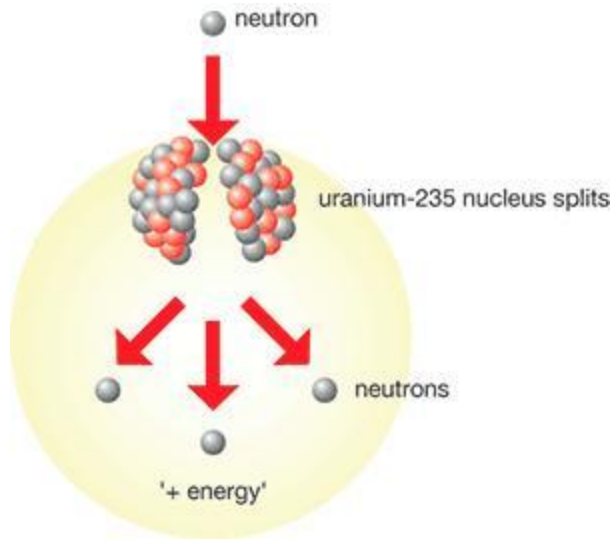
Реакции деление тяжелых ядер происходят при захвате нейтронов с образованием осколков деления (Kr-криптон, Cs-цезий, I-йод, Xe-ксенон, Ce-церий, Sr-стронций и др.).



При распаде ядра **потенциальная энергия** связи ядра преобразуется в **кинетическую энергию** разлетающихся осколков деления. При торможении осколков о соседние атомы возникает **тепловая энергия (тепло)** в **шесть миллионов раз** большая, чем при сгорании угля такой же массы. Осколки деления испускают гамма-кванты и бета-частицы (**сопутствующее радиоактивное излучение**).

Поглощение топливом и окружающими материалами гамма-излучения и бета-частиц также приводит к **выделению тепла**.

ЦЕПНАЯ РЕАКЦИЯ



ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ

Для реализации **самоподдерживающейся реакции деления** необходимо, чтобы хотя бы один из нейтронов, полученный в результате первого акта деления, вызвал второй акт деления.

Нейтроны, вызвавшие первые акты деления, называют **нейтронами первого поколения**, вторые – **нейтронами второго поколения**.

Реакции деления характеризуются **коэффициентом размножения $K_{эфф}$** , который представляет собой отношение количества нейтронов второго поколения к количеству нейтронов первого поколения:

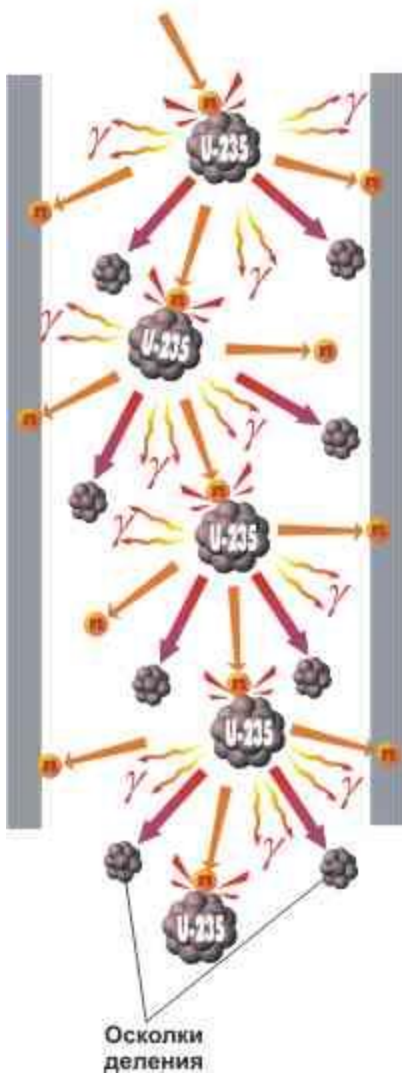
- при $K_{эфф} < 1$ реакция деления затухает.
- при $K_{эфф} = 1$ реакция деления происходит на постоянной мощности (нормальный режим работы реактора).
- при $K_{эфф} > 1$ реакция деления разгоняется (увеличение мощности)

Нейтроны, сталкивающиеся с ядрами, **обладают различной энергией**. В физике принята единица измерения энергии - мега электрон-вольт $1 \text{ МэВ} = 1\,000\,000 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$.

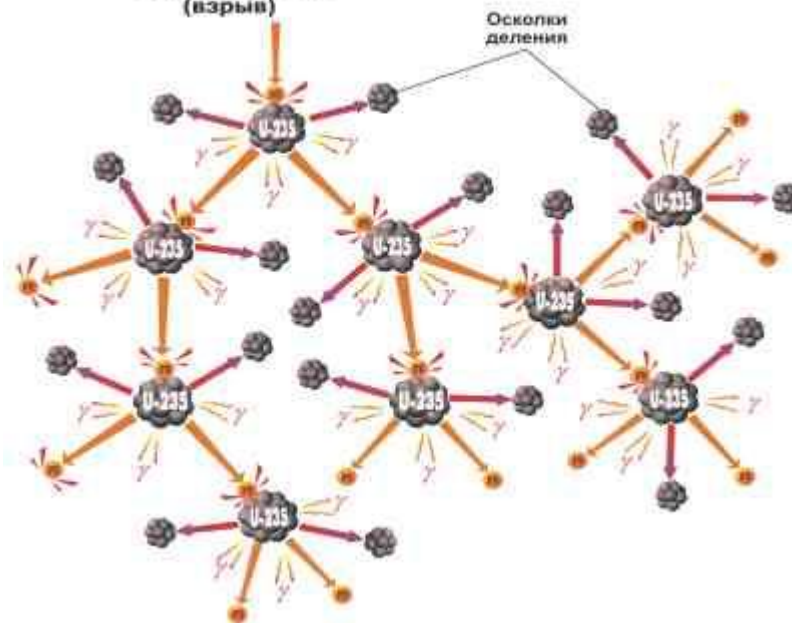
В зависимости от энергии принято делить нейтроны на группы:

- **тепловые нейтроны**, энергия движения которых соизмерима с энергией теплового движения среды $E < 0,5 \text{ эВ}$.
- **замедляющиеся нейтроны**, энергия которых лежит в диапазоне от $0,5 \text{ эВ}$ до 2000 эВ .
- **быстрые нейтроны** с энергией $E = 0,10 - 10 \text{ МэВ}$.

**Линейная
(управляемая)
реакция**



**Неуправляемая
цепная реакция
(взрыв)**



УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИЕЙ ДЕЛЕНИЯ

Необходимым условием для осуществления практической реализации цепной реакции деления, является наличие критической массы делящейся среды.

Критическая масса - минимальная масса делящейся среды, при которой в ней возможна самоподдерживающаяся цепная реакция деления.

Критические размеры - минимальные размеры делящейся среды, при которых в ней возможна самоподдерживающаяся цепная реакция деления.

Однако наличие критической массы не является единственным условием. Получив критическую массу делящегося вещества, можно получить атомную бомбу, вместо атомной станции, если не сможем управлять цепной реакцией деления.

Процесс управления цепной реакцией сводится, в конечном счете, к изменению коэффициента размножения $K_{эфф}$.

На практике пользуются не коэффициентом размножения, а производной от него величиной - реактивностью. **Реактивность** - это отклонение коэффициента размножения от единицы отнесенное к коэффициенту размножения:

$$\rho = \frac{K_{эфф} - 1}{K_{эфф}}$$

При увеличении коэффициента размножения $K_{эфф}$ говорят о **внесенной положительной реактивности**, при уменьшении - о **внесенной отрицательной реактивности**.

СХЕМА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

Ядерный реактор - это техническая установка, в которой осуществляется **самоподдерживающаяся цепная реакция деления тяжелых ядер** с освобождением ядерной энергии.

В процессе ядерных реакций происходят **превращения одних химических элементов в другие**.

Ядерный реактор состоит из **активной зоны, отражателя нейтронов, тепловой защиты** и других элементов, размещенных в прочном **герметическом корпусе реактора**, выполняемом из сталей специальных марок.

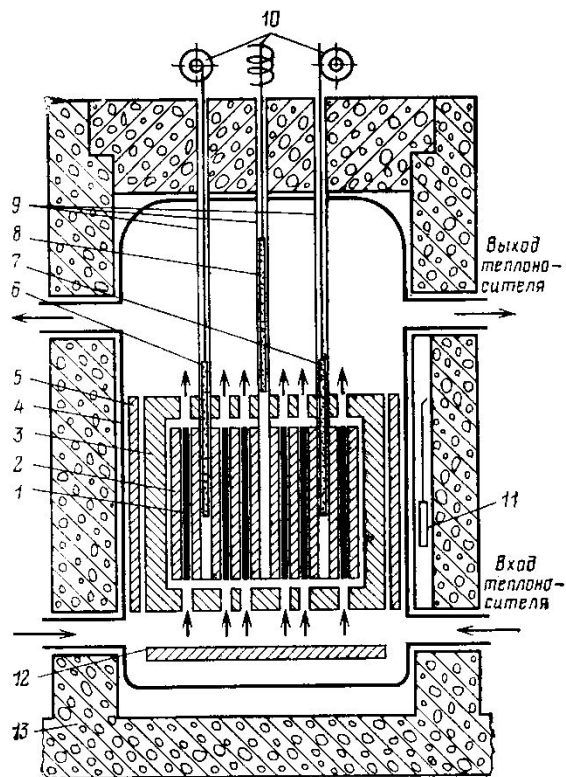
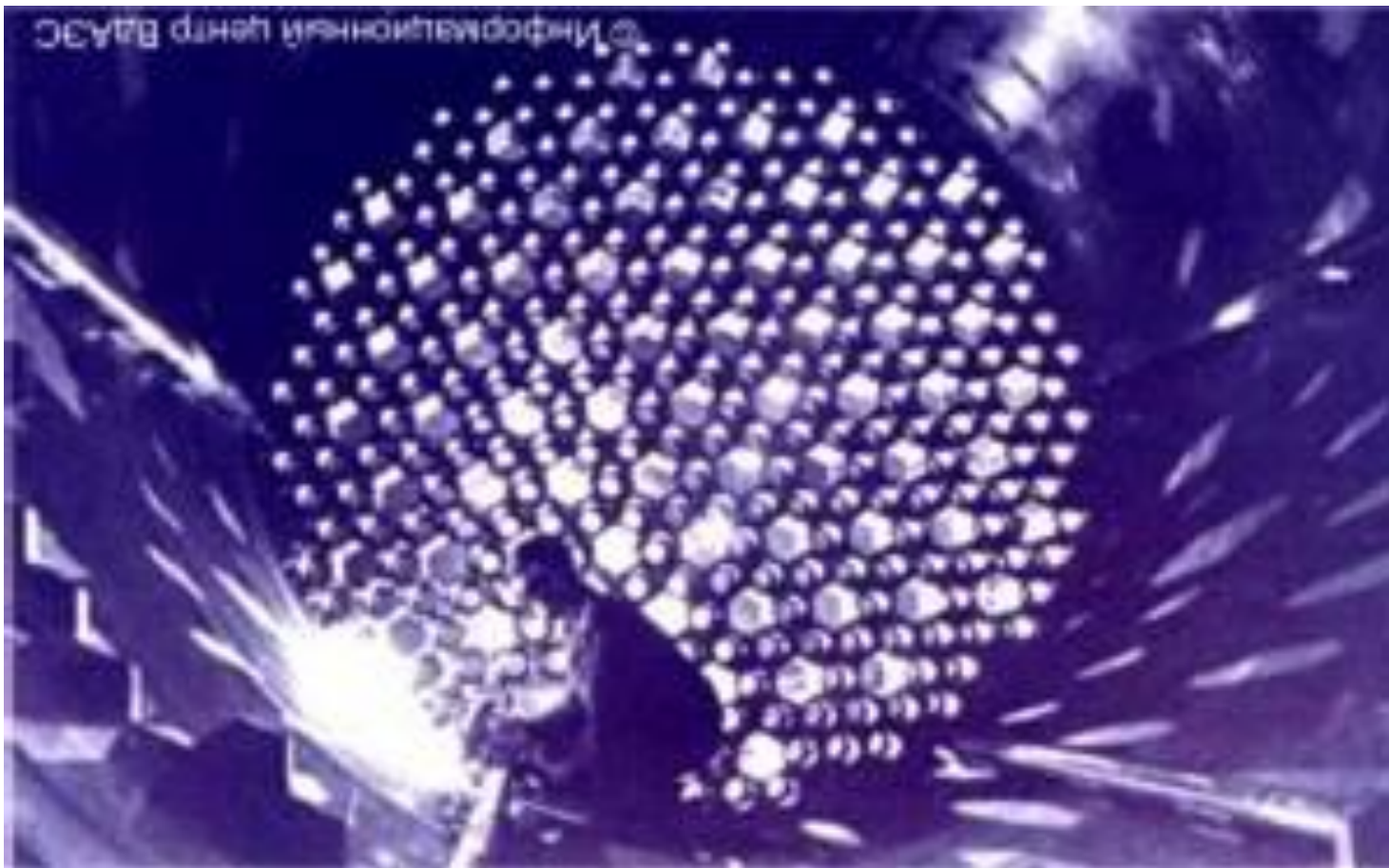


Рис. 3.19. Принципиальная схема ядерного энергетического реактора

- 1 – Технологические каналы
- 2 - Замедлитель
- 3 – Отражатель нейтронов
- 4 – Герметичный корпус
- 5 – Боковой тепловой экран
- 6, 7, 8 – Подвижные управляющие стержни
- 9 – Каналы СУЗ
- 10 – Привод СУЗ
- 11 – Ионизационная камера
- 12 – Торцевой тепловой экран
- 13 – Биологическая защита

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ АКТИВНОЙ ЗОНЫ



Активная зона представляет собой набор *технологических каналов*, каждый из которых окружен *замедлителем нейтронов* (реакторы на тепловых нейтронах).

ЗАМЕДЛИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ-1

Замедлитель в реакторах на тепловых нейтронах - это вещество, при взаимодействии с атомами которого **нейтрон наиболее заметно снижает свою скорость**. Соответственно увеличивается вероятность деления ядерного горючего.

Важной характеристикой замедлителя является его **способность поглощать нейтроны**, которая характеризуется **сечением поглощения**.

Замедлителями могут быть:

- **обычная и тяжелая вода,**
- **графит**
- **бериллий** (для исследовательских реакторов).

ЗАМЕДЛИТЕЛИ НЕЙТРОНОВ-2

Наилучшим замедлителем нейтронов могла бы оказаться **обычная вода** – вещество, содержащее много атомов водорода ${}_1^1\text{H}$. Однако, атомы ${}_1^1\text{H}$ способны захватывать нейтроны.

Ядра другого изотопа водорода – **дейтерия** ${}_1^2\text{H}$ - такой тенденции практически не проявляют. Поэтому в качестве замедлителя в реакторах эффективнее использовать **тяжелую воду** D_2O .

Другим часто используемым замедлителем нейтронов является **графит**.

В современных реакторах в качестве замедлителя (и одновременно в качестве теплоносителя) используют специально очищенную **воду с добавками бора**.

Если замедлителем является **графит**, то реактор способен работать **на природном уране** (0,7% урана-235) из-за малого поглощения нейтронов.

Если замедлитель - **вода**, то реактор обязательно работает **на обогащенном топливе** (2-4% урана-235), так как вода хорошо поглощает нейтроны.

ОТРАЖАТЕЛЬ НЕЙТРОНОВ И ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА

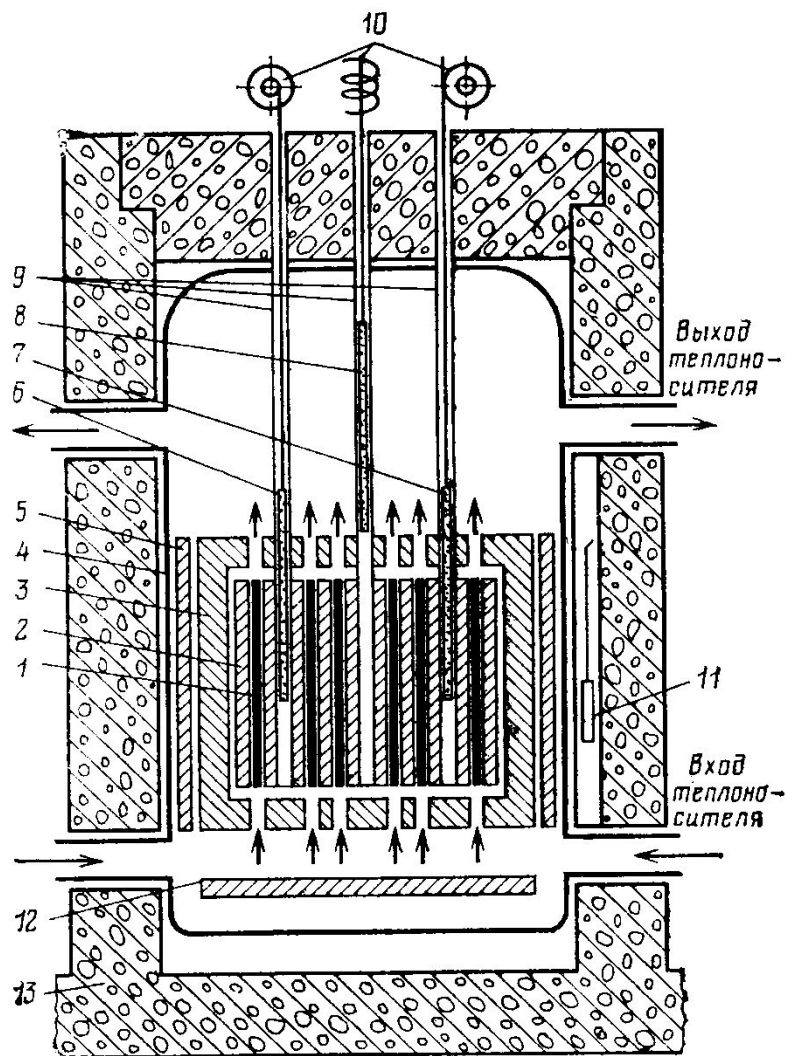


Рис. 3.19. Принципиальная схема ядерного энергетического реактора

Для уменьшения утечки нейтронов из активной зоны реактора она окружена **отражателем нейтронов (3)**.

Отражатель изготавливается из **графита** или **бериллия** (как и замедлитель).

Отражатель выравнивает плотности нейтронов и энерговыделения по объему активной зоны.

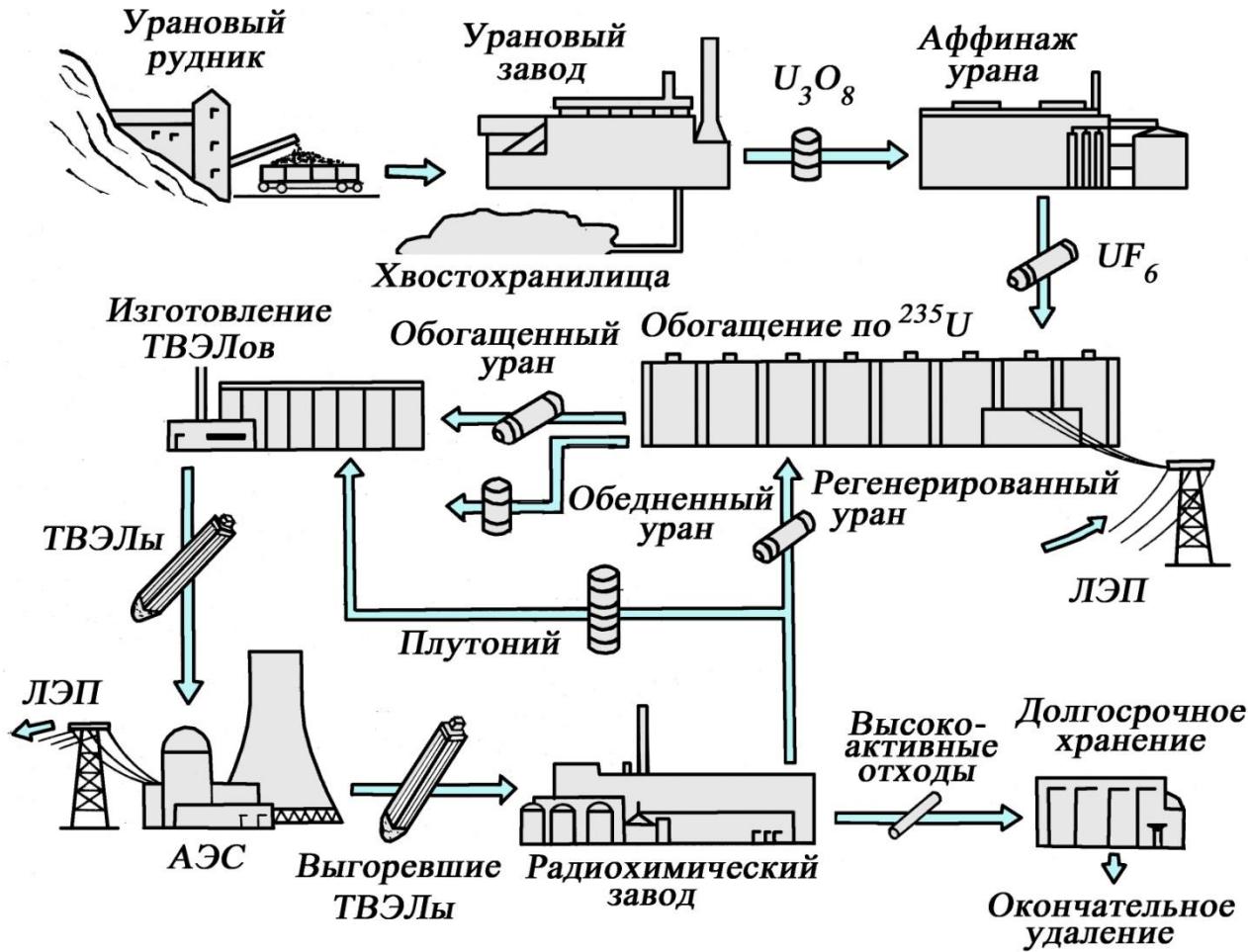
Отражатель нагревается за счет энергии замедляющихся и поглощаемых нейтронов и гамма-квантов, поэтому предусматривается его охлаждение.

Для уменьшения излучения и чрезмерного нагрева реактора применяется **тепловая защита (5, 12)**.

Тепловая защита выполняется из **стальных листов** или **специальных материалов**, содержащих поглотители нейтронов, например, бор.

Часто тепловая защита совмещается в единой конструкции с отражателем нейтронов.

Схема ядерно – энергетического цикла



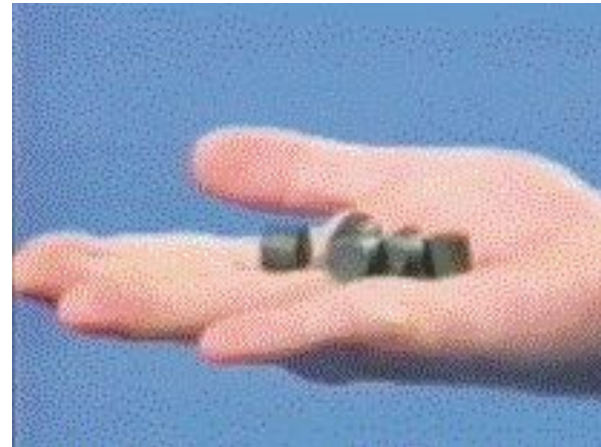
Топливный цикл - комплекс операций на предприятиях ядерной энергетики:

- добыча и переработка руды,
- обогащение природного урана изотопом U-235,
- приготовление ядерного топлива,
- фабрикация топливных элементов и сборок,
- переработка выгоревшего топлива,
- захоронение радиоактивных отходов.

ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

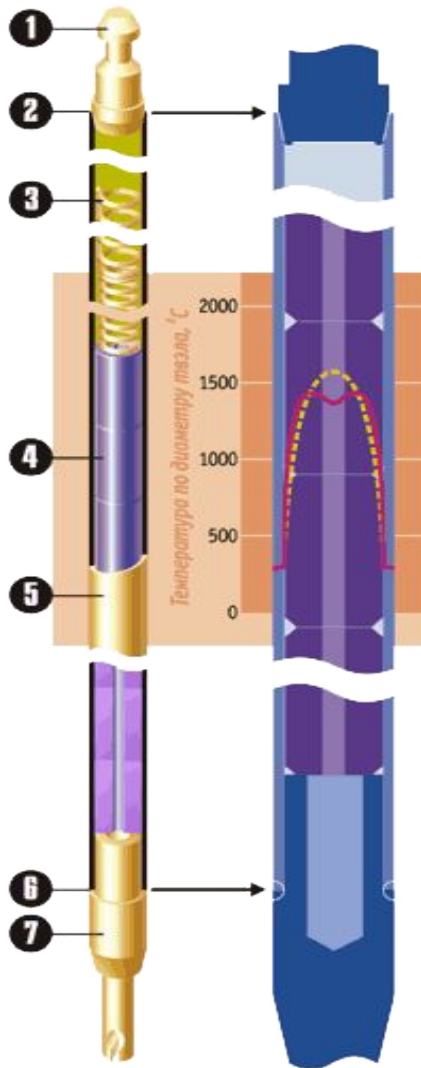
В качестве **топлива ядерных реакторов** могут использоваться:

- **естественный уран**, в котором концентрация урана-235 составляет 0,7 %,
- **"обогащенный" уран**, т.е. уран, в котором концентрация изотопов **урана-235** достигает 2 - 4 % или более,
- **плутоний-239** (плутоний-239 в принципе может тоже использоваться для нужд ядерной энергетики, но в настоящее время он является одним из основных компонентов начинки атомных бомб)



Типичное топливо реакторов - окись урана UO_2 в виде спеченных таблеток диаметром 9-10 мм, заключенных в цилиндрическую защитную оболочку из циркониевого (с примесью ниобия) сплава.

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ)



ТВЭЛ обеспечивает:

- **удержание** топлива и продуктов его деления (твердые вещества и газы) от проникновения в теплоноситель;
- **телопередачу** от топливной таблетки к теплоносителю через оболочку ТВЭЛ.

- 1 - верхняя концевая заглушка
- 2 - верхний сварочный шов
- 3 - фиксатор топлива (пружина)
- 4 - топливный сердечник
- 5 - трубчатая оболочка
- 6 - нижний сварочный шов
- 7 - нижняя концевая заглушка

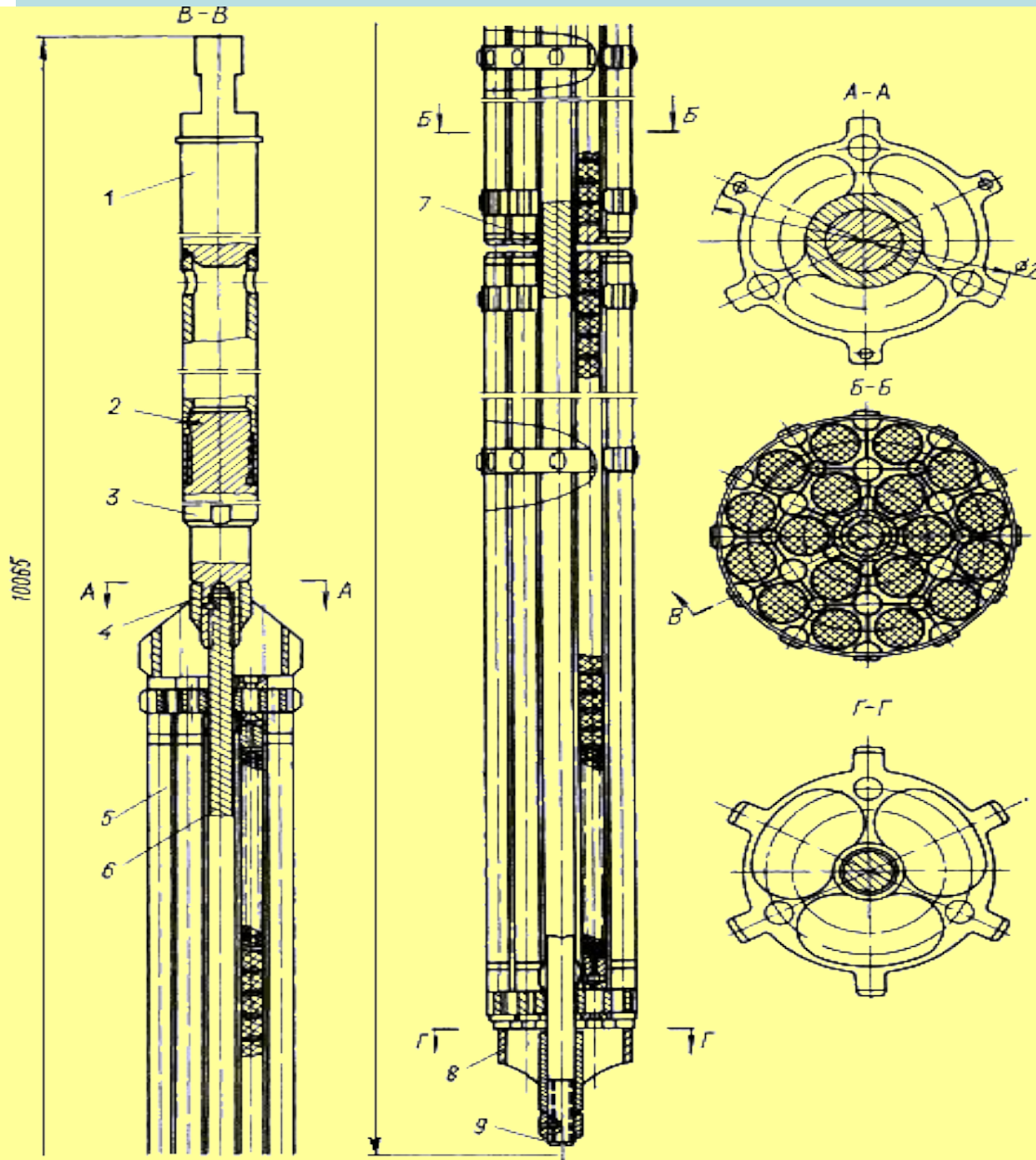
ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТВЭЛам

- простота конструкции;
- механическая устойчивость и прочность в потоке теплоносителя, обеспечивающая сохранение размеров и герметичности;
- малое поглощение нейтронов материалом твэла;
- отсутствие взаимодействия ядерного топлива и продуктов деления с теплоносителем и замедлителем при рабочих температурах;
- максимальная интенсивность отвода теплоты теплоносителем от всей поверхности твэла;
- большая глубина выгорания ядерного топлива и высокую степень удержания продуктов деления;
- высокая радиационная стойкость;
- относительно низкая стоимость;
- надежная герметичность оболочек твэлов должна сохраняться в течение всего срока работы активной зоны (3 -5 лет) и последующего хранения отработавших твэлов до отправки на переработку (1 -3 года).

Технические характеристики ТВЭЛ

Параметр	Значение
Длина, мм	3837
Длина топливного сердечника, мм	3530
Наружный диаметр оболочки, мм	9,1
Толщина стенки оболочки, не менее, мм	0,63
Материал оболочки	Zr+1%Nb
Топливо	Таблетки из UO_2 с центральным отверстием
Диаметр отверстия таблетки, мм	2,35
Масса урана в топливе, г	1270
Обогащение топлива при перегрузках, %	1,6; 3,3; 3,6; 4,4
Фиксатор топливного сердечника	Пружина из хромоникелевого сплава
Нижний сварной шов	Электронно-лучевая сварка
Верхний сварной шов	Контактно-стыковая сварка

Тепловыделяющая сборка реактора типа РБМК-1000

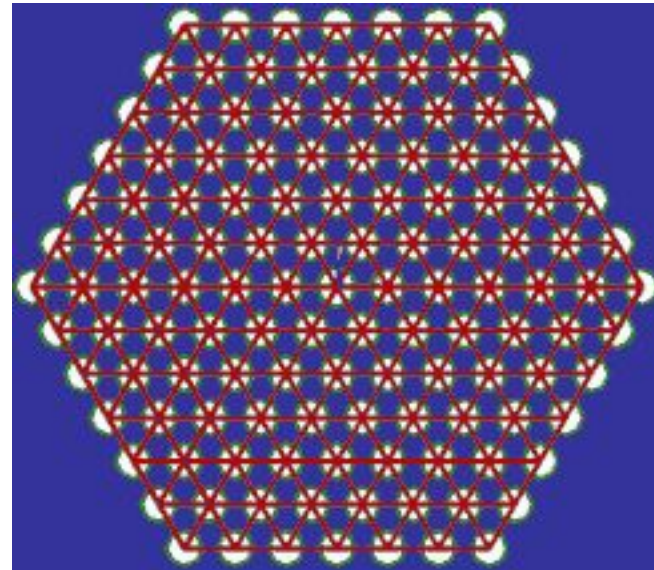


Для обеспечения необходимой жесткости стержневых ТВЭЛов, а также в целях организации направленного потока теплоносителя, упрощения монтажа, транспортировки и перезарядки активной зоны ТВЭЛы в количестве десятков – сотен штук объединяют в группы – так называемые тепловыделяющие сборки или ТВС. ТВЭЛы в ТВС жестко связаны между собой с помощью двух концевых и нескольких дистанционирующих решеток, устанавливаемых с определенным шагом по высоте ТВС. Основные конструктивные особенности конструкции ТВС связаны, прежде всего, с формой ее поперечного сечения, которая может быть прямоугольной, круглой или шестигранной.

ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ СБОРКА (ТВС) ВВЭР



Сечение ТВС



Элементы ТВС:

- верхняя концевая деталь (головка)
- дистанционирующие решетки
- металлические стержни из бора или кадмия
- нижняя концевая деталь (хвостовик)

В отличие от ТВС РБМК-1000 ТВС ВВЭР-1000 - гексагональное (шестигранное) сечение.

ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ

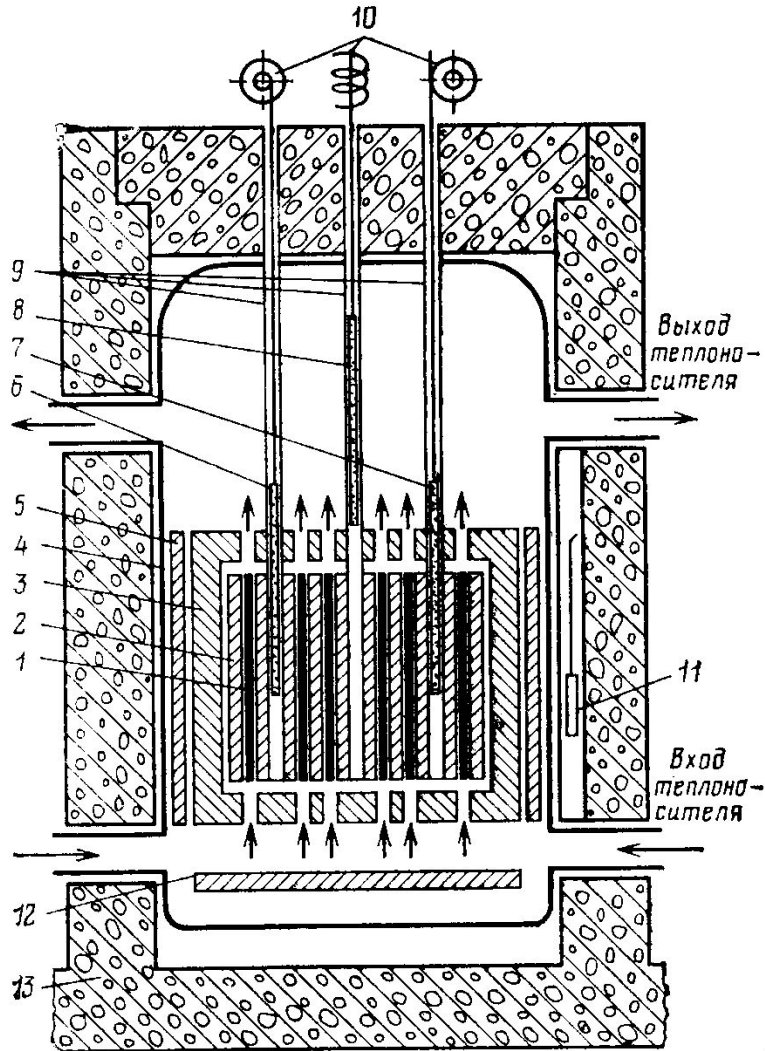


Рис. 3.19. Принципиальная схема ядерного энергетического реактора

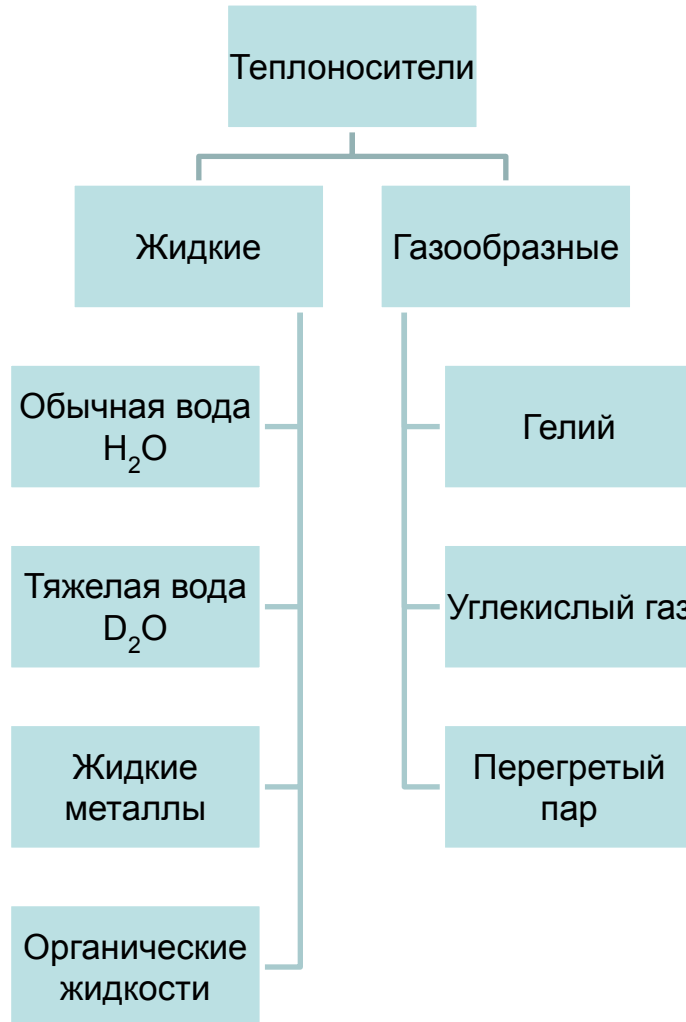
При работе реактора в ТВЭЛх, а также во всех конструктивных элементах реактора **выделяется тепло**.

Это связано прежде всего с торможением осколков деления, их бета- и гамма- излучением, и, наконец, с замедлением быстрых нейтронов.

Для **отвода теплоты** из активной зоны реактора вдоль ТВС внутри технологических каналов **движется теплоноситель**, который воспринимает тепло ядерных превращений.

Холодный теплоноситель для охлаждения активной зоны подается через нижний патрубок и проходит сквозь ТВС снизу вверх.

ТЕПЛОНОСИТЕЛИ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ



ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОСИТЕЛЯМ

Общими требованиями ко всем теплоносителям являются:

- высокая теплоёмкость и теплопроводность;
- малая вязкость;
- малая коррозионная агрессивность и коррозионное воздействие по отношению к конструкционным материалам;
- высокая температура кипения и низкая температура плавления;
- высокая термическая и радиационная стойкость;
- малое сечение поглощения тепловых нейтронов;
- взрывобезопасность, негорючесть и нетоксичность;
- слабая активация;
- малая стоимость.

СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

Вода H_2O - наиболее распространенный теплоноситель в энергетических реакторах.

Имеет большую теплоемкость, не требует больших расходов, но требует повышенного давления.

Тяжелая вода D_2O является наилучшим теплоносителем и замедлителем.

- Обладает такими же высокими теплопередающими свойствами, что и обычная вода.
- Имеет чрезвычайно малое сечение поглощения тепловых нейтронов и поэтому реакторы с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем **могут работать на природном уране.**
- Ввиду **высокой стоимости** и некоторых негативных эффектов (повышенное радиационное воздействие) не получила широкого распространения.

Жидкие металлы (жидкий натрий и сплав натрия с калием) под давлением 5-8 атм используются в реакторах БН.

- Слабо замедляют и поглощают нейтроны,
- Имеют низкую стоимость и обладают высокими теплопередающими свойствами.
- Основные недостатки: **высокая активация нейтронами** и способность **вступать в бурную химическую реакцию с водой**, что требует дополнительных мер по обеспечению безопасности.

Органические теплоносители (в основном углеводороды-полифенилы) нашли ограниченное применение в реакторах на тепловых нейтронах.

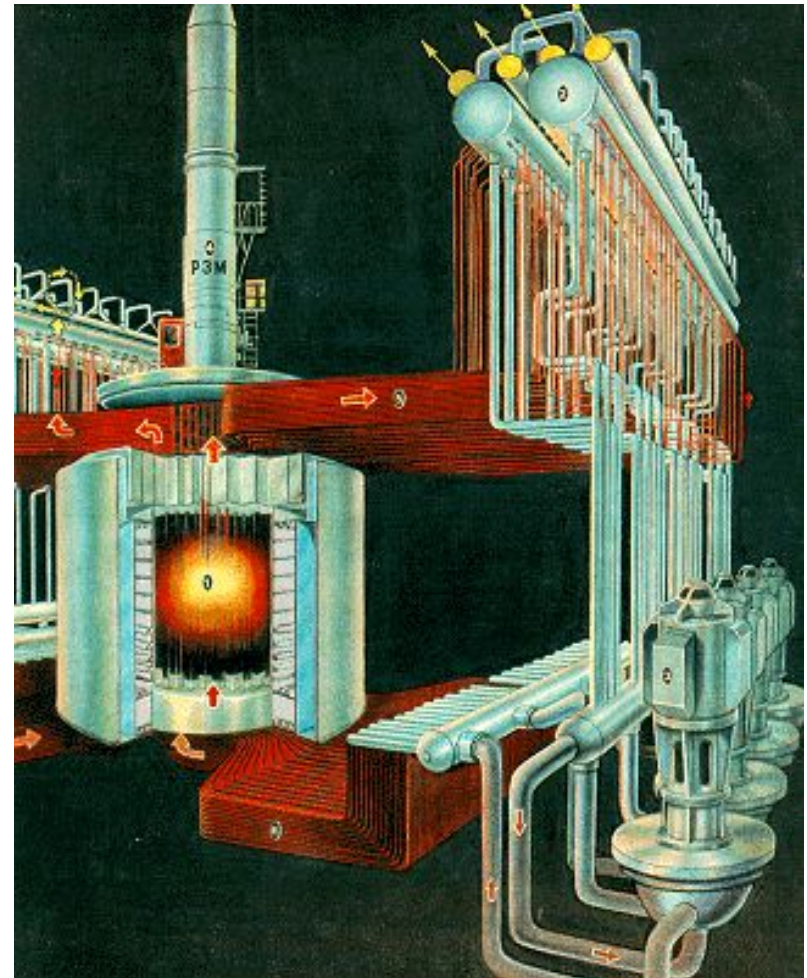
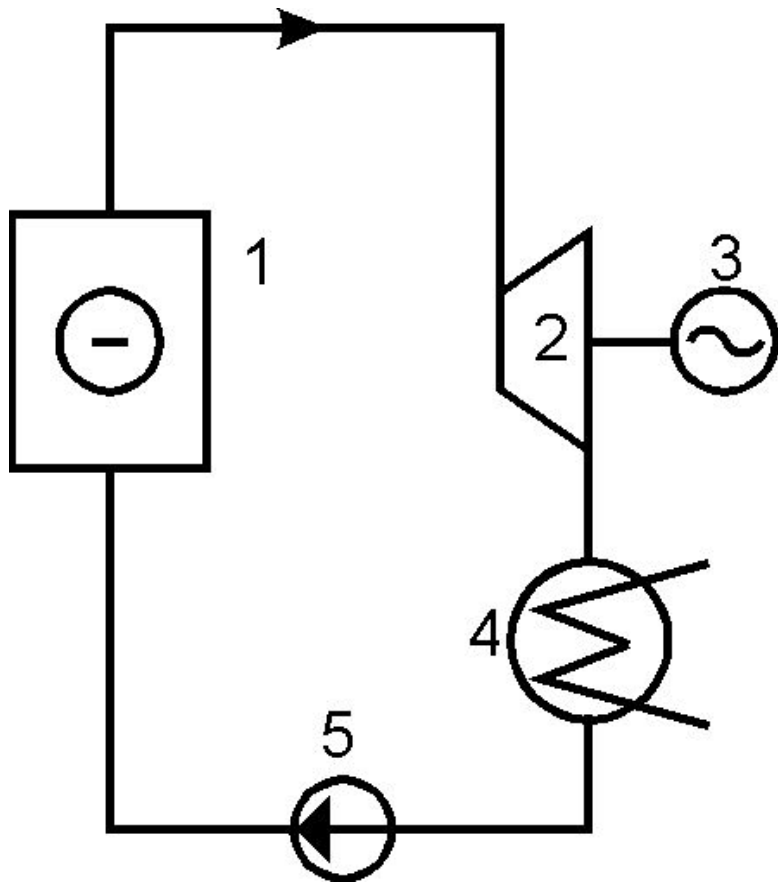
- Основное достоинство – более высокие, чем у воды, температуры кипения (температура теплоносителя на выходе около 350-400°C при давлениях не выше 2 МПа).
- Основной недостаток – **радиационная и термическая нестабильность.**

Газовые теплоносители (гелий, углекислый газ, перегретый водяной пар и др.) достаточно доступны и стабильны.

- Слабо поглощают и замедляют нейтроны, мало активируются.
- Максимальная температура газовых теплоносителей ограничивается только свойствами материалов активной зоны, что дает **возможность повысить термический КПД цикла.**
- Недостатки - существенно худшие, чем у воды **теплопередающие свойства**, что требует увеличения площадей теплообмена и расхода прокачиваемого через активную зону газа.

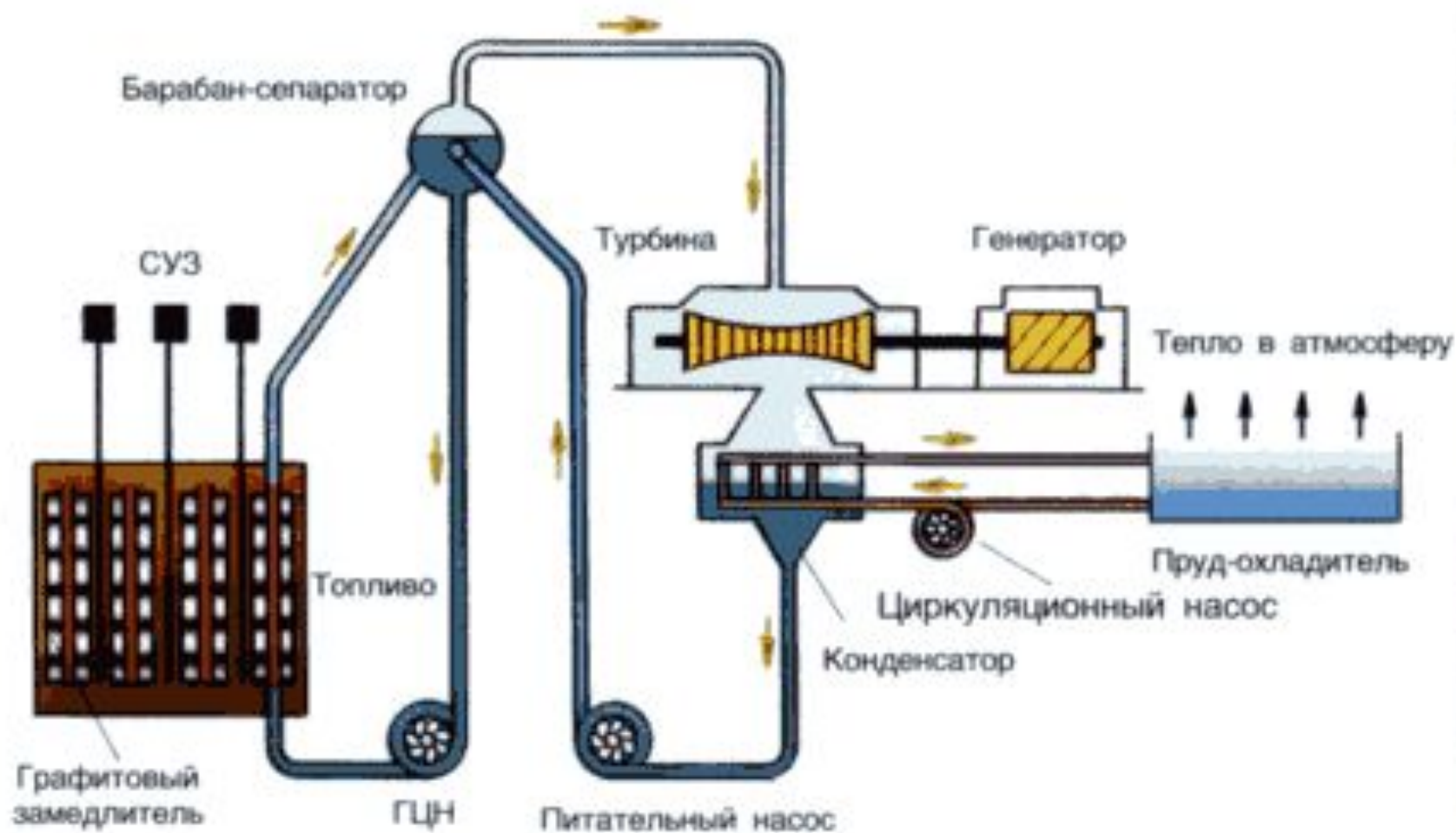
Принципиальные тепловые схемы АЭС

Одноконтурная АЭС



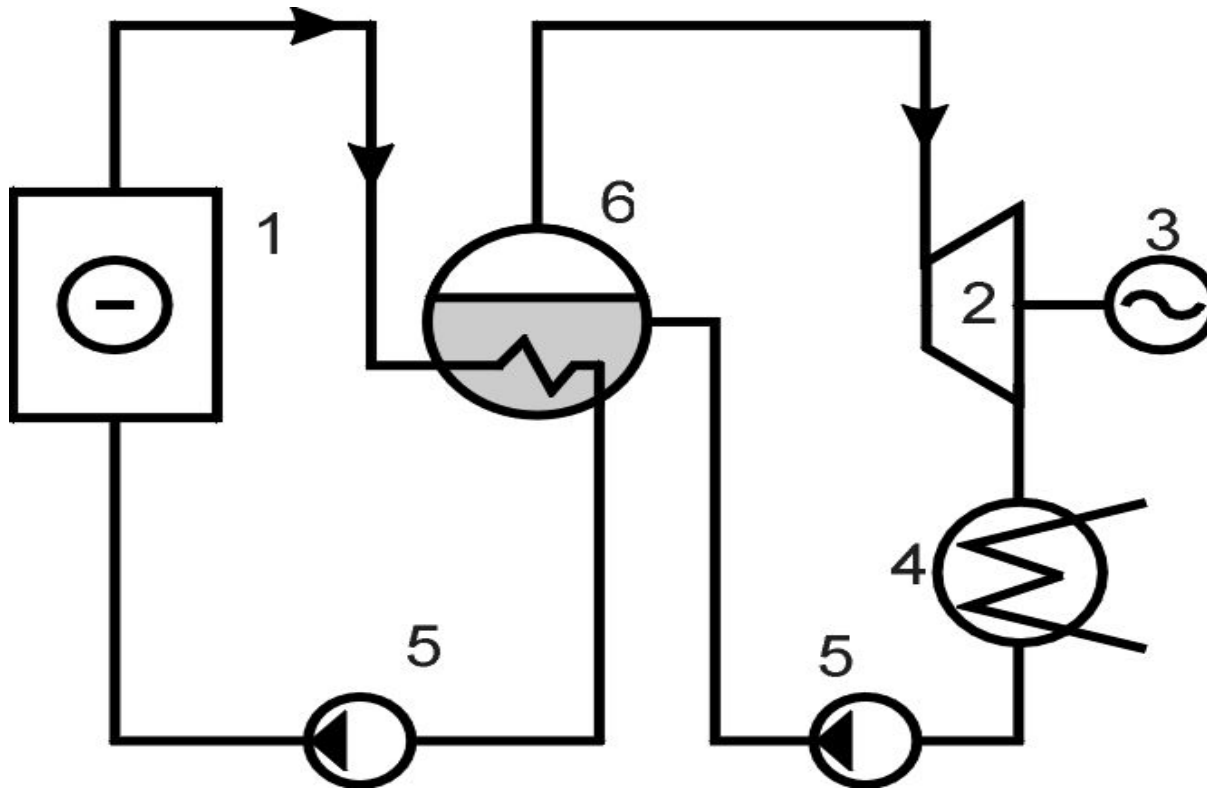
1 - реактор; 2 - паровая турбина; 3 - электрический генератор;
4 - конденсатор; 5 - насос; 6 - парогенератор; 7 - промежуточный теплообменник

АЭС с реактором РБМК

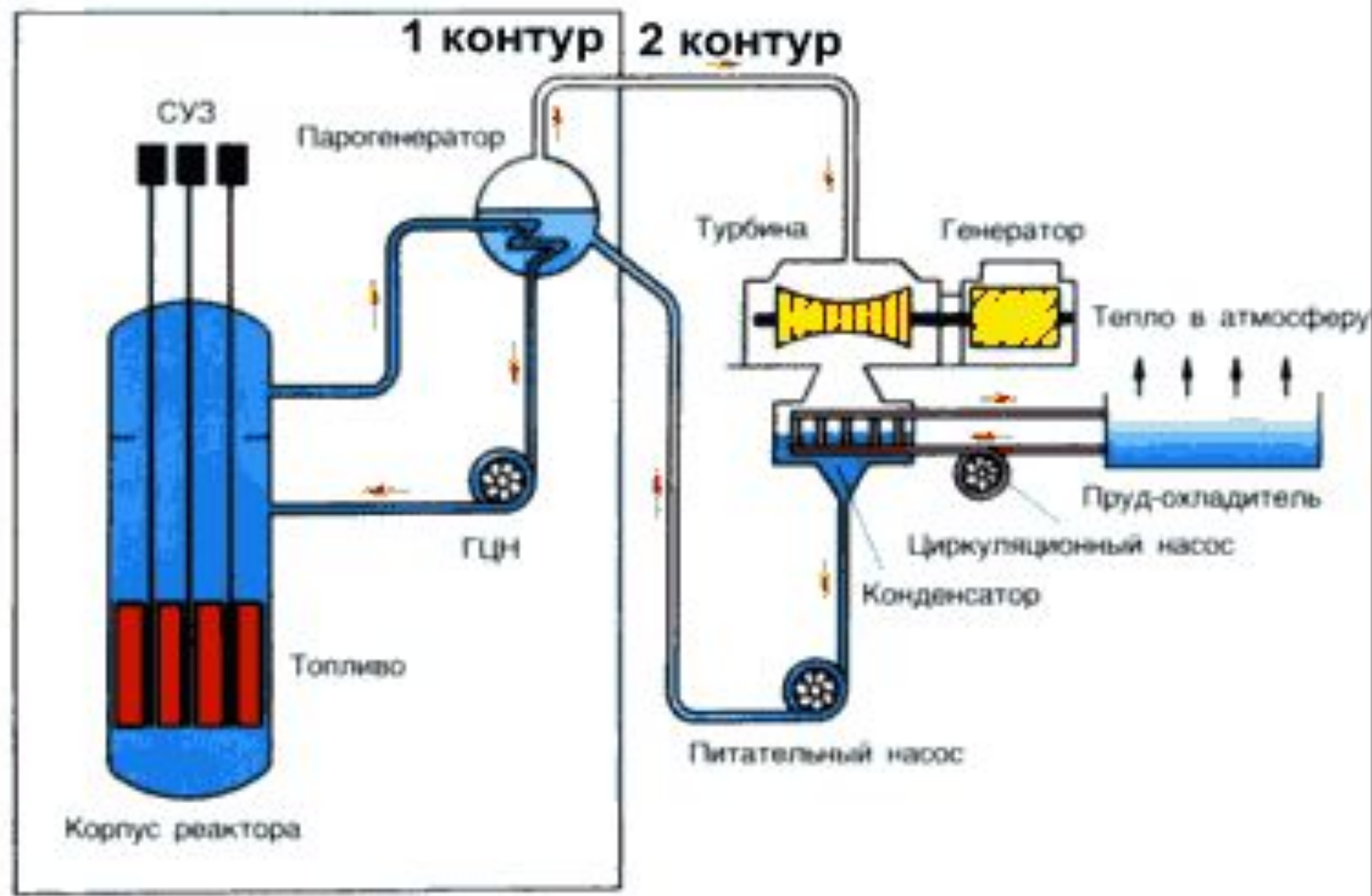


Принципиальные тепловые схемы АЭС

Двухконтурная АЭС



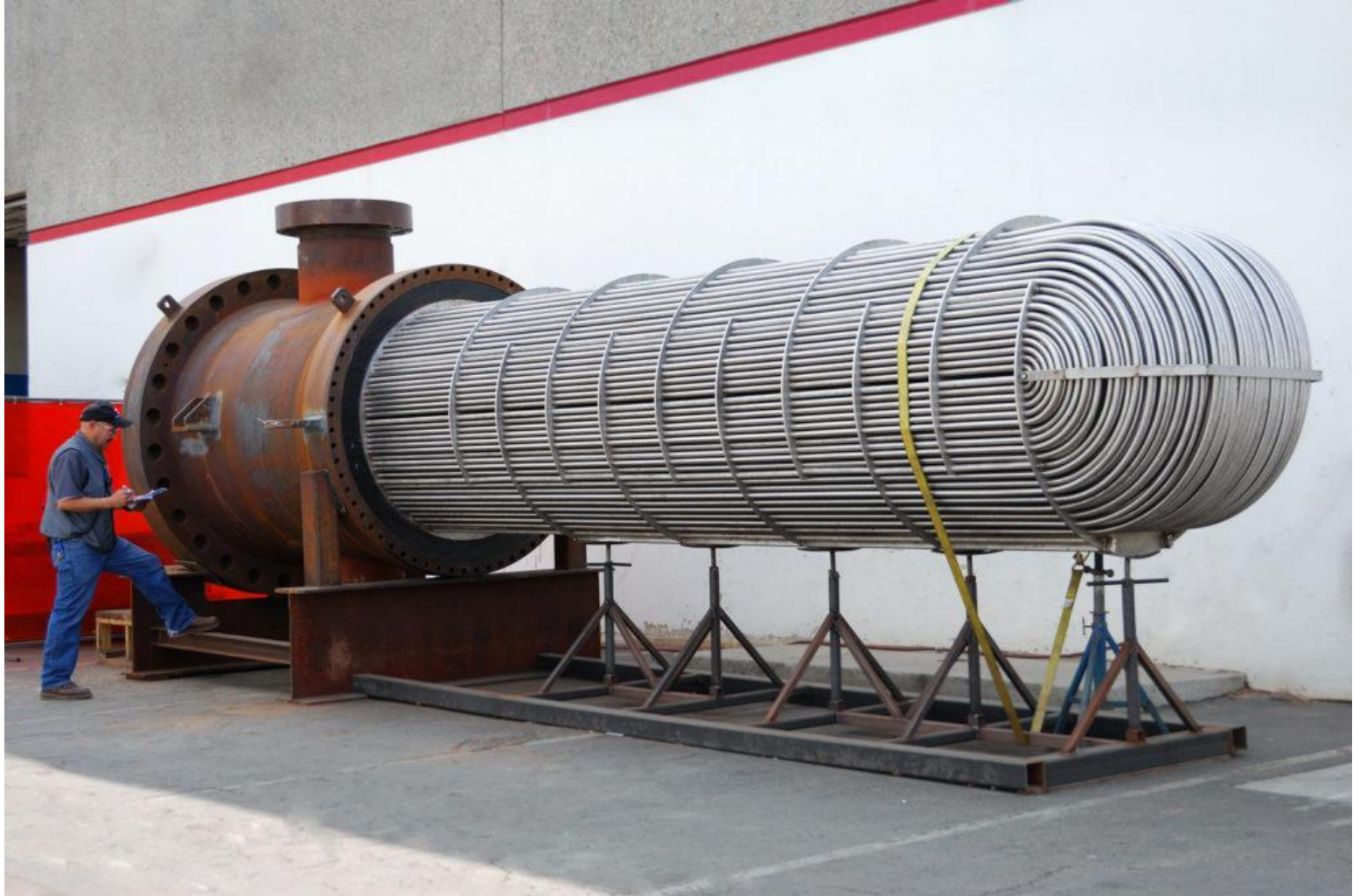
1 - реактор; 2 - паровая турбина; 3 - электрический генератор;
4 - конденсатор; 5 - насос; 6 - парогенератор;



Парогенератор АЭС

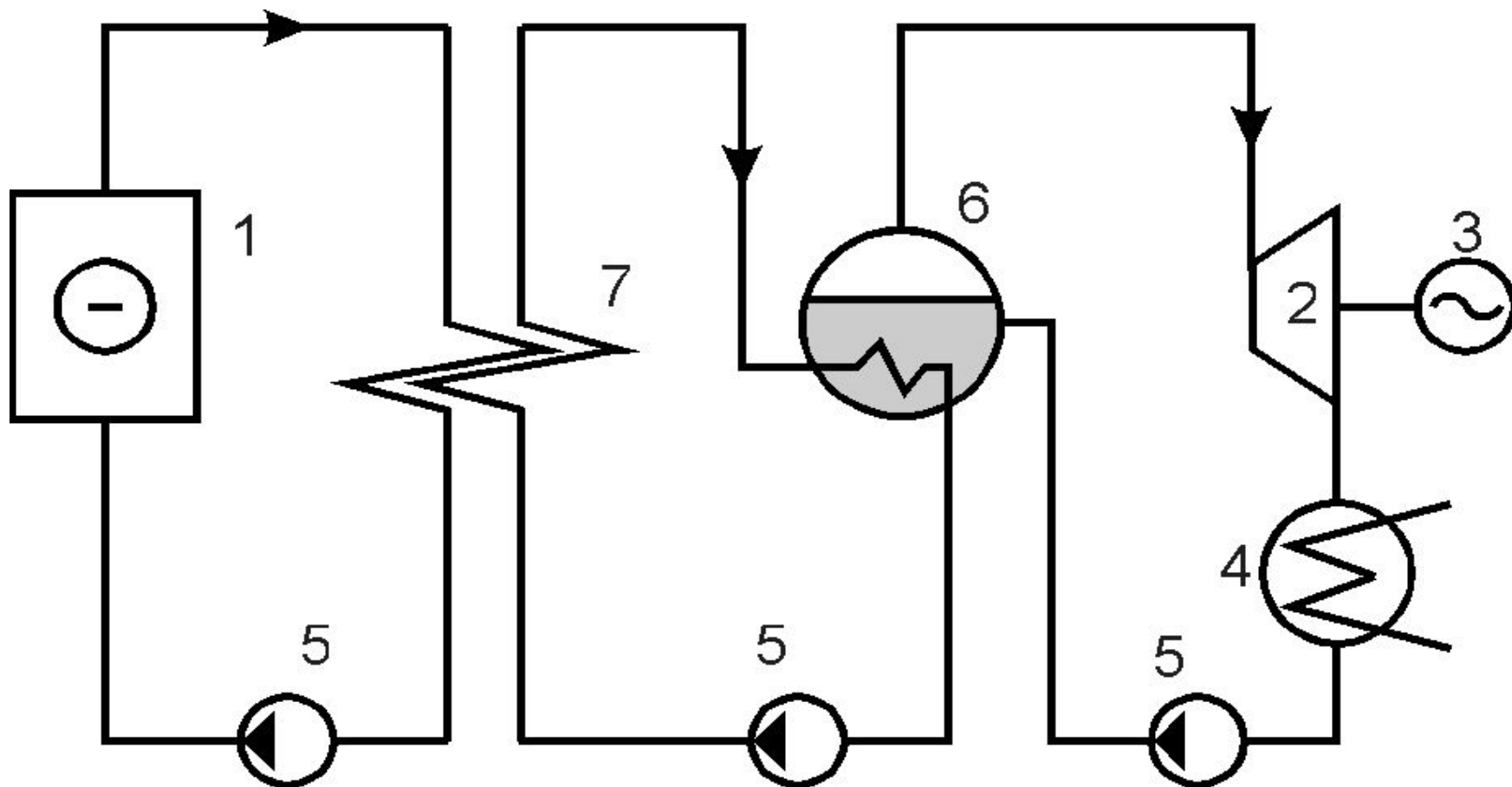




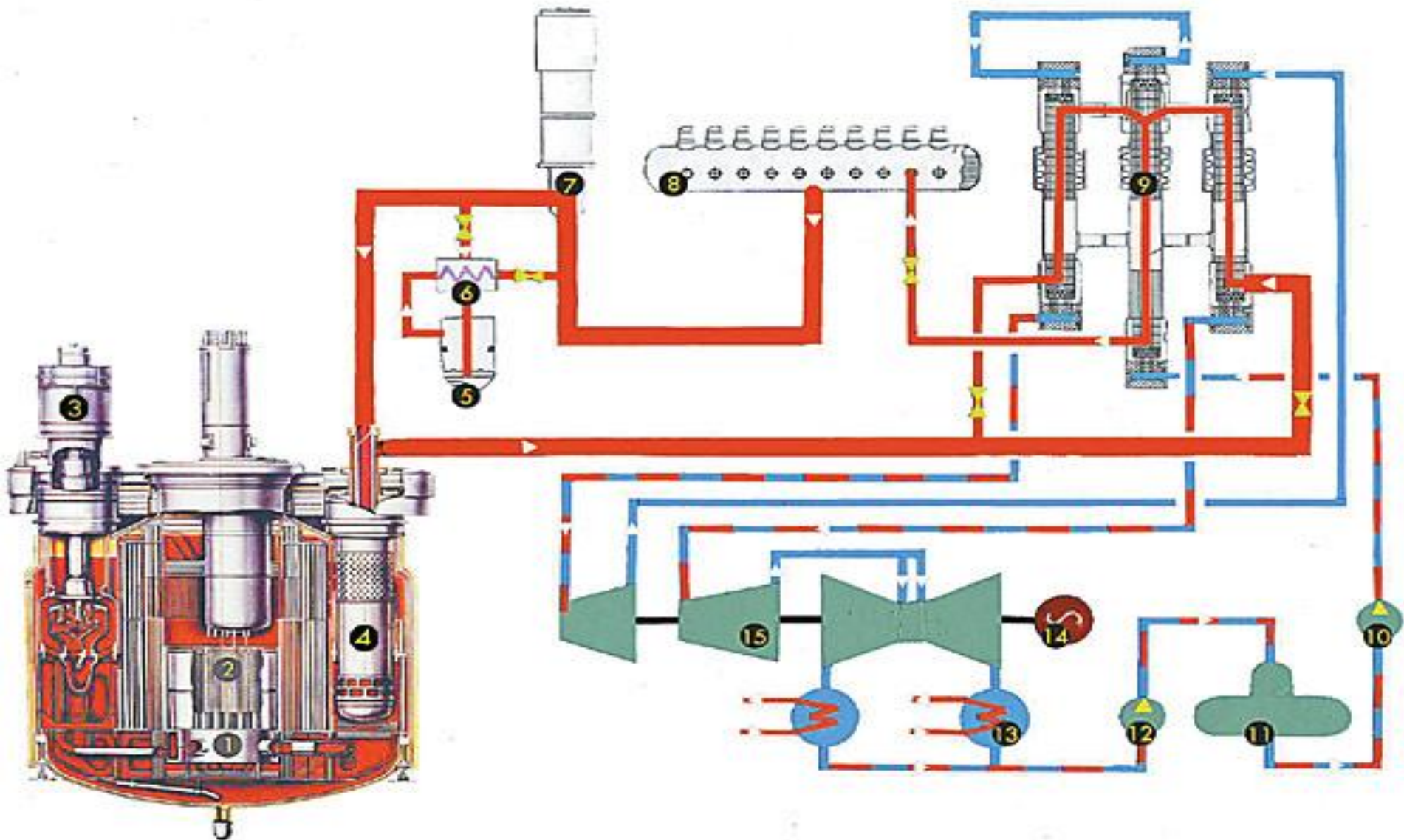


Принципиальные тепловые схемы АЭС

Трехконтурная АЭС



1 - реактор; 2 - паровая турбина; 3 - электрический генератор;
4 - конденсатор; 5 - насос; 6 - парогенератор; 7 -
промежуточный теплообменник

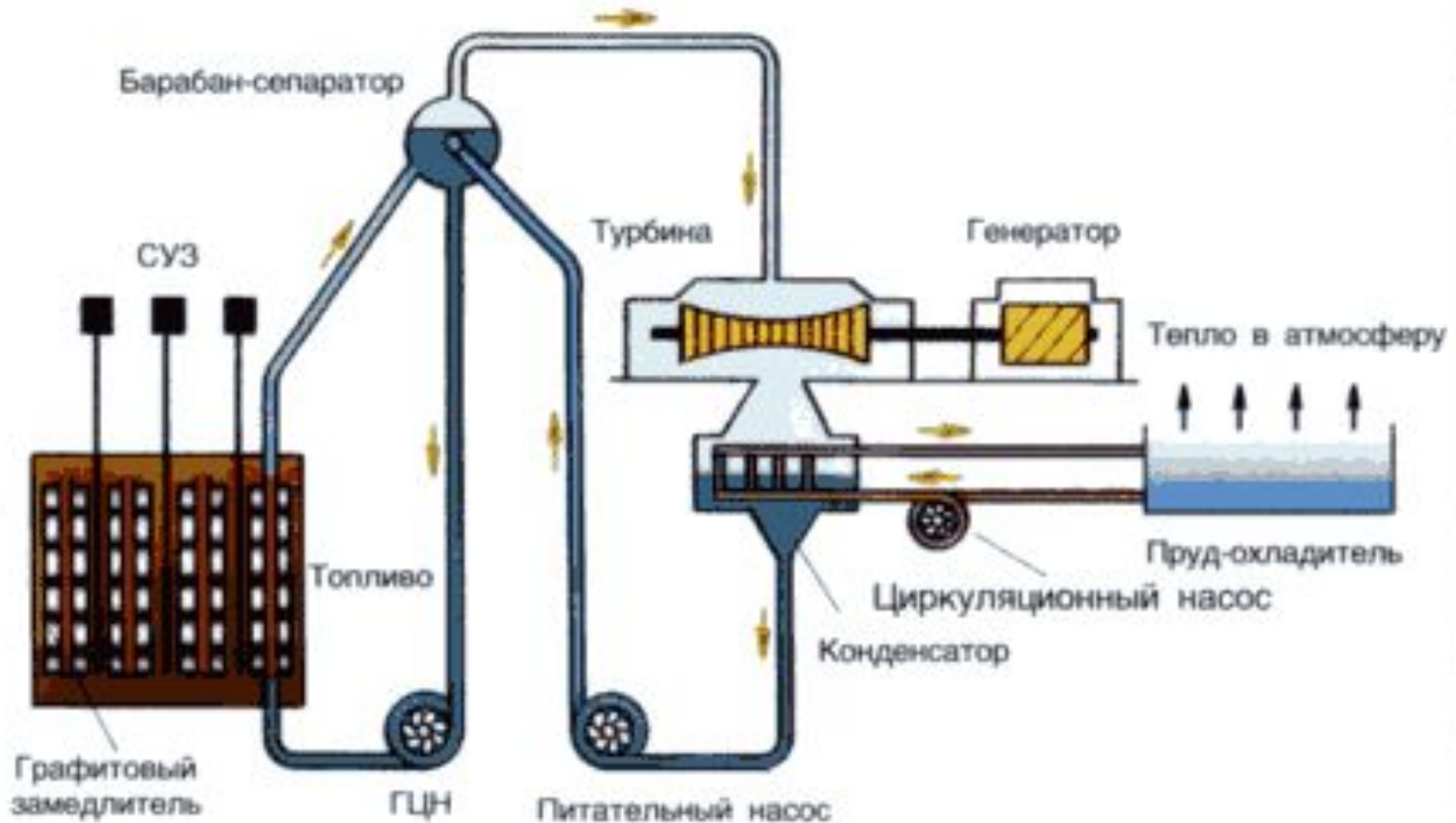


1 - напорная камера теплоносителя; 2 - активная зона реактора;
 3 - насос первого натриевого контура; 4 - промежуточный теплообменник;
 5 - фильтр системы очистки натрия; 6 - рекуператор; 7 - насос второго контура;
 8 - буферная емкость; 9 - парогенератор; 10 - питательный насос; 11 - деаэратор;
 12 - конденсатный насос; 13 - конденсатор; 14 - турбогенератор; 15 - турбина

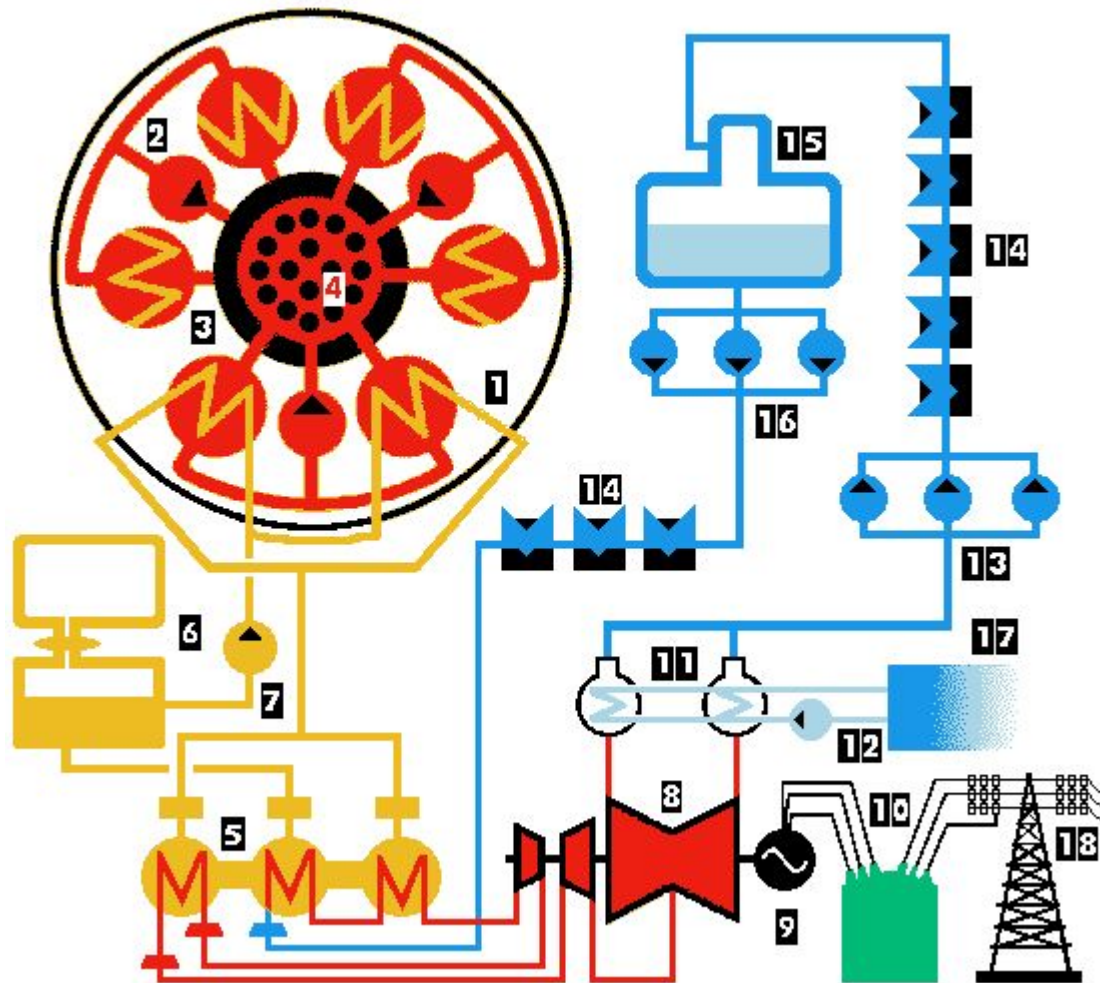
СХЕМА ОДНОКОНТУРНОЙ АЭС С ГРАФИТОВЫМ РЕАКТОРОМ

© Информационный центр ВдАЭС

АЭС с реактором РБМК



ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ЭНЕРГБЛОКА С РЕАКТОРОМ БН



- 1 - Реактор;
- 2 - Главный циркуляционный насос 1 контура;
- 3 - Промежуточный теплообменник;
- 4 - Тепловыделяющие сборки;
- 5 - Парогенератор;
- 6 - Буферная и сборная ёмкости;
- 7 - Главный циркуляционный насос 2 контура;
- 8 - Турбоустановка;
- 9 - Генератор;
- 10 - Трансформатор;
- 11 - Конденсаторы;
- 12 - Циркуляционные насосы;
- 13 - Конденсатные насосы;
- 14 - Подогреватели;
- 15 - Деаэратор;
- 16 - Питательные насосы;
- 17 - Пруд-охладитель;
- 18 - Отпуск электроэнергии потребителю.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ РЕАКТОРА



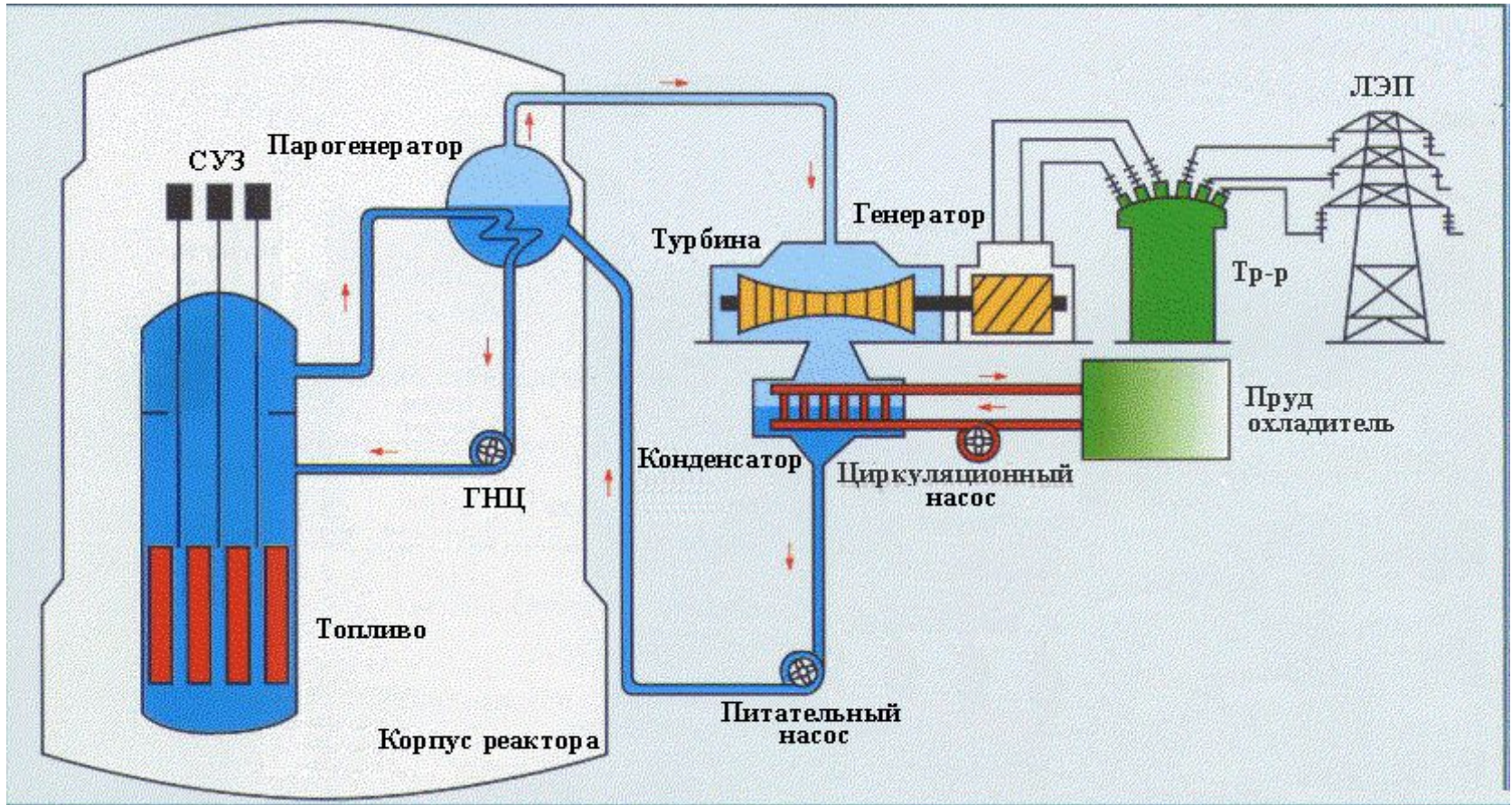
Система управления и защиты (СУЗ) служит:

- для пуска и останова реактора,
- поддержания заданной мощности,
- регулирования мощности,
- аварийного останова реактора.

СУЗ состоит из:

- *компенсирующих систем* (для компенсации изменений реактивности в связи с выгоранием топлива и переходом от холодного состояния реактора к рабочему),
- *регулирующих стержней* (для поддержания или регулирования мощности реактора),
- *стержней аварийной защиты* (для быстрого прекращения реакции деления)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ (СУЗ)



ТИПЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

В настоящее время в мире существует *несколько типов ядерных энергетических реакторов*:

- реакторы на тепловых нейтронах с обычной водой в качестве замедлителя (РБМК, *под давлением* – ВВЭР и PWR, *кипящие* – ВК и BWR);
- реакторы на тепловых нейтронах с тяжелой водой в качестве замедлителя и обычной водой в качестве теплоносителя (ТВР - HWR);
- реактор на тепловых нейтронах высокотемпературные, охлаждаемые газовым теплоносителем (ВТГР - HTGR);
- реакторы на быстрых нейтронах (БН - LMFBR).

В России исторически получили распространение два типа реакторов – **ВВЭР** (Кольская, Калининская, Балаковская, Нововоронежская, Волгодонская АЭС) и **РБМК** (в России - Смоленская, Ленинградская, Курская АЭС, а также Чернобыльская и Игналинская АЭС).

Реактор на быстрых нейтронах **типа БН** используется на Белоярской атомной станции БАЭС.

Кипящие водо-водяные реакторы **типа ВК** в России для получения энергии не используются (только в качестве исследовательского образца).