

Тема: Ядерный реактор

Устройство, в котором поддерживается управляемая реакция деления ядер, называется ядерным (или атомным) реактором. Схема ядерного реактора на медленных нейтронах приведена на рис. 2.

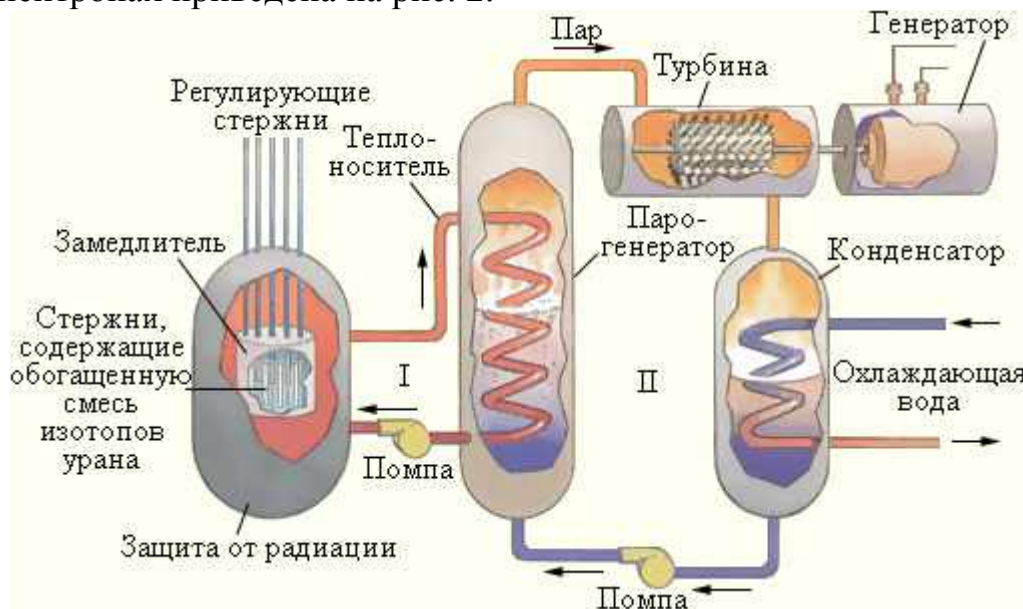


Рисунок 2.

Схема устройства ядерного реактора на медленных нейтронах

Ядерная реакция протекает в активной зоне реактора, которая заполнена замедлителем и пронизана стержнями, содержащими обогащенную смесь изотопов урана с повышенным содержанием урана-235 (до 3 %). В активную зону вводятся регулирующие стержни, содержащие кадмий или бор, которые интенсивно поглощают нейтроны. Введение стержней в активную зону позволяет управлять скоростью цепной реакции.

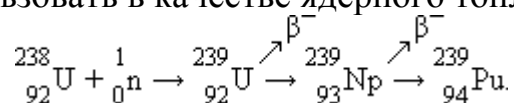
Активная зона охлаждается с помощью прокачиваемого теплоносителя, в качестве которого может применяться вода или металл с низкой температурой плавления (например, натрий, имеющий температуру плавления 98 °С). В парогенераторе теплоноситель передает тепловую энергию воде, превращая ее в пар высокого давления, который направляется в турбину, соединенную с электрогенератором, а из турбины поступает в конденсатор. Во избежание утечки радиации контуры теплоносителя I и парогенератора II работают по замкнутым циклам.

Турбина атомной электростанции является тепловой машиной, определяющей в соответствии со вторым законом термодинамики общую эффективность станции. У современных атомных электростанций коэффициент полезного действия

приблизительно равен $\frac{1}{3}$. Следовательно, для производства 1000 МВт электрической мощности тепловая мощность реактора должна достигать 3000 МВт. 2000 МВт должны уноситься водой, охлаждающей конденсатор. Это приводит к локальному перегреву естественных водоемов и последующему возникновению экологических проблем.

Однако, главная проблема состоит в обеспечении полной радиационной безопасности людей, работающих на атомных электростанциях, и предотвращении случайных выбросов радиоактивных веществ, которые в большом количестве накапливаются в активной зоне реактора. При разработке ядерных реакторов этой проблеме уделяется большое внимание. Тем не менее, после аварий на некоторых АЭС, в частности на АЭС в Пенсильвании (США, 1979 г.) и на Чернобыльской АЭС (1986 г.), проблема безопасности ядерной энергетики встала с особенной остротой.

Наряду с ядерным реактором, работающим на медленных нейтронах, большой практический интерес представляют реакторы, работающие без замедлителя на быстрых нейтронах. В таких реакторах ядерным горючим является обогащенная смесь, содержащая не менее 15 % изотопа ^{238}U . Преимущество реакторов на быстрых нейтронах состоит в том, что при их работе ядра урана-238, поглощая нейтроны, посредством двух последовательных β^- -распадов превращаются в ядра плутония, которые затем можно использовать в качестве ядерного топлива:



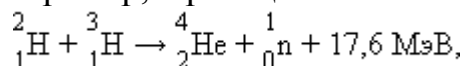
Коэффициент воспроизводства таких реакторов достигает 1,5, т. е. на 1 кг урана-235 получается до 1,5 кг плутония. В обычных реакторах также образуется плутоний, но в гораздо меньших количествах.

Первый ядерный реактор был построен в 1942 году в США под руководством Э. Ферми. В нашей стране первый реактор был построен в 1946 году под руководством И. В. Курчатова.

2. **Термоядерные реакции.** Второй путь освобождения ядерной энергии связан с реакциями синтеза. При слиянии легких ядер и образовании нового ядра должно выделяться большое количество энергии. Это видно из кривой зависимости удельной энергии связи от массового числа A (рис. 1). Вплоть до ядер с массовым числом около 60 удельная энергия связи нуклонов растет с увеличением A . Поэтому синтез любого ядра с $A < 60$ из более легких ядер должен сопровождаться выделением энергии. Общая масса продуктов реакции синтеза будет в этом случае меньше массы первоначальных частиц.

Реакции слияния легких ядер носят название **термоядерных реакций**, так как они могут протекать только при очень высоких температурах. Чтобы два ядра вступили в реакцию синтеза, они должны сблизиться на расстояние действия ядерных сил порядка $2 \cdot 10^{-15}$ м, преодолев электрическое отталкивание их положительных зарядов. Для этого средняя кинетическая энергия теплового движения молекул должна превосходить потенциальную энергию кулоновского взаимодействия. Расчет необходимой для этого температуры T приводит к величине порядка 10^8 – 10^9 К. Это чрезвычайно высокая температура. При такой температуре вещество находится в полностью ионизированном состоянии, которое называется **плазмой**.

Энергия, которая выделяется при термоядерных реакциях, в расчете на один нуклон в несколько раз превышает удельную энергию, выделяющуюся в цепных реакциях деления ядер. Так, например, в реакции слияния ядер дейтерия и трития

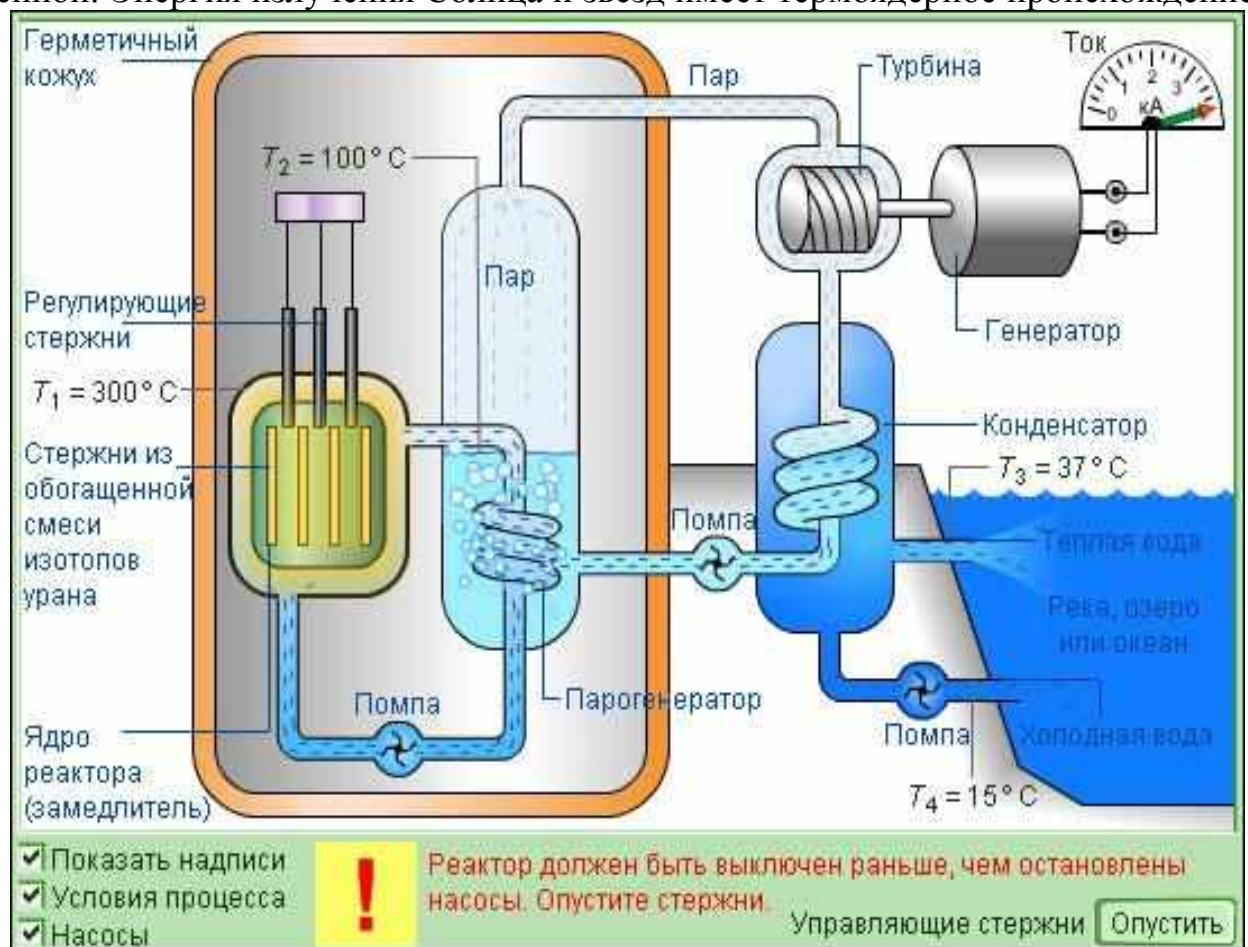


выделяется 3,5 МэВ/нуклон. В целом в этой реакции выделяется 17,6 МэВ. Это одна из наиболее перспективных термоядерных реакций.

Осуществление управляемых термоядерных реакций даст человечеству новый экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии. Однако получение сверхвысоких температур и удержание плазмы, нагретой до миллиарда градусов, представляет собой труднейшую научно-техническую задачу на пути осуществления управляемого термоядерного синтеза.

На данном этапе развития науки и техники удалось осуществить только неуправляемую реакцию синтеза в водородной бомбе. Высокая температура, необходимая для ядерного синтеза, достигается здесь с помощью взрыва обычной урановой или плутониевой бомбы.

Термоядерные реакции играют чрезвычайно важную роль в эволюции Вселенной. Энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение.



Модель. Ядерный реактор