Технологии получения энергии на атомных электростанциях

А́томная электроста́нция (АЭС)

— электростанция, в которой атомная (ядерная) энергия преобразуется в электрическую.

Генератором энергии на АЭС является атомный реактор.

Тепло, которое выделяется в реакторе в результате цепной реакции деления ядер некоторых тяжёлых элементов, затем так же, как и на обычных тепловых электростанциях (ТЭС), **преобразуется в электроэнергию**.

В отличие от ТЭС, работающих на органическом топливе, АЭС работает на **ядерном горючем (в основном 233 U, 235 U, 239 Pu**).

Что такое ядерная энергия и ядерная энергетика?

Ядерная энергия (атомная энергия) – это энергия, содержащаяся в атомных ядрах и выделяемая при ядерных реакциях.

Обычно для получения ядерной энергии используют цепную ядерную реакцию деления ядер урана-235 или плутония. Ядра делятся при попадании в них нейтрона, при этом получаются новые нейтроны и осколки деления. Нейтроны деления и осколки деления обладают большой кинетической энергией. В результате столкновений осколков с другими атомами эта кинетическая энергия быстро преобразуется в тепло.

Другим способом высвобождения ядерной энергии является термоядерный синтез. При этом два ядра лёгких элементов соединяются в одно тяжёлое. Такие процессы происходят на Солнце.

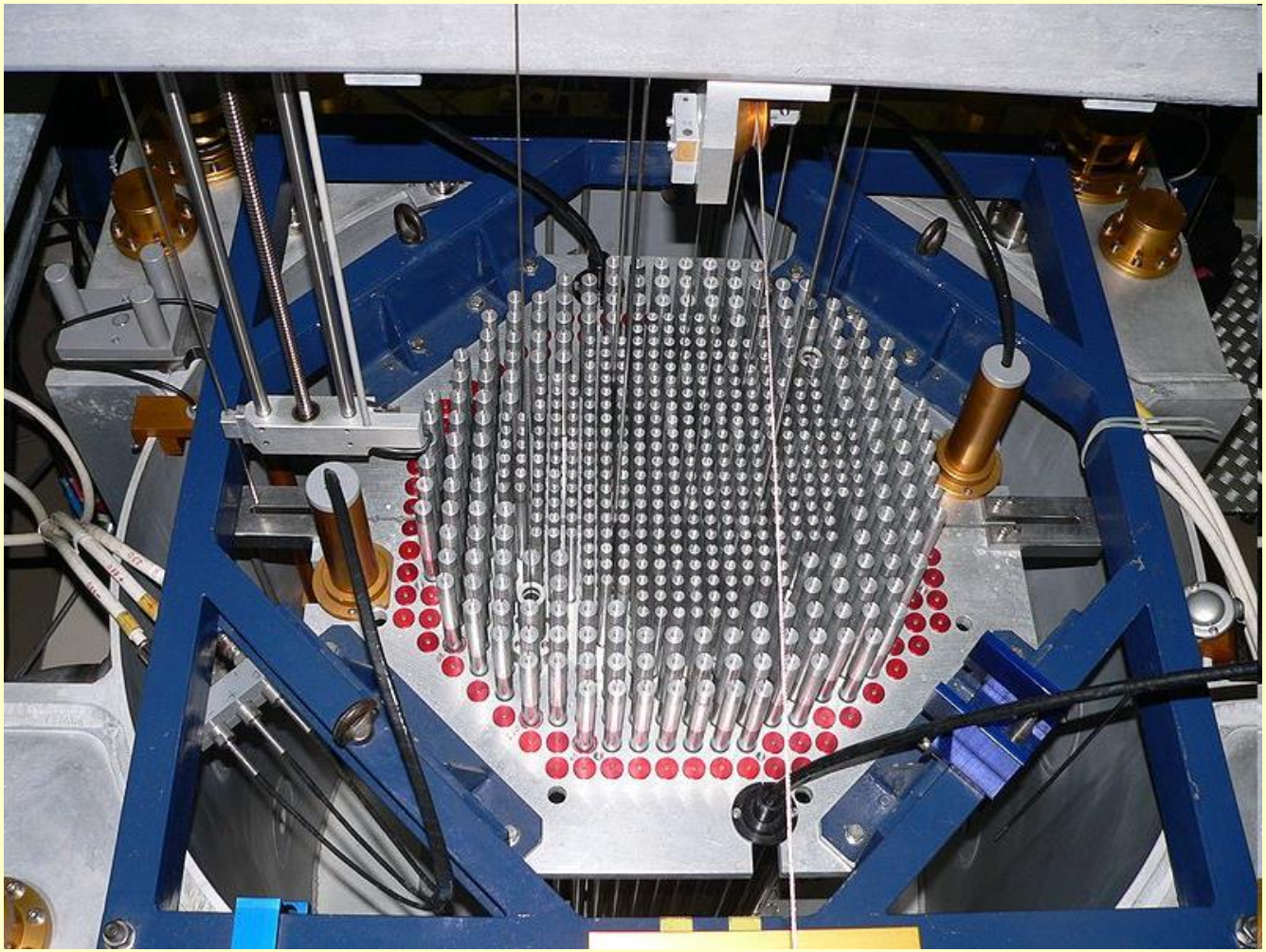
Многие атомные ядра являются неустойчивыми. С течением времени часть таких ядер самопроизвольно превращаются в другие ядра, высвобождая энергию. Такое явление называют радиоактивным распадом.

Ядерная энергетика (атомная энергетика) – это отрасль энергетики, занимающаяся производством электрической и тепловой энергии путём преобразования ядерной энергии.

Ядерная энергия производится в атомных электрических станциях, используется на атомных ледоколах, атомных подводных лодках; США осуществляют программу по созданию ядерного двигателя для космических кораблей (СССР на момент своего распада уже имел рабочий образец), кроме того, предпринимались попытки создать ядерный двигатель для самолётов (атомолётов) и

История

Ядерный реактор – устройство, в котором осуществляется управляемая цепная ядерная реакция, сопровождающаяся выделением энергии. Первый ядерный реактор построен в декабре 1942 года в США под руководством Э. Ферми. В Европе первым ядерным реактором стала установка Ф-1. Она была запущена 25 декабря 1946 года в Москве под руководством И. В. Курчатова.



Во второй половине 40-х гг., ещё до окончания работ по созданию первой советской атомной бомбы (её испытание состоялось 29 августа 1949 года), советские учёные приступили к разработке первых проектов мирного использования атомной энергии, генеральным направлением которого сразу же стала электроэнергетика.

В 1948 г . начались первые работы по практическому применению энергии атома для получения электроэнергии.

Первая в мире промышленная атомная электростанция мощностью 5 МВт была запущена 27 июня 1954 в СССР, в посёлке Обнинское Калужской области (сейчас город Обнинск), на базе «Лаборатории В». Была оснащена одним уран-графитовым канальным реактором с водяным теплоносителем АМ-1 (аббревиатура АМ изначально означала «атом морской», так как реактор был предназначен для транспортной установки, однако его размеры оказались слишком велики и было принято решение об использовании данного реактора для гражданской энергетики, в результате чего расшифровкой аббревиатуры АМ стало сочетание «атом мирный» мощностью 5 МВт.

Идеи конструкции активной зоны станции была предложена И. В. Курчатовым совместно с профессором С. М. Фейнбергом, главным конструктором стал академик Н. А. Доллежаль. Первая партия топлива для Обнинской АЭС в количестве 514 ТВЭЛОВ была изготовлена на Машиностроительном заводе Электросталь (Московская обл.).

Реактор Обнинской АЭС, помимо выработки энергии, служил базой для экспериментальных исследований и для выработки изотопов для нужд медицины. Опыт эксплуатации первой по сути экспериментальной атомной станции полностью подтвердил инженерно-технические решения, предложенные специалистами атомной отрасли, что позволило приступить к реализации широкомасштабной программы по строительству новых АЭС.

В настоящее время Обнинская АЭС выведена из эксплуатации. Её реактор был заглушен 29 апреля 2002 года, успешно проработав почти 48 лет. Остановка реактора была вызвана научно-технической нецелесообразностью его дальнейшей эксплуатации.

На базе Обнинской АЭС создан музей атомной энергетики.

За пределами СССР первая АЭС промышленного назначения мощностью 46 МВт была введена в эксплуатацию в 1956 в Колдер-Холле (Великобритания). Через год вступила в строй АЭС мощностью 60 МВт в Шиппингпорте (США).

Классификация

По типу реакторов :

- Реакторы на тепловых нейтронах, использующие специальные замедлители для увеличения вероятности поглощения нейтрона ядрами атомов топлива:

- реакторы на лёгкой воде;

- реакторы на тяжёлой воде.

- Реакторы на быстрых нейтронах.

- Субкритические реакторы, использующие внешние источники нейтронов.

- Термоядерные реакторы.

По виду отпускаемой энергии :

- Атомные электростанции (АЭС), предназначенные для выработки электрической энергии. При этом на многих АЭС есть теплофикационные установки, предназначенные для подогрева сетевой воды, используя тепловые потери станции.

- Атомные теплоэлектроцентрали (АТЭЦ), вырабатывающие как электроэнергию, так и тепловую энергию.

Ядерное топливо

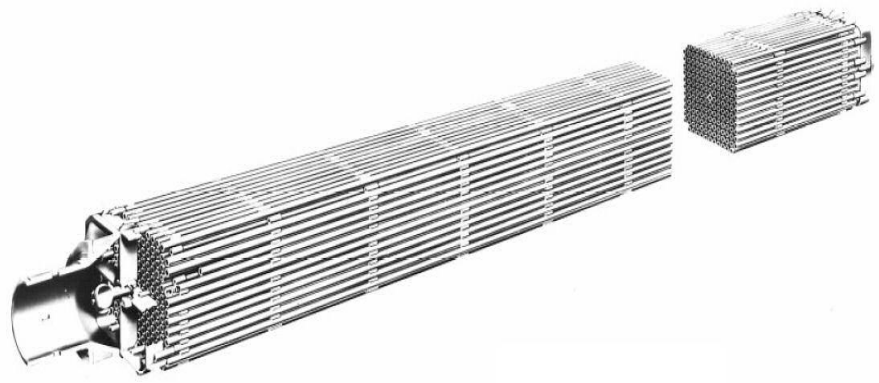
Ядерное топливо используется в ядерных реакторах, где оно обычно располагается в герметично закрытых тепловыделяющих элементах (ТВЭЛах).

Ядерное топливо делится на два вида:

- Природное урановое, содержащее делящиеся ядра ^{235}**U** (0.7%) с большим сечением процесса деления, а также сырье ^{238}**U** (99.3%), способное при захвате нейтрона образовывать плутоний ^{239}**Pu**;
- Вторичное топливо, которое не встречается в природе, в том числе ^{239}**Pu**, получаемый из топлива первого вида, а также изотопы ^{233}**U**, образующиеся при захвате нейтронов ядрами тория ^{232}**Th**.

По химическому составу ядерное топливо может быть:

- Металлическим, включая сплавы;
- Оксидным (например, $\mathbf{UO_2}$);
- Карбидным (например, **PuC**)



Наиболее широко применяются оксиды, слабо подверженные распуханию из-за накопления в них продуктов деления (прочны)

Получение ядерного топлива

Урановое ядерное топливо получают переработкой руд.

В настоящее время богатые месторождения урановых руд отсутствуют (исключения составляют канадские месторождения, где концентрация урана доходит до 30%; и австралийские с содержанием урана до 3%).

В относительно **богатых** рудных месторождениях может быть экономически оправдана добыча руд карьерным и шахтовым методом. Руда дробится и отстаивается в воде, тяжелые оксиды урана (обычно $\mathbf{U_3O_8}$) осаждаются быстрее.

В случае **бедных** месторождений используется более дешевый способ подземного вышелачивания руд, т.е. через закачные трубы под землю над месторождением закачивается серная кислота или едкий натр (в зависимости от состава руды и породы в месторождении), которые вымывают оксиды урана из породы. Полученный раствор откачивается через откачные трубы.

Полученный в результате оксид переводится в $\mathbf{UF_6}$ при взаимодействии прямо с плавиковой кислотой **HF**; или с азотной кислотой $\mathbf{HNO_3}$ с последующим фторированием, в зависимости от состава исходных материалов.

Полученное вещество относительно эффективно можно подвергать *обогащению* по изотопу $^{235}\mathbf{U}$ (для АЭС необходимо обогащение до 10%).

Обогащение ядерного топлива

Обогащение UF_6 производится газовой диффузией или центрифугированием.

<u>Принцип газовой диффузии</u>: различие в скоростях движения различных по массе молекул газа. При движении молекул через пористые мембраны (как бы тонкие трубочки), более легкие обгонят более тяжелые. Для этого трубка должна быть настолько тонка, чтобы молекулы двигались по ней поодиночке. Основная проблема – изготовление мембран для разделения. Уран на каждой ступени обогащается в 1.00429 раза. Поэтому газодиффузионные обогатительные предприятия огромны по размерам, состоят из тысяч ступеней обогащения.

<u>Принцип центрифугирования</u>: центробежная сила в высокоскоростной центрифуге разделит более легкие и тяжелые частицы на слои. Степень разделения пропорциональна квадрату отношения скорости вращения к скорости молекул в газе. Коэффициент сепарации – до 1.1. По сравнению с газодиффузионными установками этот метод имеет уменьшенное энергопотребление, большую легкость в наращивании мощности. В настоящее время газовое центрифугирование — основной метод разделения изотопов.

UF_6, обогащенный по изотопу 235, растворяется в азотной кислоте (для избавления от B, Cd и т.д., у которых большое сечение захвата тепловых нейтронов). Прокаливанием осадок переводят в двуокись UO_2, из которой и изготавливают «таблетки» ТВЭЛов.

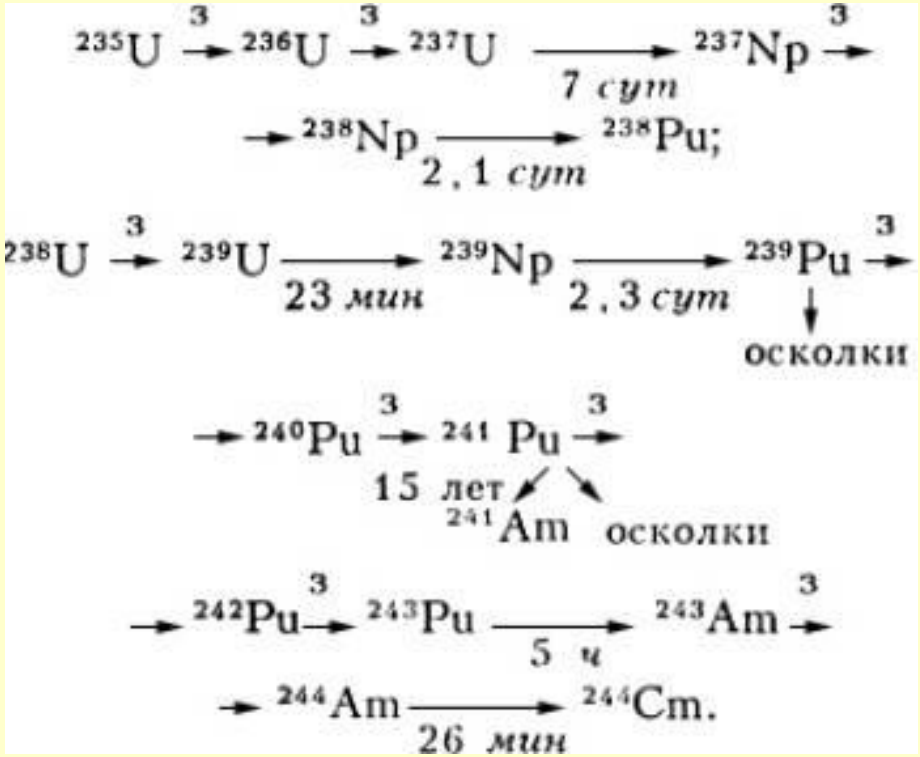
Выгорание и воспроизводство ядерного топлива

Начальный состав топлива АЭС: ^{238}U - 77350, ^{235}U - 2630, ^{234}U - 20

Состав извлекаемого ядерного топлива (в *кг*) в водо-водяном реакторе.

^{238}U 75400	^{235}U 640	^{239}Pu 420	^{236}U 360	^{240}Pu 170
^{241}Pu 70	^{237}Np 39	^{212}Pu 30	^{238}Pu 14	^{241}Am 13
^{231}U 10	^{243}Am 8	^{244}Cm 2	Более тяжелые изотопы 0,2	Осколки 2821

Выгружается одновременно вся активная зона после работы реактора в течение 3 *лет* и «выдержки» 3 *лет*



Приключения урана в реакторе

Общая масса загруженного топлива на 3 *кг* превосходит массу выгруженного (выделившаяся энергия «весит» 3 *кг*).

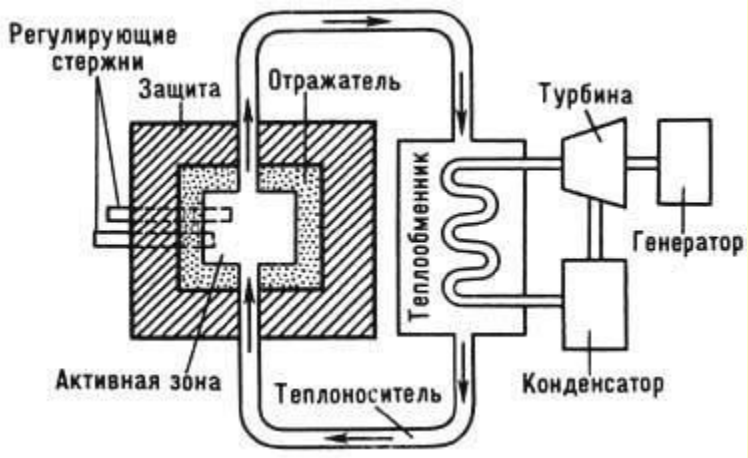
Конструкция реактора АЭС (упрощенно)

Основные элементы:

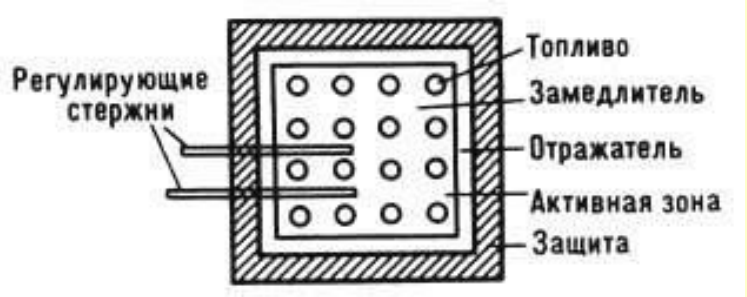
- Активная зона с ядерным топливом и замедлителем;
- Отражатель нейтронов, окружающий активную зону;
- Теплоноситель;
- Система регулирования цепной реакции, в том числе аварийная защита
- Радиационная защита
- Система дистанционного управления

Основная характеристика реактора — его выходная мощность.

Мощность в 1 МВт — $3 \cdot 10^{16}$ делений в 1 сек.



Схематическое устройство АЭС



Разрез гетерогенного реактора

Устройство атомной электростанции

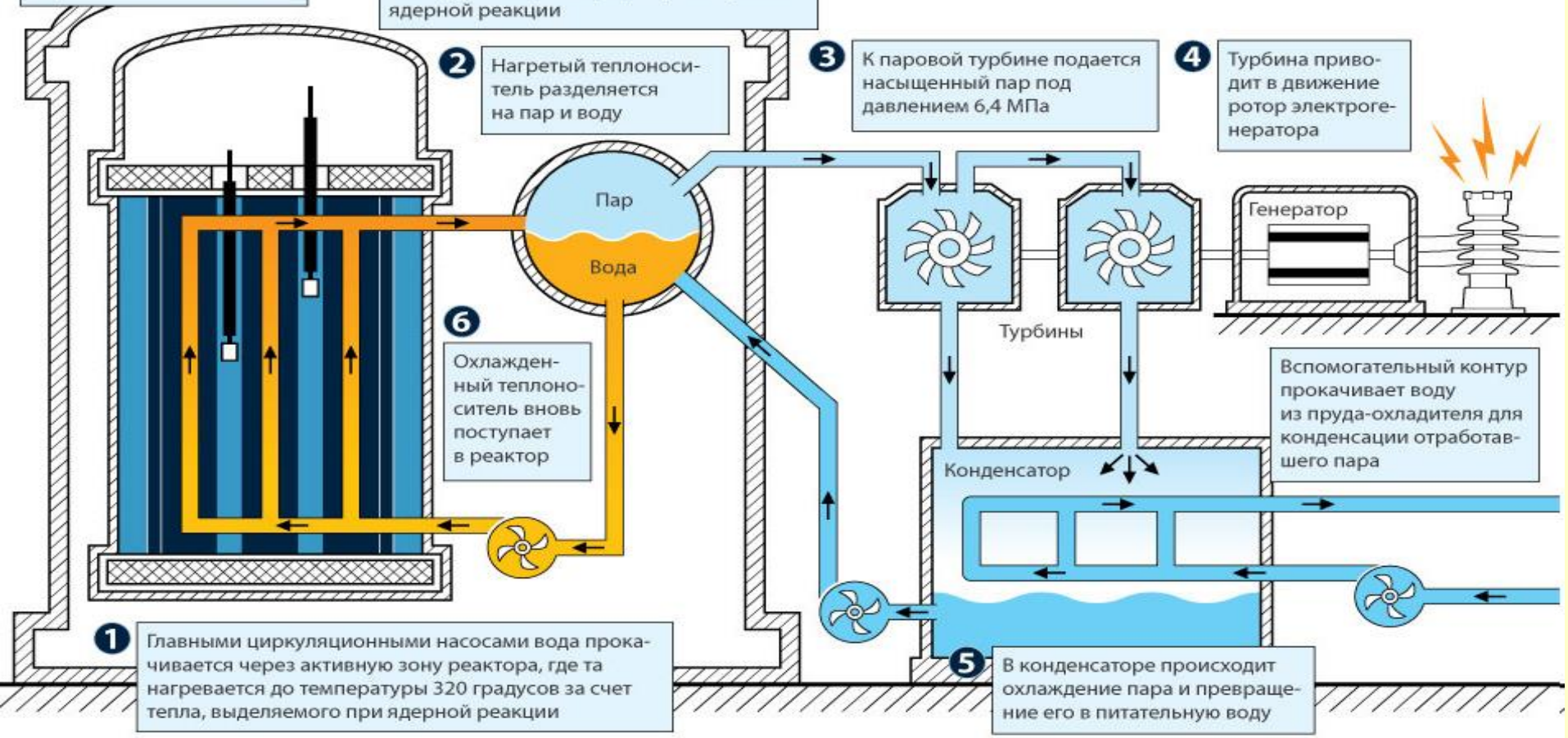
Атомная электростанция (АЭС) – комплекс сооружений, предназначенных для выработки электрической энергии путем использования энергии, выделяемой при контролируемой ядерной реакции

Основные процессы в работе АЭС

На примере АЭС с канальным реактором большой мощности (РБМК)

Основной блок АЭС – атомный реактор

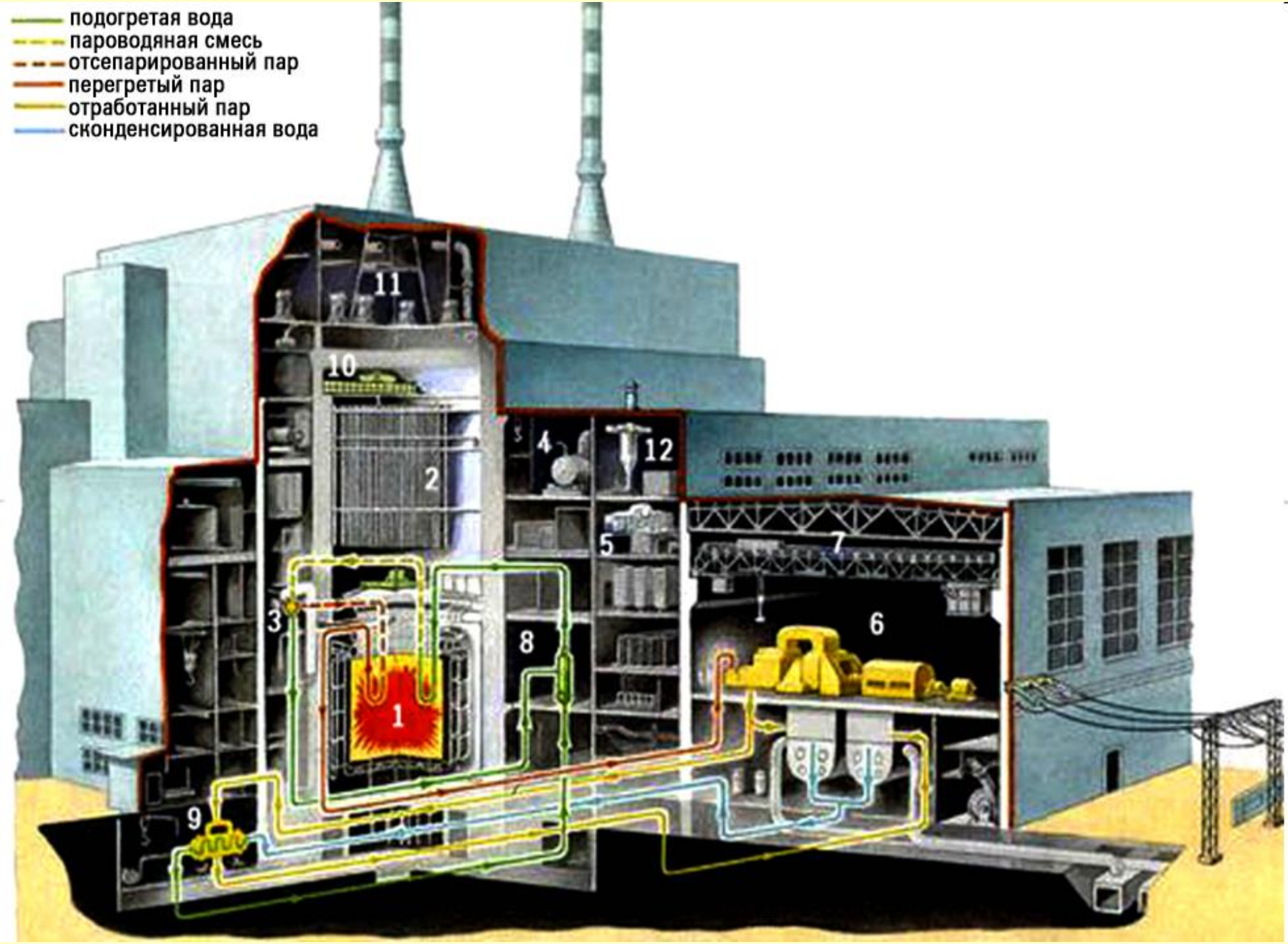
- Легководный реактор:
  - кипящий – пар, вращающий турбины, образуется в активной зоне (РБМК – реактор большой мощности, канальный)
  - водо-водяной – пар образуется во втором контуре, связанном с первым контуром теплообменниками и парогенераторами (энергетический реактор – ВВЭР)
- Газоохлаждаемый реактор с графитовым замедлителем
- Реактор, в котором и теплоносителем, и замедлителем является тяжелая вода, а топливом – природный уран
- Существует также реактор на быстрых нейтронах



Принцип действия АЭС

Энергия, выделяемая в активной зоне реактора, передаётся теплоносителю первого контура. Далее теплоноситель поступает в теплообменник (парогенератор), где нагревает до кипения воду второго контура. Полученный при этом пар поступает в турбины, вращающие электрогенераторы. На выходе из турбин пар поступает в конденсатор, где охлаждается большим количеством воды, поступающим из водохранилища.

Помимо воды, в различных реакторах в качестве теплоносителя могут применяться также расплавы металлов: натрий, свинец, сплав свинца с висмутом и др. Использование жидкометаллических теплоносителей позволяет упростить конструкцию оболочки активной зоны реактора (в отличие от водяного контура, давление в жидкометаллическом контуре не превышает атмосферное), избавиться от компенсатора давления.


подогретая вода
пароводяная смесь
отсепарированный пар
перегретый пар
отработанный пар
сконденсированная вода
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

Достоинства и недостатки атомных станций

➢+

•**Отсутствие вредных выбросов (выбросы радиоактивных веществ в несколько раз меньше угольной электростанции той же мощности);**

•**Небольшой объем используемого топлива, возможность после его переработки использовать многократно;**

•**Высокая мощность: 1000—1600 МВт на энергоблок;**

•**Низкая себестоимость энергии (единицы центов на квтчас), особенно тепловой.**

➢-

•**Облученное топливо опасно, требует сложных и дорогих мер по переработке и хранению;**

•**При низкой вероятности аварий последствия их крайне тяжелы**

Большие капиталовложения, как удельные, для блоков мощностью менее 700—800 МВт, так и общие, необходимые для постройки станции, ее инфраструктуры, а также в случае возможного демонтажа.

Безопасность атомных электростанций

<u>Необходимо учитывать при размещении АЭС:</u>

- прочность грунта
- возможность землетрясений и пр. стихийных бедствий
- близость крупных населенных пунктов
- возможность терактов

<u>Воздействие на здоровье человека</u>

Кроме маловероятных катастроф, сохраняется опасность малых доз облучения при:

- добыче и обогащении топлива
- обслуживании ядерного реактора
- утилизации отходов

Утилизация радиоактивных отходов

Отходы можно подразделить на:

- отработанное ядерное топливо – подвергается переработке в регенерированное топливо, и твердые и жидкие отходы
- твердые отходы – захораниваются
- жидкие отходы – переводятся в твердые и захораниваются

Захоронение:

- в шахтах, не допускающих утечки: (ВВР) начато строительство хранилища в гранитном массиве на глубине около 1000 м
- под водой на глубинах более 3000 м

В будущем:

- проблема поиска мест для захоронения отходов
- проблема консервации оборудования и сооружений отслуживших АЭС

Кольская АЭС

— Филиал ОАО «Концерн Росэнергоатом» «Кольская атомная станция», расположенная в 12 км от города Полярные Зори, Мурманской области.

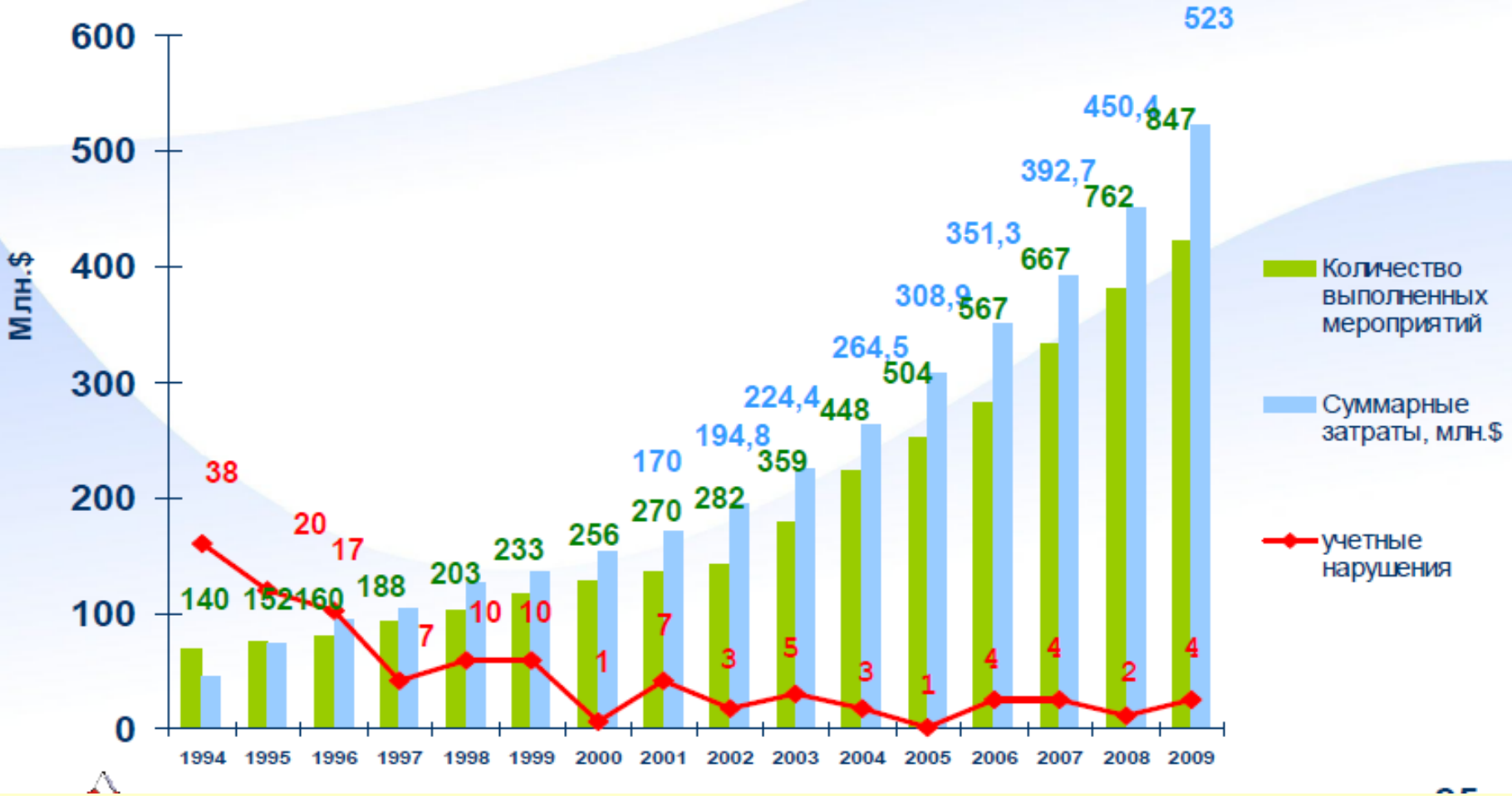
Станция состоит из четырёх энергоблоков, с реакторами типа ВВЭР-440 и турбинами К-220-44-3 Харьковского Турбинного Завода и генераторами ТВВ-220-2АУЗ производства Санкт-Петербургского завода Электросила. Тепловая мощность АЭС составляет 5 500 МВт, что соответствует установленной электрической мощности 1 760 МВт.

Организационно разделяется на 1-ю (блок 1,2) и 2-ю (блок −3,4) очереди, в связи с отличиями в конструкции реакторных установок ВВЭР-440 проекта В-230 (блок 1,2) и В-213 (блоки 3,4).

В 1991—2005 г. на 1-й очереди была проведена большая реконструкция оборудования, что позволило привести её в соответствие с новыми требованиями ПЯБ (правил ядерной безопасности) и продлить срок эксплуатации на 27 лет.

В 2006 г. введён в действие комплекс по переработке жидких радиоактивных отходов (КП ЖРО). Связь с энергосистемой осуществляется по четырём линиям электропередач (ЛЭП) напряжением 330 кВ.

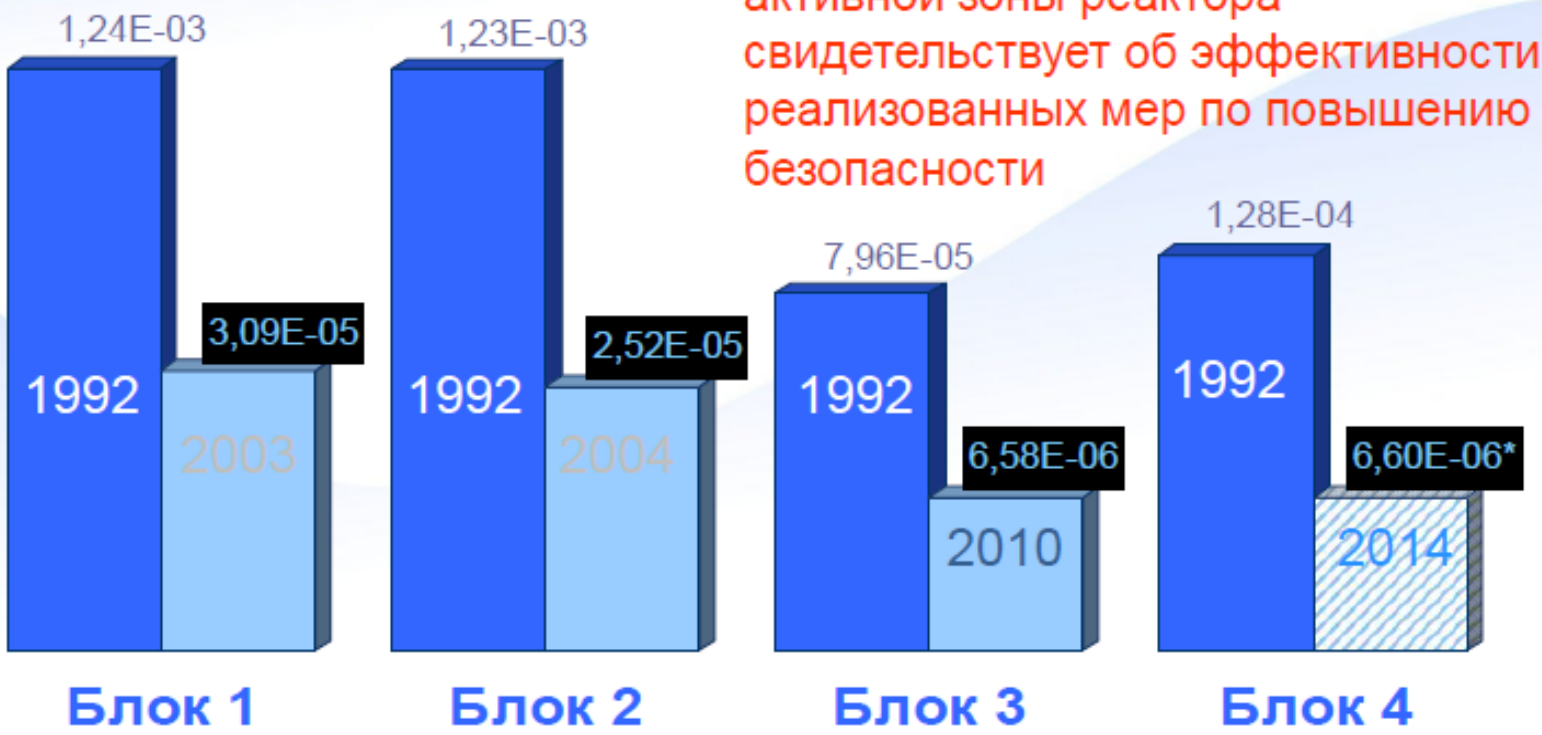
Учетные нарушения и выполнение мероприятий по модернизации Кольской АЭС



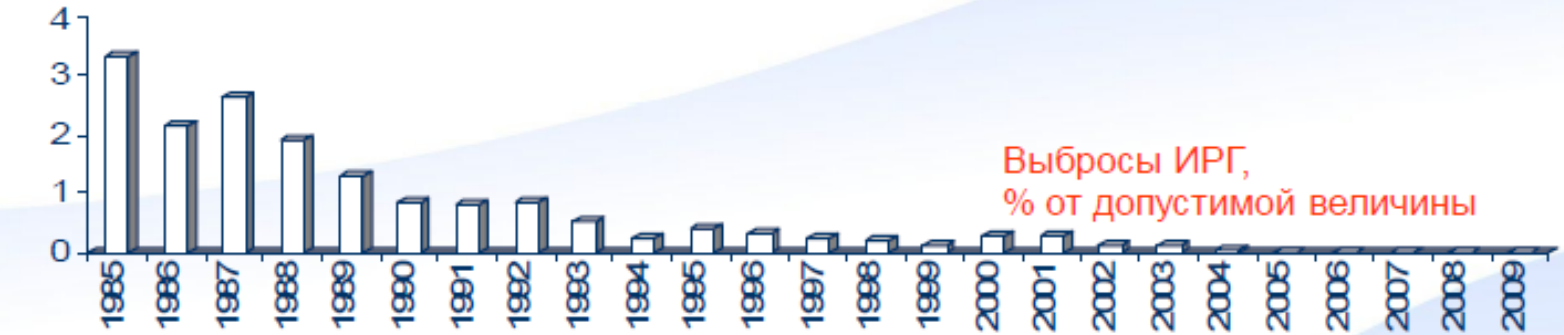
Состояние ядерной безопасности

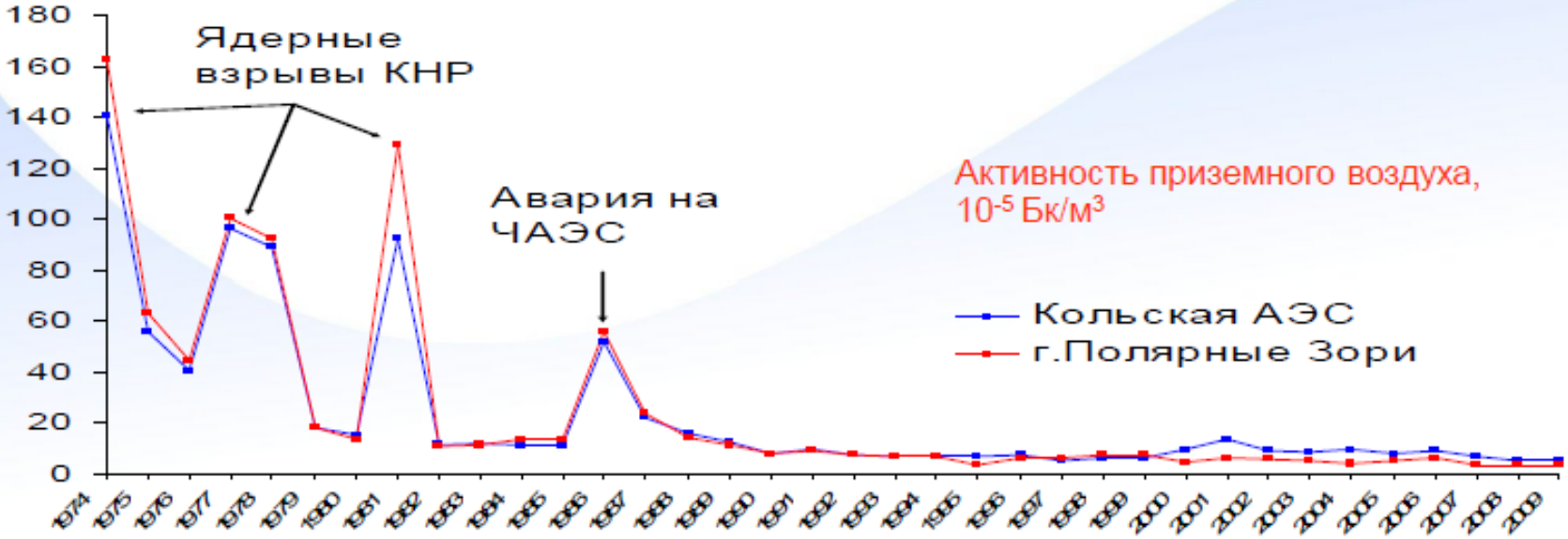
Вероятностная оценка безопасности энергоблоков

Снижение вероятности повреждения активной зоны реактора свидетельствует об эффективности реализованных мер по повышению безопасности



Радиационное воздействие на окружающую среду





Спасибо за внимание