

Дозиметрия ионизирующих излучений
лекции профессора
кафедры ПТБ и УР
Кукина Павла Павловича

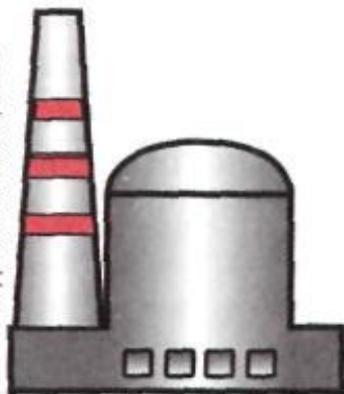
Источники радиационного
загрязнения окружающей среды

Основными источниками радиации являются природное ионизирующее излучение космоса, литосферы, атмосферы, гидросферы и литосферы, а также искусственные (техносферные) источники радиации: испытание ядерного оружия, медицинское рентгеновское облучение и так называемые радиационно-опасные объекты и технологии их эксплуатации, к которым относятся предприятия ядерно-топливного цикла, научно-исследовательские и проектные организации, имеющие исследовательские реакторы, ядерно-энергетические установки на объектах транспорта и космических аппаратах, военные объекты.

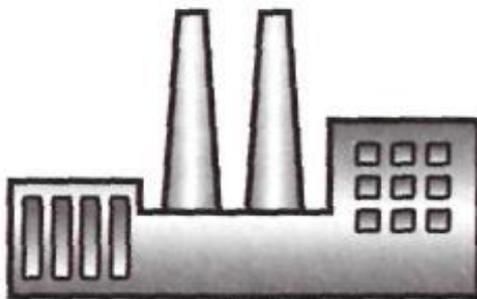
Основные источники радиации в представлении большинства населения



© Д. С. Литвинкин, 2010



Атомные электростанции



Радиохимические производства



Испытания ядерного оружия

Техногенные источники радиационного загрязнения среды обитания

Атомные станции (АЭС, АТЭЦ, АСТ, АСПТ)	→	Ядерные реакторы
	→	Хранилища отработавшего ядерного топлива
	→	Хранилища радиоактивных отходов
Предприятия по изготовлению ядерного топлива	→	Урановые рудники и гидрометаллургические заводы
	→	Предприятия по конверсии и обогащению урана
	→	Предприятия по изготовлению ТВЭЛов
Предприятия по переработке отработавшего ядерного топлива и захоронению радиоактивных отходов	→	Радиохимические заводы
	→	Хранилища радиоактивных отходов
	→	Захоронения радиоактивных отходов
Научно-исследовательские и проектные организации	→	Исследовательские и экспериментальные реакторы
	→	Испытательные стенды
Транспортные ядерно-энергетические организации	→	Корабль Минморфлота РФ
	→	Корабль ВМС
	→	Космические корабли
Военные объекты (стационарные)	→	Хранилища ядерных боеголовок
	→	Ракетные старты

Загрязнение среды обитания продуктами испытания ядерного оружия

Начиная с 1945 года руководствуясь национальными интересами пять ядерных держав - США, СССР, Франция, Великобритания и Китай - начали изготовление ядерного оружия и проведение ядерных испытаний в атмосфере, под водой и в недрах земли. Эти испытания внесли в нашу среду обитания значительное количество радиоактивных элементов с различными периодами полураспада и с резко отличающимися энергетическими характеристиками излучений и ионизирующей способностью (альфа-, бета- и гамма -излучений), которые являются продуктами ценной реакции деления урана-235 и плутония-239

Радионуклиды, образующиеся после ядерных испытаний разделяются на следующие группы :

1.Продукты деления урана и плутония.

2.Радионуклиды, образующиеся при взаимодействии нейтронов с конструкционными материалами бомбы и непрореагировавшим ядерным горючим.

3.Радионуклиды, образующиеся при взаимодействии нейтронов с окружающей средой (атмосферой, гидросферой, литосферой).

Выход основных радиационно опасных продуктов деления и их активности приведены в таблице

Выход некоторых продуктов деления при взрыве ядерного оружия

Радионуклид	Период полураспада, сут.	Выход на деление, %	Активность на 1 Мт, ПБК(10^{15} Бк)
^{89}Sr	50,5	2,56	590
^{90}Sr	28,6 года	3,5	3,9
^{95}Zr	64,0	5,07	920
^{103}Ru	39,5	5,2	1500
^{106}Ru	368	2,44	78
^{131}I	8,04	2,90	4200
^{136}Cs	13,2	0,036	32
^{137}Cs	30,2 года	5,57	5,9
^{140}Ba	12,8	5,18	4700
^{141}Ce	32,5	4,58	1600
^{144}Ce	284	4,69	190
^3H	12,3 года	0,01	$2,6 \times 10^{-3}$
^3H	12,3 года	Выход в результате синтеза термоядерного оружия	740

После атмосферного взрыва около 50% образовавшихся при взрыве радионуклидов выпадает в район испытаний (радиус около 100 км) на земную и водную поверхность. Остальная часть уходит в тропосферу и стратосферу. В тропосфере аэрозольные, радиоактивные частицы находятся около 30 суток, в течение которых выпадают на землю. Это, как правило, радионуклиды с периодами полураспада от нескольких суток до двух месяцев: ^{131}J , ^{140}Ba , ^{89}Sr . В стратосферу уходит большая часть радионуклидов, которые глобально перемешиваются в стратосфере и затем долгое время выпадают в различном количестве на различные участки поверхности земного шара. Поэтому глобальные выпадения из стратосферы в основном определяются долгоживущими продуктами деления- ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^3H и др.

В результате испытания ядерного и термоядерного оружия образовалось $2,4 \times 10^{10}$ Бк трития (природное содержание $2,6-5,2 \times 10^{12}$ Бк) и он в форме тритиевой воды из стратосферы попал в гидрологический цикл земного шара,
стронция – $90 - 6 \times 10^{17}$ Бк,
цезия – $137 - 9 \times 10^{17}$ Бк. Количество непрореагировавшего плутония – 239, освобождающегося при взрыве мощностью 20 Кт, составляет примерно 10^{10} Бк.

При взаимодействии нейтронов с веществами, формирующими атмосферу, наибольшее значение имеют реакции, протекающие на ядрах азота и аргона с образованием радиоактивного изотопа аргона-41 и углерода-14. В воздухе в период испытаний ядерного и термоядерного оружия образовалось 220 ПБк углерода-14 (природное образование-1 ПБк).

При взаимодействии тепловых нейтронов с ядрами элементов земной коры, пресных и океанических вод, образуются такие радионуклиды как кремний-31, железо-59, кальций –45, натрий-24, калий-42, фосфор-32, марганец-56, медь-64.

Вклад каждого вида активности в суммарную активность после взрыва неравноценен. Наибольшая доля активности взрыва сосредоточена в осколках деления, затем располагаются по убыванию активности продукты активации земной коры, морской воды, воздуха и пресной воды

Соотношение между различными видами активности после взрыва бомбы мощностью 1 Мт

Излучатель	Активность после взрыва, П Бк		
	Через 1 сутки	Через 7 суток	Через 50 суток
Осколки деления ($7,2 \times 10^{10}$ делений)	$1,5 \times 10^5$	$1,5 \times 10^4$	$1,5 \times 10^3$
U из реакции ($u, 2u$) на U при количестве нейтронов 10	$7,5 \times 10^4$	$3,8 \times 10^4$	22
Активированные элементы в земной коре	$3,7 \times 10^3$	52	37
в морской воде	$3,7 \times 10^2$	15	74
в пресной воде	3,7	$1,9 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-3}$
в воздухе	37	0,74	0,74

Радиоактивные вещества также поступают в среду обитания при выбросах теплоэлектростанций, работающих на угле и нефти, а также искусственных изотопов - продуктов деления ядерного горючего атомных электростанций.

В работающем реакторе АЭС радиоактивность вещества оборудования в процессе деления ^{233}U , ^{235}U или ^{239}Pu и активации нейтронами различных материалов присутствующих в активной зоне реактора (конструкционные материалы, топливо, примеси теплоносителя, замедлителя, топлива и т. д.). Активность этих веществ обусловлена в основном короткоживущими радионуклидами. К радиоактивному загрязнению среды могут привести только выход радионуклидов, период полураспада которых больше нескольких минут или даже нескольких часов — в зависимости от физико-химических свойств и особенностей поведения в биосфере.

Все продукты, образуются внутри таблеток ядерного топлива и в основном остаются там. Небольшая часть продуктов деления вследствие диффузии попадает в пространство между таблетками топлива и оболочкой тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ). Выход через герметичную оболочку ТВЭЛ в охлаждающую воду возможен также только за счет процесса диффузии. Этот выход мал для всех нуклидов, кроме трития (радиоактивных протон водорода). Последний же химически связывается цирконием, входящим в состав материала оболочки: в результате выход трития через оболочку не превышает 1%.

На практике некоторые твэлы в активной зоне могут иметь различные дефекты оболочки, возникающие в процессе работы реактора — микротрещины, через которые диффундируют газообразные продукты деления, или большие трещины, через которые возможен прямой контакт воды и топлива, в результате чего в воду может также попасть некоторое количество летучих продуктов деления или даже топлива. В отечественных реакторах типов ВВЭР и РБМК, а также в зарубежных PWR и BWR допускается число газанеплотных твэлов (с микротрещинами) не выше 1 %, а с крупными дефектами — 0,1 %. Фактически количество дефектных твэлов на действующих АЭС, как правило, во много раз меньше предельно допустимых значений.

В зависимости от физико-химического состояния и особенностей поведения в технологических системах АЭС и окружающей среде продукты деления разделяют на следующие группы:

- 1) благородные газы (Ar, Kr, Xe);
- 2) летучие вещества (например йод и цезий I, Cs);
- 3) тритий (Т);
- 4) малолетучие вещества (лантан, стронций, рубидий и др.).

Во всех группах, кроме третьей присутствует большое количество различных биологически значимых радионуклидов.

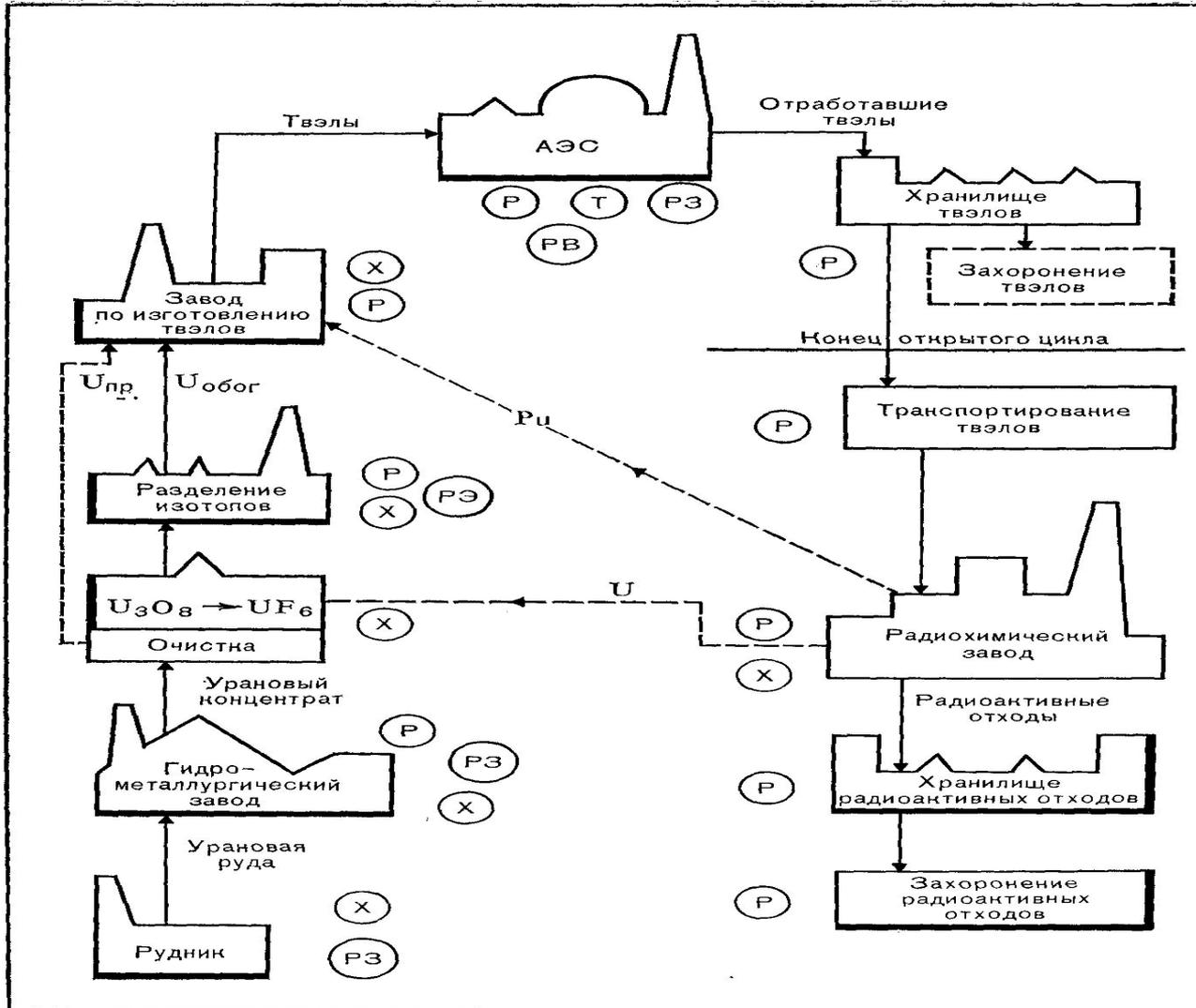
Важнейшими источниками потенциальной радиационной опасности предприятий **ядерно-топливного цикла** являются атомные станции и исследовательские реакторы, что обусловлено накоплением и возможным выбросом продуктов деления ядерного топлива этих объектов.

Предприятия по изготовлению ядерного топлива создают радиационную опасность в связи с поступлением в окружающую среду твердых, жидких и газообразных отходов, содержащих естественные радиоактивные вещества.

На урановых рудниках и горно-металлургических заводах, изготавливающих обогащенный урановый концентрат.

Основным источником радиоактивного загрязнения окружающей среды являются жидкие и твердые радиоактивные отходы при добыче и переработке руды.

Схема типичных открытого и замкнутого (с рециклом U и Pu) ЯТЦ для АЭС с реактором на тепловых нейтронах.



Атомная станция является основным составляющим звеном в ЯТЦ. Основным элементом АЭС является ядерный реактор. Ядерные реакторы классифицируют по различным признакам: физическим конструкционным, по составу и размещению ядерного горючего, по типу замедлителя нейтронов и теплоносителя, по назначению и др.

Принципиальные схемы устройства большинства реакторов во многом одинаковы. Любой ядерный реактор состоит из нескольких зон, различных по назначению. В активной зоне происходят деление ядер горючего, отбор теплоты от тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) путем циркуляции теплоносителя через активную зону. Управление мощностью реактора осуществляется регулируемыми стержнями системы управления и защиты (СУЗ) реактора. Активная зона окружается отражателем нейтронов и размещается в корпусе реактора, защищенном бетонной биологической защитой, Между корпусом и биологической защитой часто устраивают слой радиационной тепловой защиты.

Продукты деления. Большая часть продуктов деления, а также их дочерние продукты, радиоактивны (исключительно β - и γ -активна). Их период полураспада находится в пределах от долей секунды до десятков лет и более.

Все продукты, образуются внутри таблеток ядерного топлива и в основном остаются там. Небольшая часть продуктов деления вследствие диффузии попадает в пространство между таблетками топлива и оболочкой тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ). Выход через герметичную оболочку ТВЭЛ в охлаждающую воду возможен также только за счет процесса диффузии. Этот выход мал для всех нуклидов, кроме трития (радиоактивных протон водорода). Последний же химически связывается цирконием, входящим в состав материала оболочки: в результате выход трития через оболочку не превышает 1%.

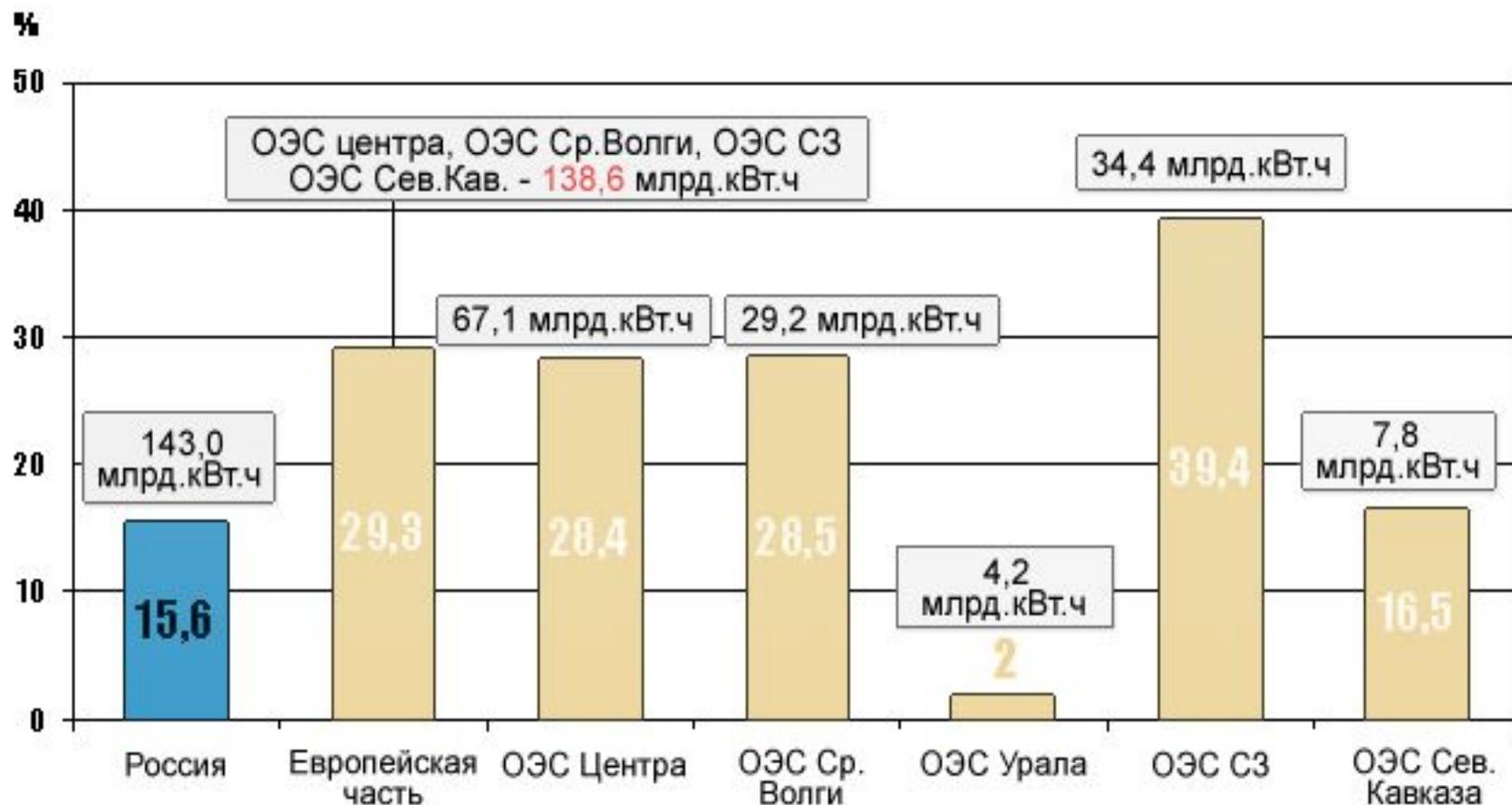
На практике некоторые твэлы в активной зоне могут иметь различные дефекты оболочки, возникающие в процессе работы реактора — микротрещины, через которые диффундируют газообразные продукты деления, или большие трещины, через которые возможен прямой контакт воды и топлива, в результате чего в воду может также попасть некоторое количество нелетучих продуктов деления или даже топлива. В отечественных реакторах типов ВВЭР и РБМК, а также в зарубежных PWR и BWR допускается число газанеплотных твэлов (с микротрещинами) не выше 1 %, а с крупными дефектами — 0,1 %. Фактически количество дефектных твэлов на действующих АЭС, как правило, во много раз меньше предельно допустимых значений.

В зависимости от физико-химического состояния и особенностей поведения в технологических системах АЭС и окружающей среде продукты деления разделяют на следующие группы:

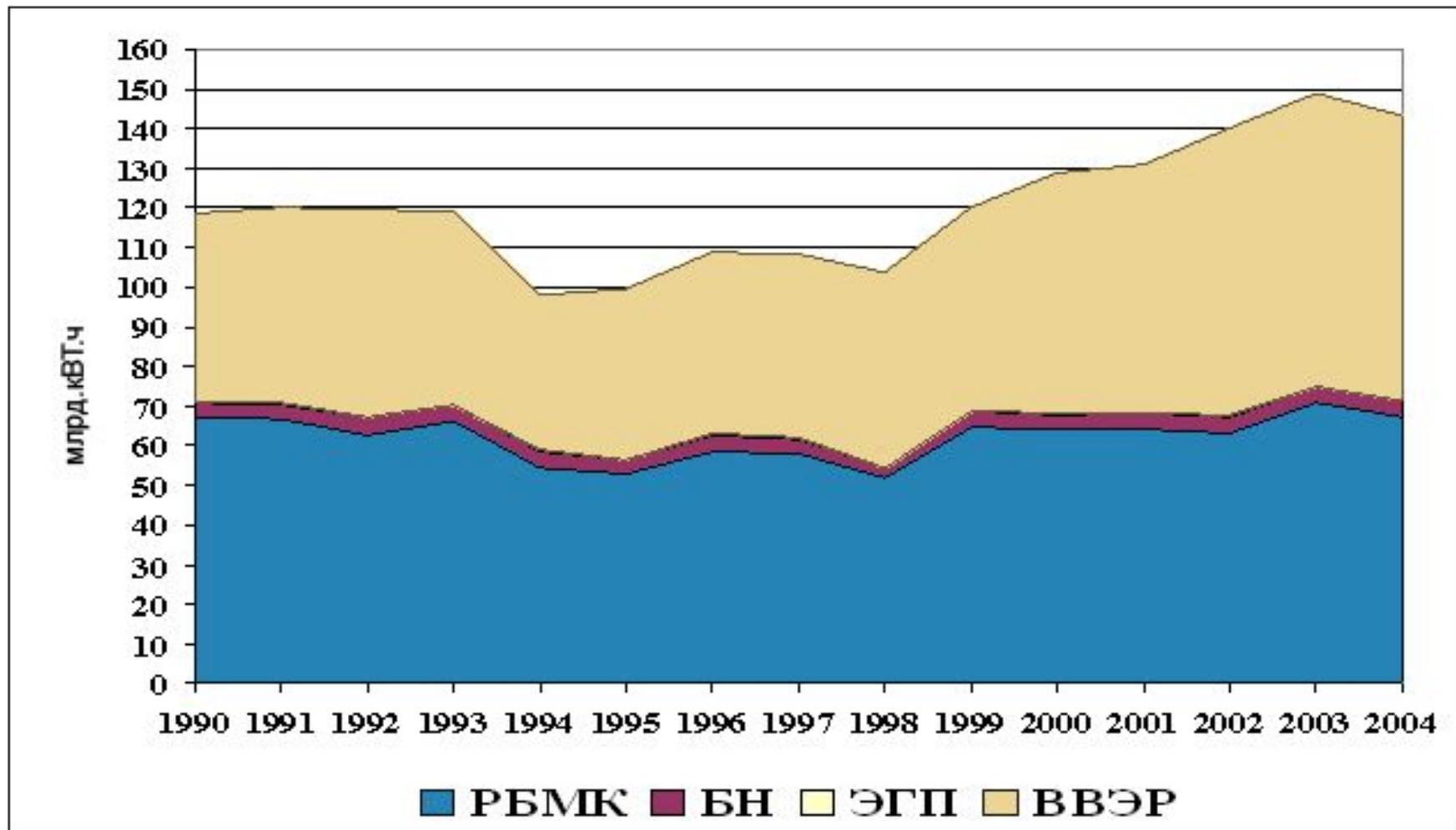
- 1) благородные газы (Ar, Kr, Xe);
- 2) летучие вещества (например йод и цезий I, Cs);
- 3) тритий (Т);
- 4) малолетучие вещества (лантан, стронций, рубидий и др.).

Продукты активации. Эти продукты возникают при активации нейтронами конструкционных материалов, примесей теплоносителя, замедлителя и самого топлива. При этом образуются следующие газообразные радионуклиды: ^{41}Ar , тритий, а образующийся в процессе активации ^{14}C дает при взаимодействии с кислородом радиоактивные оксиды углерода.

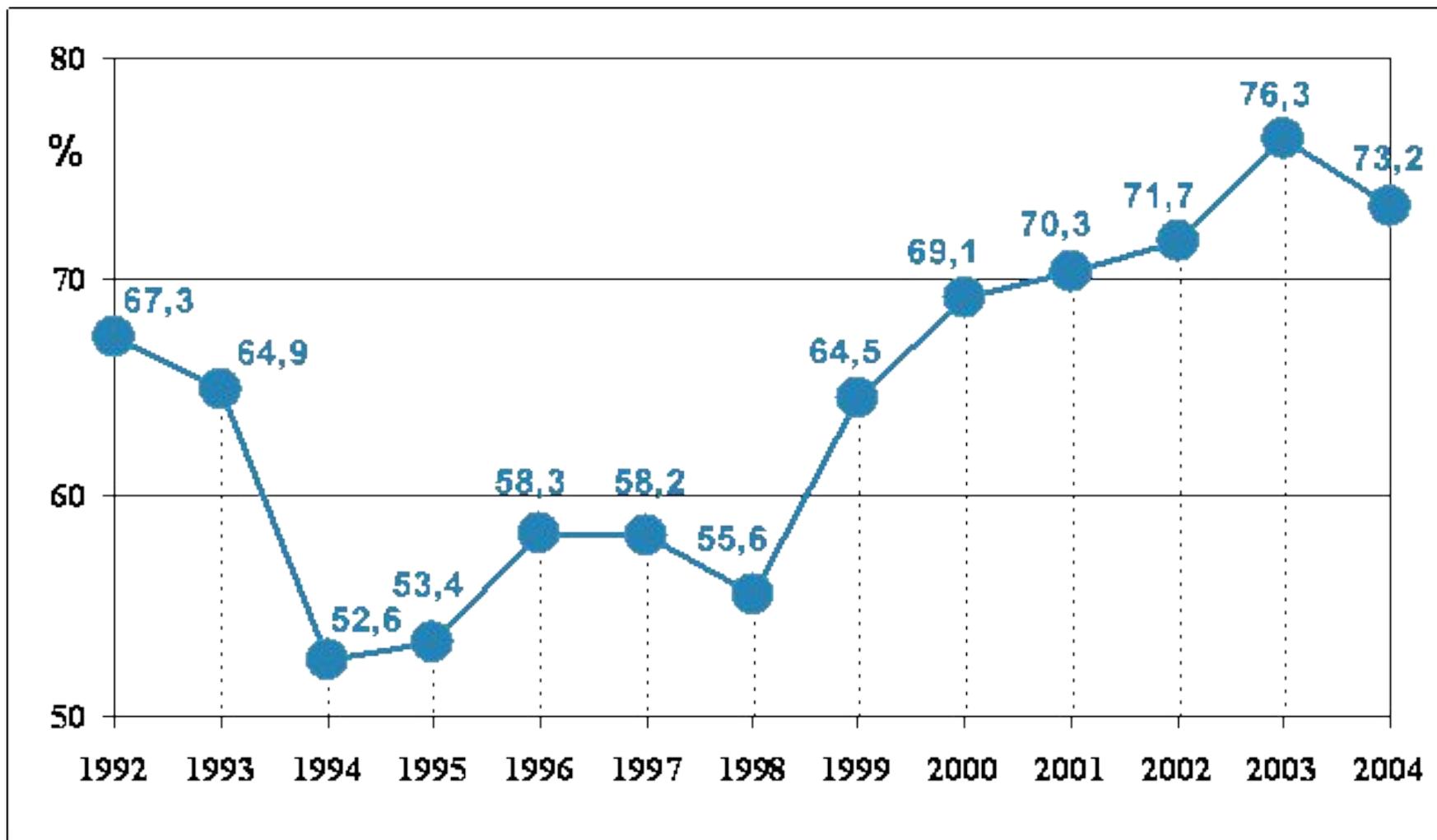
Доля выработки электроэнергии АЭС России в 2004 году



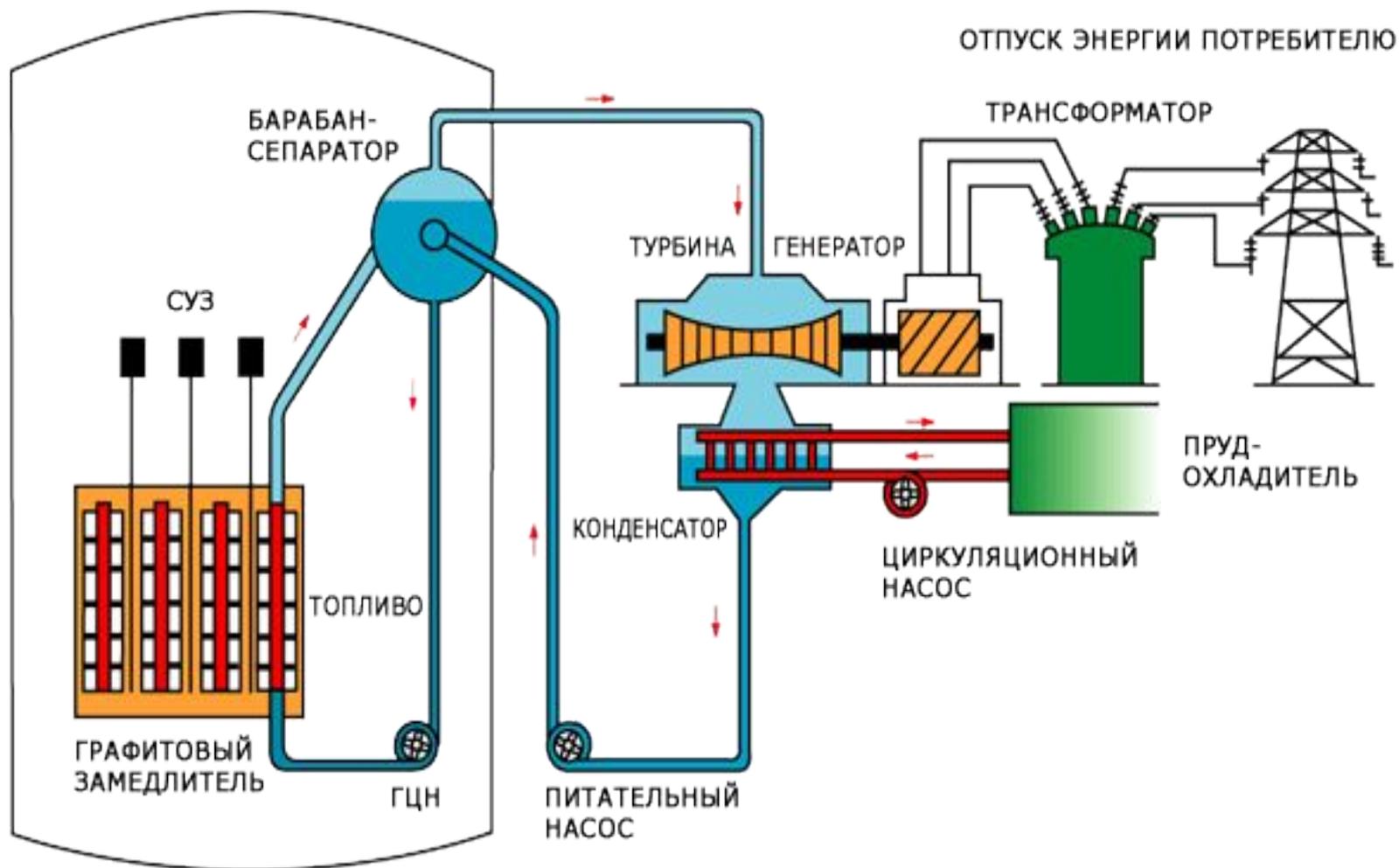
Динамика выработки электроэнергии по типам энергоблоков в 1990-2004 гг.



Динамика изменения коэффициента использования установленной мощности АЭС



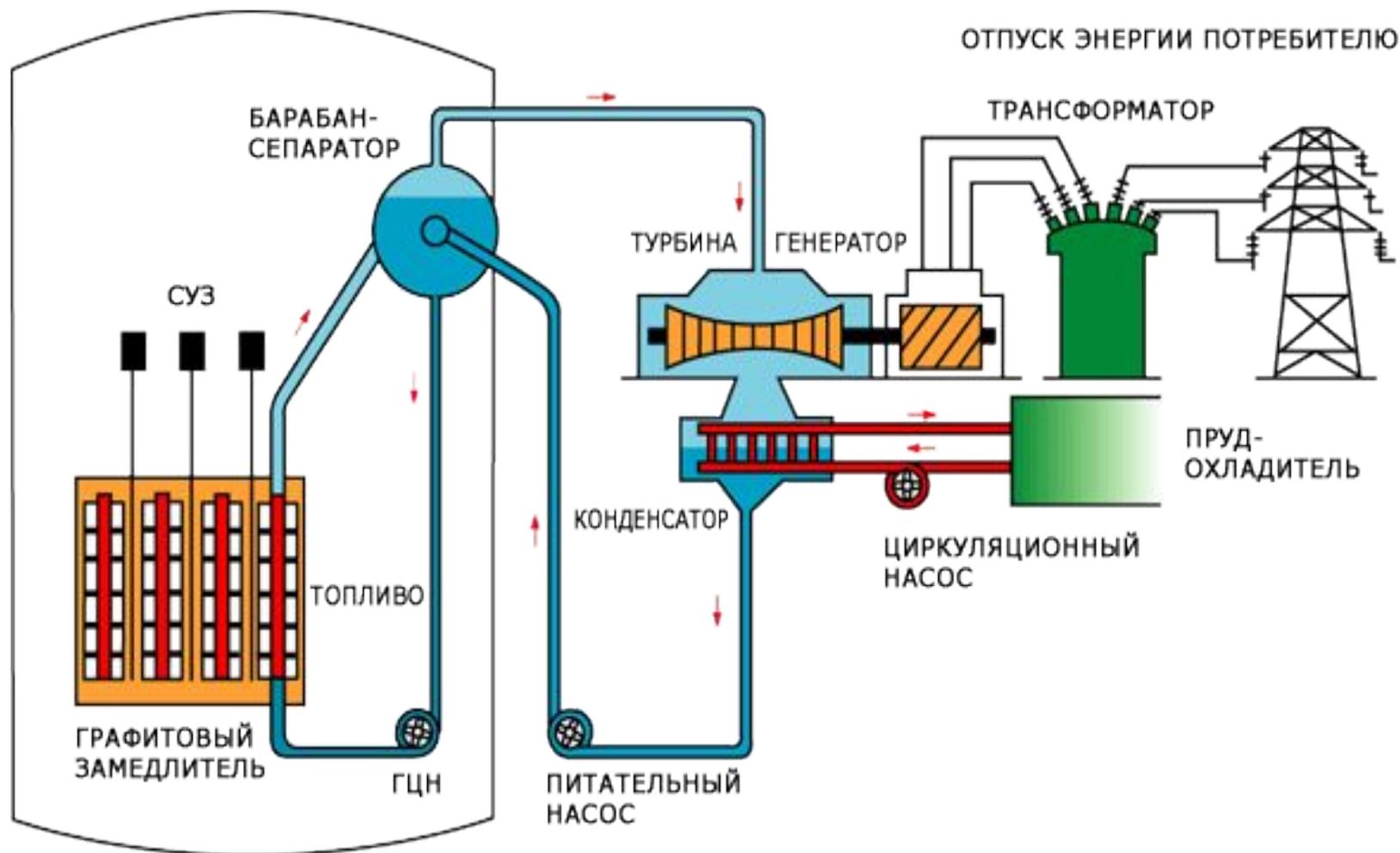
Атомная станция с реактором РБМК



Легководные корпусные реакторы - наиболее распространенный тип реактора в мире. Топливом для этих реакторов служат таблетки оксида слабообогащенного урана (2-4% уран-235) в оболочке из циркониевого сплава - циркалоя. Заменитель и теплоноситель - обычная (легкая) вода.

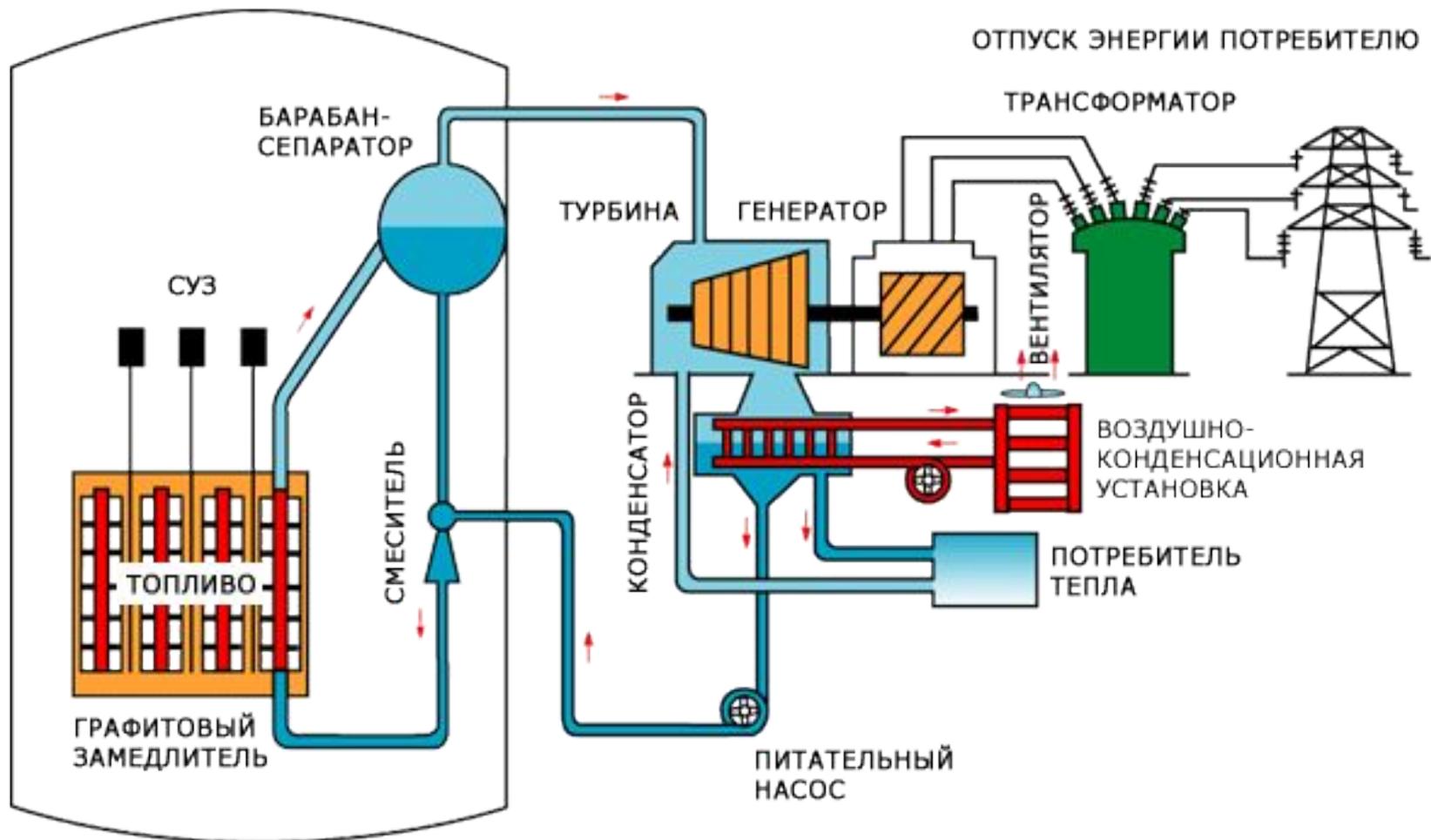
Существуют две разновидности легководных реакторов: охлаждаемые водой под давлением (водо-водяные реакторы или ВВЭР (PWR)) и охлаждаемые кипящей водой (паро-водяные реакторы - ПВР (BWR)). В нашей стране используются реакторы ВВЭР. В реакторе ВВЭР, теплоноситель, нагретый до высокой температуры подается на парогенератор, где тепло передается другому потоку теплоносителя (тоже вода). Т.е. эти реакторы имеют два контура теплоносителя.

Атомная станция с реактором РБМК

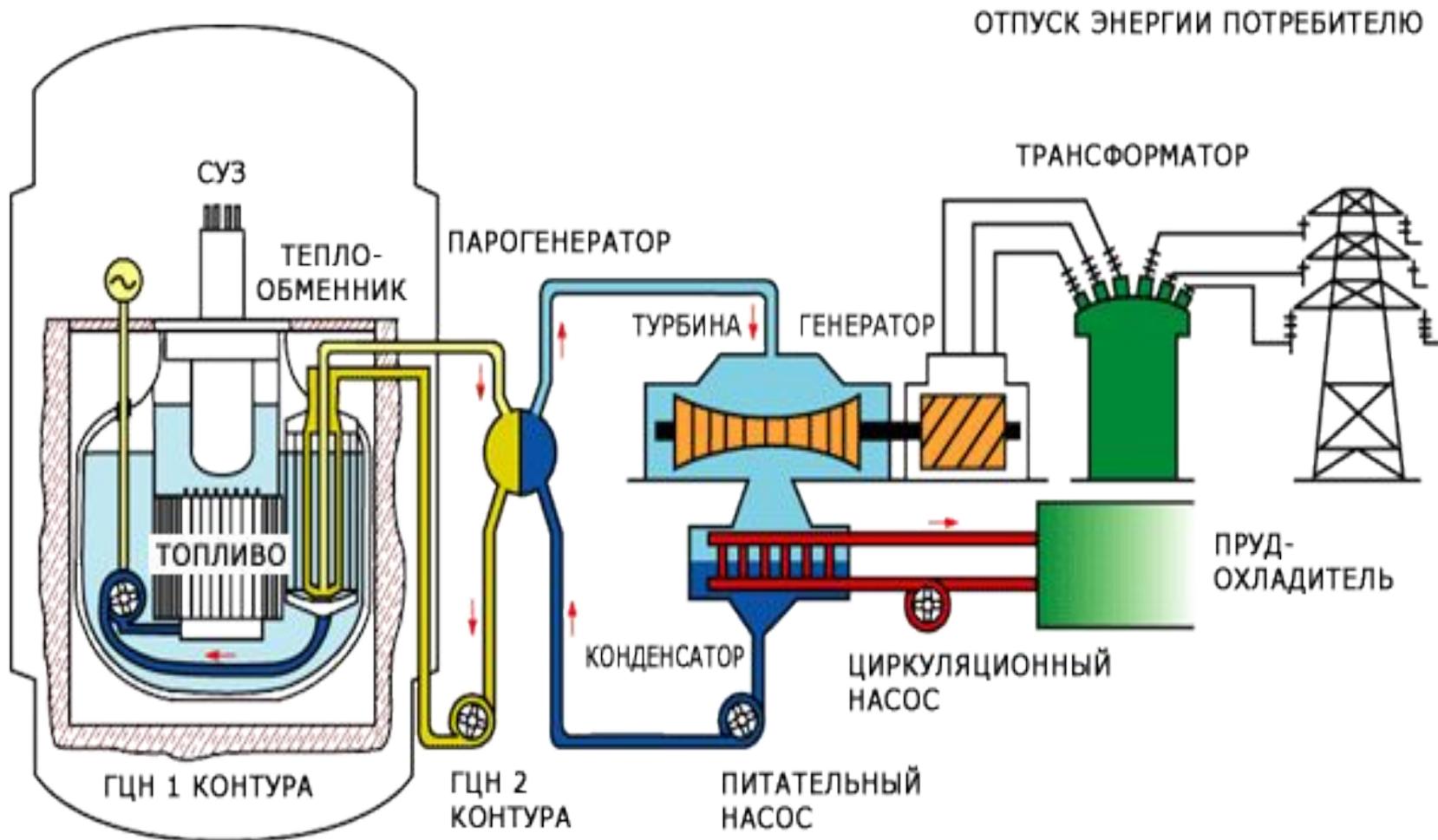


В отличие от легководных корпусных реакторов в водо-графитовых реакторах ВГР (LWGR) в качестве замедлителя нейтронов использован графит. Активная зона выполнена из графитовых блоков, в которых высверлены каналы. Каждый канал охлаждается водой. В реакторах ВГР теплоноситель нагревается до кипения, образующийся пар попадает на лопасти турбины электрогенератора (одноконтурная АЭС). Российским реактором ВРГ является реактор РБМК

Атомная станция с реактором ЭГП-6

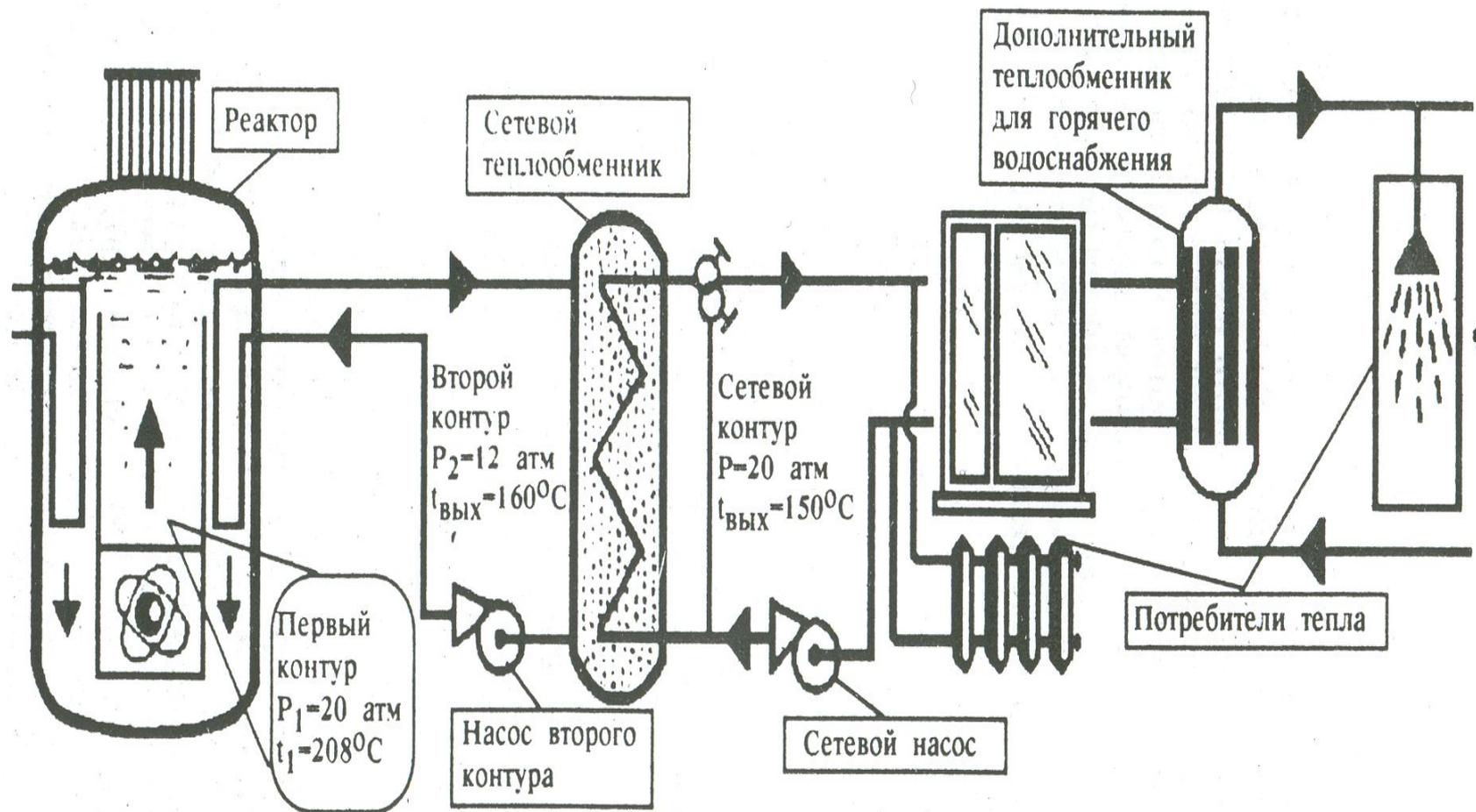


Атомная станция с реактором БН-600



В реакторах на быстрых нейтронах БН (LMFR) в качестве теплоносителя используется натрий. Натрий хорошо проводит тепло, не замедляет и мало поглощается нейтроны. БН состоит из корпуса, заполненного натрием. В бассейн с натрием погружена активная зона. Натрий прокачивается через активную зону насосами. Горячий натрий проходит через теплообменник, в котором тепло натрия первого контура передается натрию второго контура. И далее поток натрия второго контура проходит через парогенератор, испаряя воду третьего контура, пар затем поступает на турбину электрогенератора. Реакторы БН являются трехконтурными. В реакторах БН используется оксидное уран-плутониевое топливо. При этом загружается уран обедненный по изотопу, уран-235 (практически чистый уран-238), который не "работает" в тепловых реакторах.

Принципиальная схема реакторной установки АСТ-500



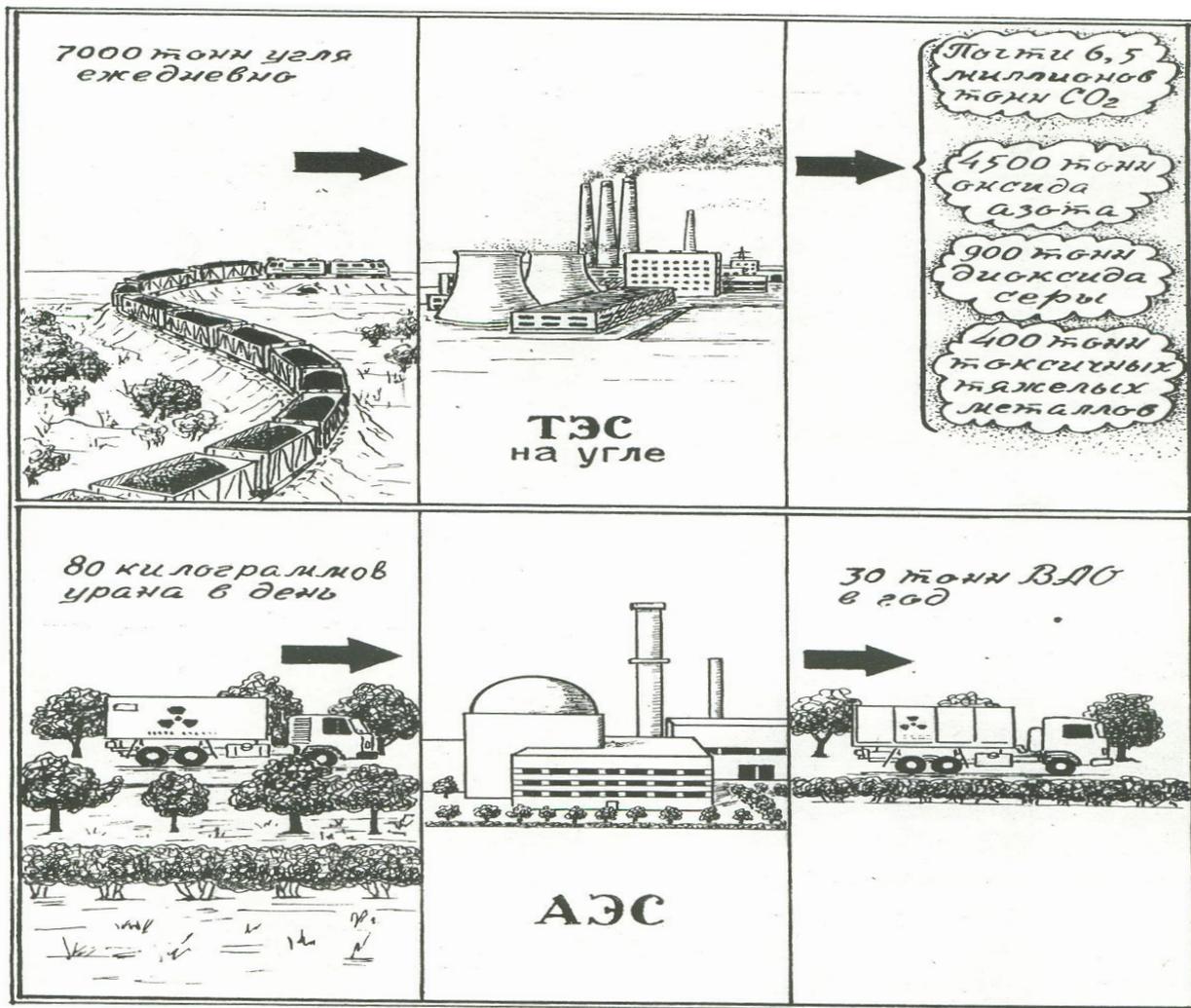
Современная энергетика состоит из трех основных типов электростанций, отличающихся природой используемого топлива: тепловых (ТЭС), работающих на органическом природном топливе, атомных (АЭС), работающих на ядерном горючем, и гидравлических (ГЭС), используемых разность уровней воды, создаваемую с помощью плотин.

Экологическая нагрузка на природную среду, включая и здоровье человека включает в себя учет всего топливно-энергетического цикла: добычу топлива, его переработку, транспортировку, работу станций, воздействие сбросов, атмосферных выбросов, возможных аварий.

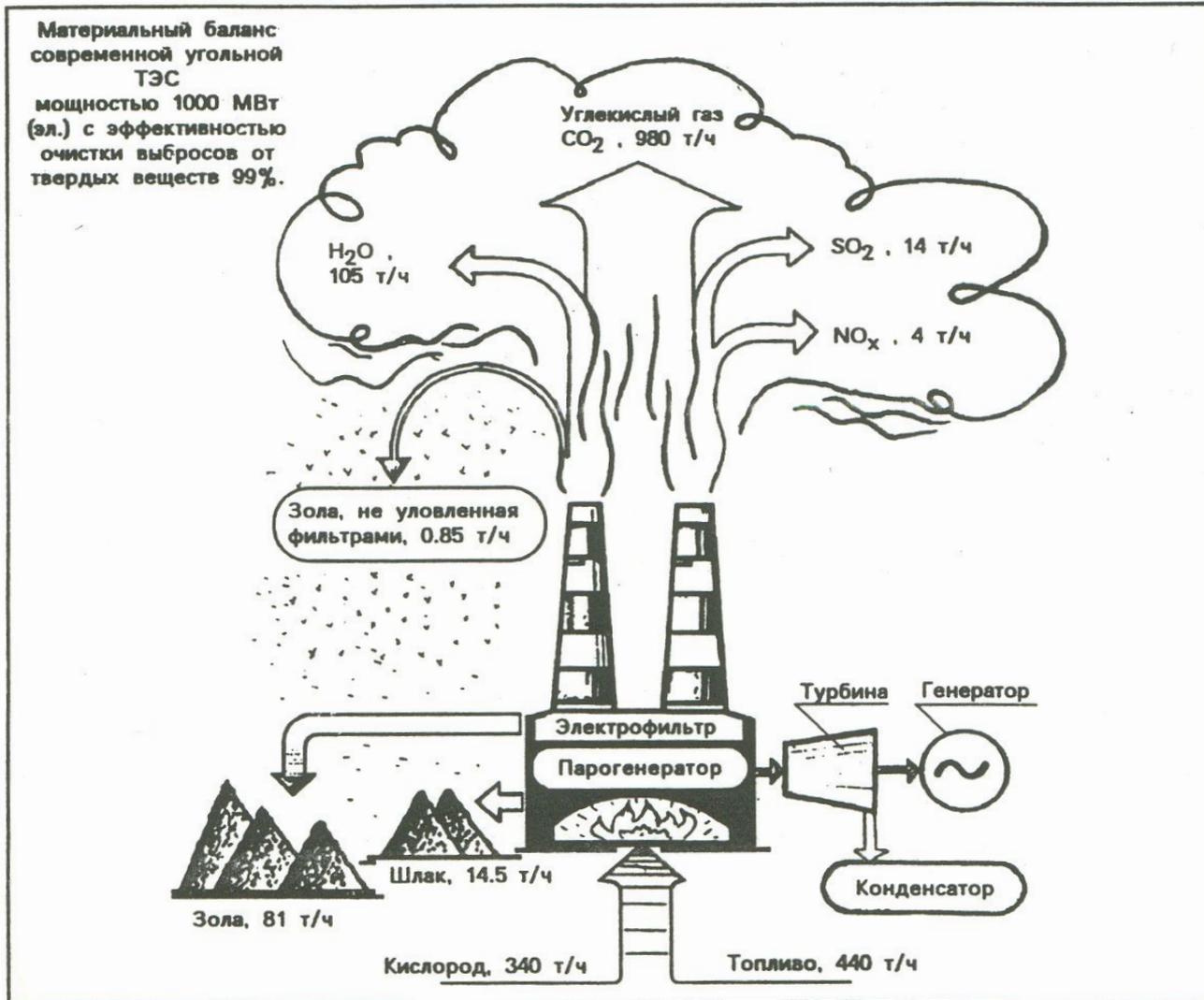
Важнейшей характеристикой топлива является его **возобновляемость**. Природные ресурсы, использование которых практически не изменяет их запасы и интенсивность называют возобновляемыми. К ним относят гидроресурсы, солнечную, ветровую и некоторые другие формы энергии. На тепловых станциях используется органическое топливо (горючие сланцы, бурый уголь, антрацит, мазут, природный газ), которое является невозобновляемым. На атомных электростанциях используется ядерное топливо (U-239, U-235, Pu-239), являющиеся частично возобновляемыми. U-235 непосредственно получается из природной урановой руды, искусственно получаемые Pu-239 и U-233 являются вторичным топливом. В урановых и ториевых рудах наиболее распространены в природе изотопы U-238 и Th-232.

ТЭС, работающие на угле, впрочем как и все ТЭС на органическом топливе, оказывают значительное влияние на окружающую природную среду за счет выброса при сгорании топлива в атмосферу значительного количества углекислого газа, окислов азота, диоксида серы, тяжелых токсичных металлов. Кроме того, уголь рассыпается при перегрузках, высыпается через щели блоков, затем распыляется, переносится ветрами, посыпает поля, леса, улицы городов и поселков, попадает в дома и в конечном итоге - в легкие человека. Транспортировка нефти и газа связана с их значительными утечками, отравляющими воздух вблизи нефте- и газопроводов, что приводит к отравлению людей, проживающих вблизи них.

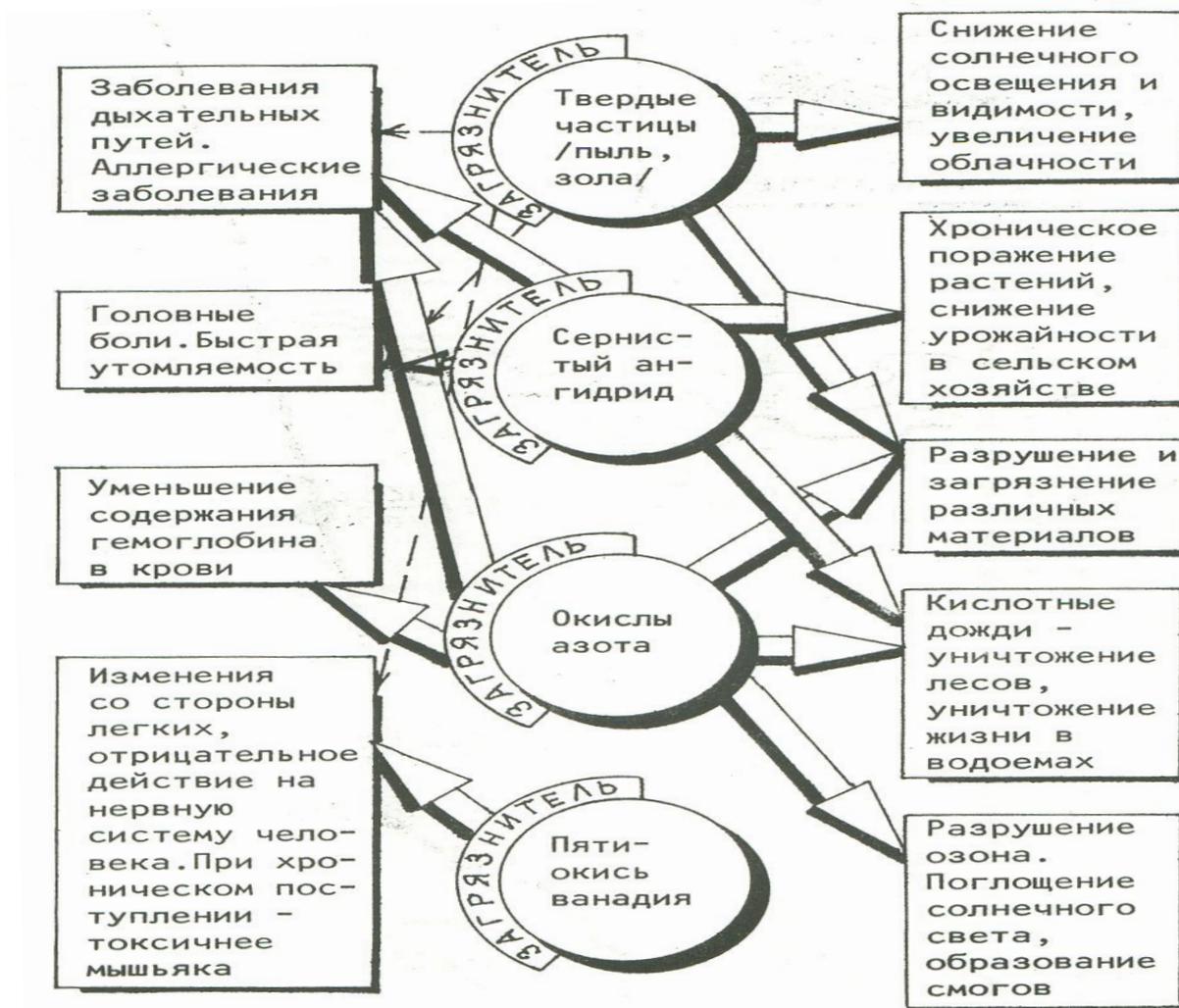
Ежесуточный расход угля и урана для выработки одинакового количества энергии.



Материальный баланс современной угольной ТЭС мощностью 1000МВт(эл).



Воздействие на здоровье и окружающую среду вредных выбросов энергетических и промышленных предприятий.



Радон, накапливаясь в закрытых помещениях, способен создавать повышенные дозовые нагрузки

