

Томский политехнический университет

# Практическое занятие № 2

АЭС и атомное оружие

Костырев К.М.

Томск 2012

**А́томная электростáнция (АЭС)** — ядерная установка для производства энергии в заданных режимах и условиях применения, располагающаяся в пределах определённой проектом территории, на которой для осуществления этой цели используются ядерный реактор (реакторы) и комплекс необходимых систем, устройств, оборудования и сооружений и с необходимыми работниками (персоналом) (ОПБ-88/97).



Балаковская АЭС,  
Саратовская область,  
Россия



Ровенская АЭС, Украина

Мировыми лидерами в производстве ядерной электроэнергии являются:

- США (836,63 млрд кВт·ч/год)
- Франция (439,73 млрд кВт·ч/год)
- Япония (263,83 млрд кВт·ч/год)
- Россия (160,04 млрд кВт·ч/год)
- Южная Корея (142,94 млрд кВт·ч/год)
- Германия (140,53 млрд кВт·ч/год).

В мире действует 441 энергетический ядерный реактор общей мощностью 374,692 ГВт, российская компания «ТВЭЛ» поставляет топливо для 76 из них (17 % мирового рынка).

# История

- 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. по предложению И. В. Курчатова и в соответствии с заданием партии и правительства начались первые работы по практическому применению энергии атома для получения электроэнергии.**
- В мае 1950 года близ посёлка Обнинское Калужской области начались работы по строительству первой в мире АЭС.**
- Первая в мире промышленная атомная электростанция мощностью 5 МВт была запущена 27 июня 1954 в СССР, в городе Обнинск, расположенном в Калужской области. В 1958 была введена в эксплуатацию 1-я очередь Сибирской АЭС мощностью 100 МВт, впоследствии полная проектная мощность была доведена до 600 МВт. В том же году развернулось строительство Белоярской промышленной АЭС, а 26 апреля 1964 генератор 1-й очереди дал ток потребителям. В сентябре 1964 был пущен 1-й блок Нововоронежской АЭС мощностью 210 МВт. Второй блок мощностью 365 МВт запущен в декабре 1969. В 1973 г. запущена Ленинградская АЭС.**
- 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).**

# История

**В 1979 году произошла серьёзная авария на АЭС Три-Майл-Айленд, а в 1986 году — масштабная катастрофа на Чернобыльской АЭС, которая, помимо непосредственных последствий, серьёзно отразилась на всей ядерной энергетике в целом. Она вынудила специалистов всего мира переоценить проблему безопасности АЭС и задуматься о необходимости международного сотрудничества в целях повышения безопасности АЭС.**

**15 мая 1989 года на учредительной ассамблее в Москве, было объявлено об официальном образовании Всемирной ассоциации операторов атомных электростанций, международной профессиональной ассоциации, объединяющей организации, эксплуатирующие АЭС, во всём мире. Ассоциация поставила перед собой амбициозные задачи по повышению ядерной безопасности во всём мире, реализуя свои международные программы.**

**Крупнейшая АЭС в Европе — Запорожская АЭС у г. Энергодар (Запорожская область, Украина), строительство которой начато в 1980 г. С 1996 г. работают 6 энергоблоков суммарной мощностью 6 ГВт.**

**Крупнейшая АЭС в мире Касивадзаки-Карива по установленной мощности (на 2008 год) находится в Японском городе Касивадзаки префектуры Ниигата — в эксплуатации находятся пять кипящих ядерных реакторов (BWR) и два улучшенных кипящих ядерных реакторов (ABWR), суммарная мощность которых составляет 8,212 ГВт.**

**Последняя крупная авария на АЭС произошла в марте 2011 года в Японии, в префектуре Фукусима. Авария на АЭС Фукусима I произошла в результате**

# Классификация АЭС

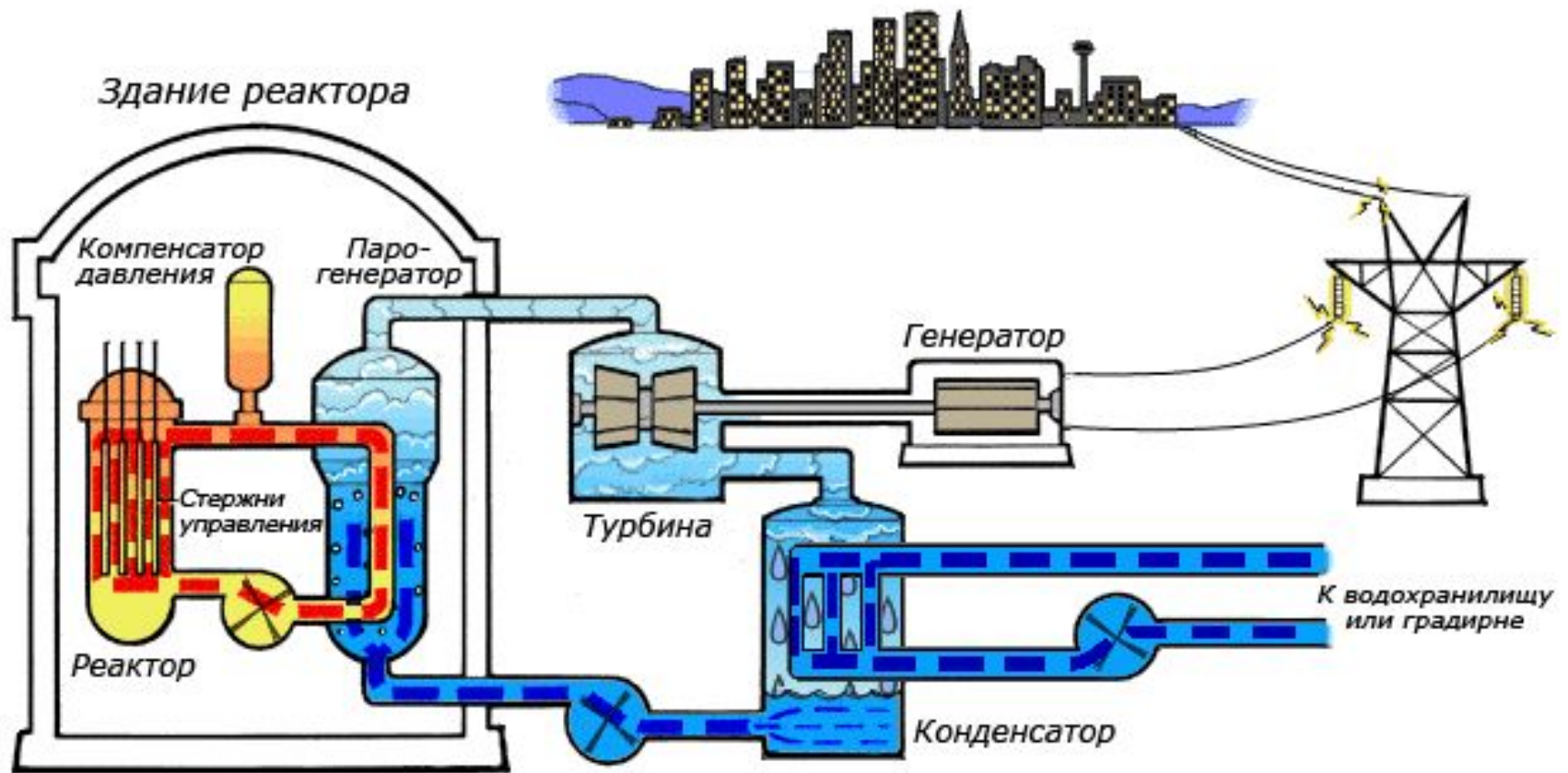
## **По типу реакторов**

- 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.

# Принцип действия реактора





# Достоинства и недостатки АЭС

- Главное преимущество — практическая независимость от источников топлива из-за небольшого объёма используемого топлива, например 54 тепловыделяющих сборки общей массой 41 тонна на один энергоблок с реактором ВВЭР-1000 в 1-1,5 года (для сравнения, одна только Троицкая ГРЭС мощностью 2000 МВт сжигает за сутки два железнодорожных состава угля). Расходы на перевозку ядерного топлива, в отличие от традиционного, ничтожны. В России это особенно важно в европейской части, так как доставка угля из Сибири слишком дорога.

# Достоинства и недостатки АЭС

- Огромным преимуществом АЭС является её относительная экологическая чистота. На ТЭС суммарные годовые выбросы вредных веществ, в которые входят сернистый газ, оксиды азота, оксиды углерода, углеводороды, альдегиды и золовая пыль, на 1000 МВт установленной мощности составляют от примерно 13 000 тонн в год на газовых до 165 000 на пылеугольных ТЭС. Подобные выбросы на АЭС полностью отсутствуют. ТЭС мощностью 1000 МВт потребляет 8 миллионов тонн кислорода в год для окисления топлива, АЭС же не потребляют кислорода вообще. Кроме того, больший удельный (на единицу произведенной электроэнергии) выброс радиоактивных веществ даёт угольная станция. В угле всегда содержатся природные радиоактивные вещества, при сжигании угля они практически полностью попадают во внешнюю среду. При этом удельная активность выбросов ТЭС в несколько раз выше, чем для АЭС.

# Достоинства и недостатки АЭС

- Единственный фактор, в котором АЭС уступают в экологическом плане традиционным ТЭС — тепловое загрязнение, вызванное большими расходами технической воды для охлаждения конденсаторов турбин, которое у АЭС несколько выше из-за более низкого КПД (не более 35 %), однако этот фактор важен для водных экосистем, а современные АЭС в основном имеют собственные искусственно созданные водохранилища-охладители или вовсе охлаждаются градирнями. Также некоторые АЭС отводят часть тепла на нужды отопления и горячего водоснабжения городов, что снижает непродуктивные тепловые потери, существуют действующие и перспективные проекты по использованию «лишнего» тепла в энергобиологических комплексах (рыбоводство, выращивание устриц, обогрев теплиц и пр.).

# Достоинства и недостатки АЭС

- Для большинства стран, в том числе и России, производство электроэнергии на АЭС не дороже, чем на пылеугольных и тем более газомазутных ТЭС. Особенно заметно преимущество АЭС в стоимости производимой электроэнергии во время так называемых энергетических кризисов, начавшихся с начала 70-х годов. Падение цен на нефть автоматически снижает конкурентоспособность АЭС.
- Затраты на строительство АЭС находятся примерно на таком же уровне, как и строительство ТЭС, или несколько выше.

# Достоинства и недостатки АЭС

- Главный недостаток АЭС — тяжелые последствия аварий, для исключения которых АЭС оборудуются сложнейшими системами безопасности с многократными запасами и резервированием, обеспечивающими исключение расплавления активной зоны даже в случае максимальной проектной аварии (местный полный поперечный разрыв трубопровода циркуляционного контура реактора).
- Серьёзной проблемой для АЭС является их ликвидация после выработки ресурса, по оценкам она может составить до 20 % от стоимости их строительства.
- По ряду технических причин для АЭС крайне нежелательна работа в манёвренных режимах, то есть покрытие переменной части графика электрической нагрузки.

# Безопасность атомных электростанций

- Надзор за безопасностью российских АЭС осуществляет Ростехнадзор.

Охрана труда регламентируется следующими документами:

- Правила охраны труда при эксплуатации тепломеханического оборудования и тепловых сетей атомных станций ОАО «Концерн Энергоатом». СТО 1.1.1.02.001.0673-2006

Ядерная безопасность регламентируется следующими документами:

- Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.
- Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций.

Радиационная безопасность регламентируется следующими документами:

- Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной

# Перспективы АЭС

- Академик Анатолий Александров считал, что «ядерная энергетика крупных масштабов явится величайшим благом для человечества и разрешит целый ряд острых проблем».
- Альтернативные способы получения энергии, за счёт энергии приливов, ветра, Солнца, геотермальных источников и др. на данный момент уступают по производительности традиционной энергетике. Эти виды получения энергии негативно влияют на туризм, некоторые приливные электростанции вызывают нарекания у виндсёрферов, «плантации» ветряных мельниц портят естественный пейзаж. Кроме того, при групповом использовании ветрового поля ветряки создают низкочастотную вибрацию, от которой могут страдать животные.
- В настоящее время разрабатываются международные проекты ядерных реакторов нового поколения, например ГТ-МГР, которые обещают повысить безопасность и увеличить КПД АЭС.
- Россия приступила к строительству первой в мире плавающей АЭС, позволяющей решить проблему нехватки энергии в отдалённых прибрежных районах страны.

# Перспективы АЭС

- США и Япония ведут разработки мини-АЭС, с мощностью порядка 10-20 МВт для целей тепло- и электроснабжения отдельных производств, жилых комплексов, а в перспективе — и индивидуальных домов. С уменьшением мощности установки растёт предполагаемый масштаб производства. Малогабаритные реакторы (см., например, Hyperion АЭС) создаются с использованием безопасных технологий, многократно уменьшающих возможность утечки ядерного вещества.

## Производство водорода

- Правительством США принята Атомная водородная инициатива. Ведутся работы (совместно с Южной Кореей) по созданию атомных реакторов нового поколения, способных производить в больших количествах водород. INEEL (Idaho National Engineering Environmental Laboratory) прогнозирует, что один энергоблок атомной электростанции следующего поколения будет производить ежедневно водород, эквивалентный 750000 литров бензина.
- Финансируются исследования возможностей производства водорода на существующих атомных



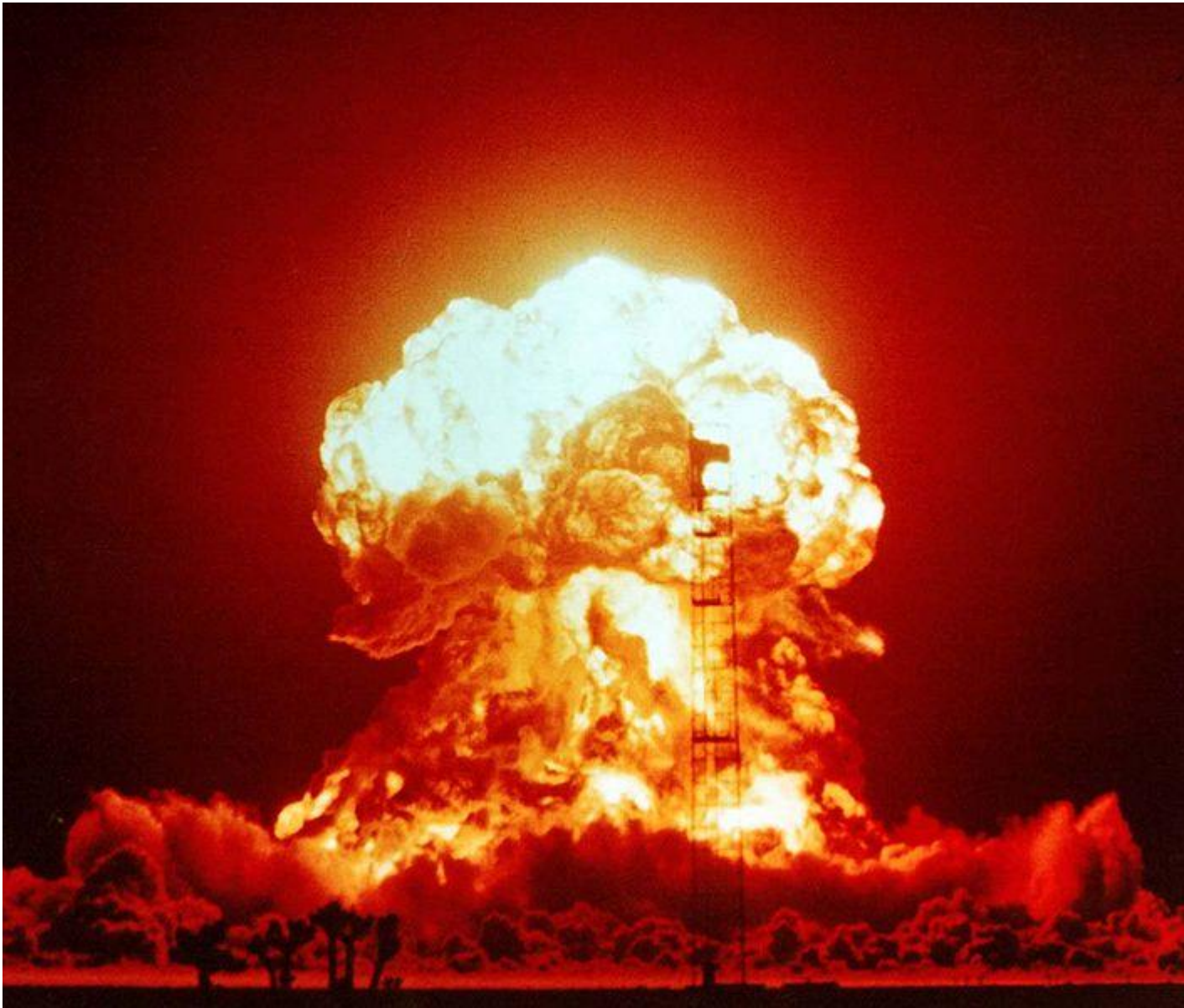
# Перспективы АЭС

## Термоядерная энергетика

- Ещё более интересной, хотя и относительно отдалённой перспективой выглядит использование энергии ядерного синтеза. Термоядерные реакторы, по расчётам, будут потреблять меньше топлива на единицу энергии, и как само это топливо (дейтерий, литий, гелий-3), так и продукты их синтеза не радиоактивны и, следовательно, экологически безопасны.
- В настоящее время при участии России, США, Японии и Евросоюза на юге Франции ведётся строительство международного экспериментального термоядерного реактора ITER.

# Атомное оружие

- Ядерное оружие (или атомное оружие) — совокупность ядерных боеприпасов, средств их доставки к цели и средств управления; относится к оружию массового поражения наряду с биологическим и химическим оружием. Ядерный боеприпас — оружие взрывного действия, основанное на использовании ядерной энергии, высвобождающейся при цепной ядерной реакции деления тяжёлых ядер и/или термоядерной реакции синтеза лёгких ядер.



# Поражающие факторы

При подрыве ядерного боеприпаса происходит ядерный взрыв, поражающими факторами которого являются:

- ударная волна
- световое излучение
- проникающая радиация
- радиоактивное заражение
- электромагнитный импульс (ЭМИ)
- рентгеновское излучение

Люди, непосредственно подвергшиеся воздействию поражающих факторов ядерного взрыва, кроме физических повреждений, испытывают мощное психологическое воздействие от ужасающего вида картины взрыва и разрушений.

Электромагнитный импульс непосредственного влияния на живые организмы не оказывает, но может нарушить работу электронной аппаратуры.

# Ударная волна

Большая часть разрушений, причиняемых ядерным взрывом, вызывается действием ударной волны. Ударная волна представляет собой скачок уплотнения в среде, который движется со сверхзвуковой скоростью (более 350 м/с для атмосферы). При атмосферном взрыве скачок уплотнения — это небольшая зона, в которой происходит почти мгновенное увеличение температуры, давления и плотности воздуха.

Непосредственно за фронтом ударной волны происходит снижение давления и плотности воздуха, от небольшого понижения далеко от центра взрыва и почти до вакуума внутри огненной сферы. Следствием этого снижения является обратный ход воздуха и сильный ветер вдоль поверхности со скоростями до 100 км/час и более к эпицентру. Ударная волна разрушает здания, сооружения и поражает незащищенных людей, а близко к эпицентру наземного или очень низкого воздушного взрыва порождает мощные сейсмические колебания, способные разрушить или повредить подземные сооружения и коммуникации, травмировать находящихся в них людей.

# Ударная волна

Большинство зданий, кроме специально укрепленных, серьёзно повреждаются или разрушаются под воздействием избыточного давления 2160-3600 кг/м<sup>2</sup> (0,22-0,36 атм).

Энергия распределяется по всему пройденному расстоянию, из-за этого сила воздействия ударной волны уменьшается пропорционально кубу расстояния от эпицентра.

Защитой от ударной волны для человека являются убежища. На открытой местности действие ударной волны снижается различными углублениями, препятствиями, складками местности.

# Световое излучение

Световое излучение — это поток лучистой энергии, включающий ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную области спектра. Источником светового излучения является светящаяся область взрыва — нагретые до высоких температур и испарившиеся части боеприпаса, окружающего грунта и воздуха. При воздушном взрыве светящаяся область представляет собой шар, при наземном — полусферу.

Максимальная температура поверхности светящейся области составляет обычно 5700-7700 °С. Когда температура снижается до 1700 °С, свечение прекращается. Световой импульс продолжается от долей секунды до нескольких десятков секунд, в зависимости от мощности и условий взрыва. Приблизительно, продолжительность свечения в секундах равна корню третьей степени из мощности взрыва в килотоннах. При этом интенсивность излучения может превышать 1000 Вт/см<sup>2</sup> (для сравнения — максимальная интенсивность солнечного света 0,14 Вт/см<sup>2</sup>).

# Световое излучение

Результатом действия светового излучения может быть воспламенение и возгорание предметов, оплавление, обугливание, большие температурные напряжения в материалах.

При воздействии светового излучения на человека возникает поражение глаз и ожоги открытых участков тела, а также может возникнуть поражение и защищенных одеждой участков тела.

Защитой от воздействия светового излучения может служить произвольная непрозрачная преграда.

В случае наличия тумана, дымки, сильной запыленности и/или задымленности воздействие светового излучения также снижается.



# Проникающая радиация

Проникающая радиация (ионизирующее излучение) представляет собой гамма-излучение и поток нейтронов, испускаемых из зоны ядерного взрыва в течение единиц или десятков секунд.

Радиус поражения проникающей радиации при взрывах в атмосфере меньше, чем радиусы поражения от светового излучения и ударной волны, поскольку она сильно поглощается атмосферой. Проникающая радиация поражает людей только на расстоянии 2-3 км от места взрыва, даже для больших по мощности зарядов, однако ядерный заряд может быть специально сконструирован таким образом, чтобы увеличить долю проникающей радиации для нанесения максимального ущерба живой силе (так называемое нейтронное оружие). На больших высотах, в стратосфере и космосе проникающая радиация и электромагнитный импульс — основные поражающие факторы.

# Проникающая радиация

Проникающая радиация может вызывать обратимые и необратимые изменения в материалах, электронных, оптических и других приборах за счет нарушения кристаллической решетки вещества и других физико-химических процессов под воздействием ионизирующих излучений.

Защитой от проникающей радиации служат различные материалы, ослабляющие гамма-излучение и поток нейтронов. Разные материалы по-разному реагируют на эти излучения и по-разному защищают.

# Электромагнитный импульс

При ядерном взрыве в результате сильных токов в ионизованном радиацией и световым излучением воздухе возникает сильнейшее переменное электромагнитное поле, называемое электромагнитным импульсом (ЭМИ). Хотя оно и не оказывает никакого влияния на человека, воздействие ЭМИ повреждает электронную аппаратуру, электроприборы и линии электропередач. Помимо этого большое количество ионов, возникшее после взрыва, препятствует распространению радиоволн и работе радиолокационных станций. Этот эффект может быть использован для ослепления системы предупреждения о ракетном нападении.

# Радиоактивное заражение

Радиоактивное заражение — результат выпадения из поднятого в воздух облака значительного количества радиоактивных веществ. Три основных источника радиоактивных веществ в зоне взрыва — продукты деления ядерного горючего, не вступившая в реакцию часть ядерного заряда и радиоактивные изотопы, образовавшиеся в грунте и других материалах под воздействием нейтронов (наведенная радиоактивность).

Оседая на поверхность земли по направлению движения облака, продукты взрыва создают радиоактивный участок, называемый радиоактивным следом. Плотность заражения в районе взрыва и по следу движения радиоактивного облака убывает по мере удаления от центра взрыва. Форма следа может быть самой разнообразной, в зависимости от окружающих условий.

# Радиоактивное заражение

Радиоактивные продукты взрыва испускают три вида излучения: альфа, бета и гамма. Время их воздействия на окружающую среду весьма продолжительно.

В связи с естественным процессом распада радиоактивность уменьшается, особенно резко это происходит в первые часы после взрыва.

Поражение людей и животных воздействием радиационного заражения может вызываться внешним и внутренним облучением. Тяжелые случаи могут сопровождаться лучевой болезнью и летальным исходом.

Установка на боевую часть ядерного заряда оболочки из кобальта вызывает заражение территории опасным изотопом  $^{60}\text{Co}$  (гипотетическая грязная бомба).