

ЯДЕРНАЯ ИНДУСТРИЯ

Спецкурс.

Лекция 33. ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ

Содержание

1. ВИДЫ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ	1
2. АТОМНАЯ БОМБА	3
2.1 История	4
2.2 Критическая масса	4
2.3 Конструкция атомной бомбы	5
3. ВОДОРОДНАЯ БОМБА	5
3.1 История	5
3.2 Устройство водородной бомбы	7
4. ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА	8
4.1 Бомбардировка Хиросимы и Нагасаки	8
4.2 Ядерные взрывы разной мощности	8
4.3 Поражающие факторы ядерного взрыва	9
4.3.1 Воздействие ядерного оружия	9
4.3.2 Ударная волна	9
4.3.3 Механическое воздействие ударной волны	11
4.3.4 Световое излучение	12
4.3.5 Проникающая радиация	15
4.4 Взрыв над лесным массивом	16
4.5 Ядерная зима	17
5. ИСПЫТАНИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ	17
5.1 Безопасность ядерного оружия	17
5.2 Полигоны	17
5.1.1 Новая Земля	17
5.1.2 Семипалатинск	18
6. МИРНЫЕ ВЗРЫВЫ	19

Основное назначение ядерной индустрии – производство ядерного оружия. В качестве примера масштаба производства укажем, что в Советском Союзе было произведено 45000 ядерных боеголовок. Сейчас 30 тысяч боеголовок складированы по всему миру (не считая находящихся на боевом дежурстве). В данной лекции мы рассмотрим некоторые аспекты разработки и применения ядерного оружия, важные с точки зрения радиохимика.

1. ВИДЫ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ (устаревшее - атомное оружие) - оружие массового поражения взрывного действия, основанное на использовании внутриядерной энергии, которая выделяется при цепных реакциях деления тяжелых ядер некоторых изотопов урана и плутония или при термоядерных реакциях синтеза легких ядер-изотопов водорода - дейтерия и трития в более тяжелые, например ядра изотопов гелия. Для указанных реакций характерно чрезвычайно большое выделение энергии на единицу массы прореагировавшего вещества - в 20-80 млн. раз больше, чем при взрыве тротила. В результате весьма быстрого выделения огромного количества энергии в ограниченном объеме происходит ядерный взрыв, который существенно отличается от взрыва обычных боеприпасов как масштабами, так и характером поражающих факторов: ударной волны, светового излучения, проникающей радиацией, радиоактивного заражения и электромагнитного импульса. Ядерное оружие включает различные ядерные боеприпасы (боевые части ракет и торпед, авиационные и глубинные бомбы, артиллерийские снаряды и фугасы, снаряженные ядерными зарядами), средства доставки их к цели и средства управления. Иногда в

зависимости от типа заряда употребляют более узкие понятия, например термоядерное оружие, нейтронное оружие, водородное и т. д.

Приведенное выше общепринятое определение ядерного оружия следует уточнить.

Поражающими факторами ядерного оружия являются ударная волна, проникающее излучение, радиация, электромагнитный импульс, световая вспышка. В той или другой мере могут быть усилены или ослаблены факторы поражения в разных видах оружия. Иногда они представлены в единственном виде, и тогда теряется связь с привычным представлением об атомной бомбе. Например, так называемое радиационное оружие, которое предназначается для истребления людей при помощи радиоактивности. Источниками радиоактивности могут служить извлеченные из АЭС радиоактивные изотопы или специально приготовленные на реакторах, в том числе непосредственно перед использованием на борту летательного аппарата.

В качестве примера рассмотрим один из вариантов защиты от превентивного удара. Предположим, что десять тысяч мегатонных бомб вследствие внезапного первого удара теряют способность взлететь и взрываются по команде на собственной территории за секунду до уничтожения. На этот случай в них предусмотрена особенность – они окружены небольшим слоем кобальта. Прежде чем кобальтовая оболочка разрушится, она провзаимодействует с нейтронами взрыва, при этом образуется радиоактивный изотоп ^{60}Co . Рассеянный в атмосфере кобальт затем выпадет на Землю. В предположении равномерного распределения по всей Земле, облучение составит примерно 1000 рентген в год, смерть человека наступит в течение нескольких месяцев, где бы он ни находился. Радиоактивный кошмар продлится десятилетия (период полураспада ^{60}Co – 5 лет). Взрыв бомбы на собственной территории – своеобразный вариант «камикадзе».

Другая возможность. Известно, что современное наиболее мощное водородное оружие использует и реакции деления и реакции синтеза. Однако в принципиальном плане возможны «чистые» бомбы, не имеющие делений. Чем меньше мощность такой бомбы, тем более она «нейтронна» (речь идет не о нейтронной) бомбе, тем сильнее в ней выражен нейтронный фактор поражения по сравнению с другими. Дело в том, что распространение проникающего излучения сдерживается атмосферой воздуха. Характерная длина поглощения составляет $L \approx 200$ м. Вследствие этого наращивание мощности и, соответственно, радиуса поражения свыше 200 м малоэффективно (зависимость радиуса поражения от мощности слабая – логарифмическая). По эффективности маломощные термоядерные бомбы все же достаточно далеко отстоят от обычной химической. Сделать такую бомбу труднее, так как требуется наличие высококвалифицированного персонала. Однако для стран с неразвитой атомной промышленностью – легче, так как не требуется уран-235 и плутоний. По имеющимся представлениям нужно около 0,1 г трития в смеси с дейтерием, воспламеняемого с помощью обычной взрывчатки (1 - 3 т). При выходе нейтронов 10^{20+21} радиус поражения составит сотни метров и является преобладающим. Хотя такая, истинно нейтронная бомба имеет выход нейтронов в тысячу раз меньше, чем атомная, но для ее изготовления требуется в тысячу раз меньший расход дефицитного реакторного материала.

Попутно заметим, что та нейтронная бомба, о которой периодически пишут газеты, на самом деле не является истинно нейтронной и не обладает теми свойствами, которые ей приписывают. Как утверждают СМИ, в нейтронной бомбе нет ударной волны, нет мощного светового излучения, а есть только нейтроны. При ее применении якобы остаются целехонькие дома и другие сооружения, нет только людей, погибших от нейтронного излучения. Но! Никто пока не умеет вызвать богатую нейтронами термоядерную реакцию, не прибегая к атомному взрыву. DT- реакция на единицу мощности имеет выход нейтронов примерно в пять раз больше, чем при делении. С учетом комбинированного характера взрыва преимущество в нейтронном потоке составляет 2-3 раза. Масштаб взрыва ограничен 1 кт, т.к. проникающее действие нейтронов ослаблено экранировкой атмосферы, и нет смысла эту мощность увеличивать. Если человек находится на открытой местности, но прикрыт стеной дома, землей блиндажа, то эффективность резко падает, и на передний план выступает опять ударная волна. Увеличивая мощность атомной бомбы в 2-3 раза по сравнению с нейтронной (до 2-3 кт), можно достигнуть того же нейтронного потока. При этом добавляется усиленное действие ударной волны, светового излучения. Сделать же такое намного проще, т.к. конструкция нейтронной бомбы заметно сложнее и значительно дороже, а эффективность ниже.

К какой категории следует отнести коварное радиационное оружие или специфическое нейтронное? Единственная логически непротиворечивая формулировка, создающая однозначность, заключается в определении: **«Всякое оружие, использующее ядерные реакции и превращения, называется ядерным».**

Многие страны сейчас имеют развитую атомную промышленность, предназначенную для нормального функционирования атомных электростанций. На самих АЭС происходит накопление огромного количества радиоактивных изотопов. Для человека в некотором роде безразлично, откуда взялась смертельная радиоактивность, вследствие применения ядерного оружия или разрушения АЭС. Для сравнения укажем, что АЭС содержит в себе быстро распадающуюся радиоактивность (дни) на уровне бомбы мощностью около 100 кт, и долго живущую (годы), в десятки раз превосходящую взрыв мегатонной бомбы.

Упомянем и еще одно важное обстоятельство. Всякое преднамеренное разрушение атомных (термоядерных) станций должно приравниваться к использованию ядерного оружия. Но и на этом рано ставить точку. В атомных станциях нет выделенности, потому что наряду с АЭС и другими атомными объектами существуют могучие химические комбинаты, всякого рода предприятия биологического профиля – сельскохозяйственные (пестицидов), лекарственные, генной инженерии и т.п., мирные сами по себе, призванные служить благополучию человека. Однако их разрушение может вызвать экологическую катастрофу большую, чем прямое использование химического и биологического оружия.

Парадокс заключается в том, что наиболее развитые в промышленном и военном отношении государства подвергаются наибольшей опасности. Если в качестве количественной меры принять насыщенность, к примеру, атомными станциями (т.е. их мощность на единицу площади), то наиболее опасной выглядит Западная Европа, в десятки раз превосходящая Россию по этому параметру.

При разработке ядерного оружия существенное внимание уделяется его безопасности. Непременным абсолютным требованием к ядерному оружию является недопустимость ядерного взрыва при всех неожиданностях – пожаре, попадании пули, падении с высоты и т.п. Требование, чтобы ядерный взрыв не произошел, вносит ограничения на конструкцию бомбы. Под безопасностью будем понимать вероятность инициирования химического взрывчатого вещества, входящего в состав бомбы и разброс радиоактивного плутония. При таком взрыве может быть нанесен весьма ощутимый экологический урон природе, но все же несравнимо меньший, чем при ядерном взрыве. Поэтому постоянно ведется поиск нового взрывчатого вещества, менее чувствительного к внешним воздействиям, что требует дополнительных испытаний оружия. Вместе с тем следует иметь в виду, что риск – категория экономическая, и преувеличение опасности не менее разорительно, чем его недооценка.

2. АТОМНАЯ БОМБА

Атомная бомба построена на принципе освобождения колоссальной энергии при разделении тяжелых ядер урана или искусственного плутония.

По законам ядерной физики, чтобы сделать атомную бомбу, необходимы либо радиоактивный изотоп урана-235 с обогащением 90%, либо радиоактивный изотоп плутония-239 с обогащением 94%.

Атомная бомба, сброшенная над Хиросимой (мощность 20 килотонн), имела простую конструкцию: в ней два куса делящегося вещества просто сближались друг с другом, создавая критическую массу (пушечная и стволовая схема). Данная схема требует значительного количества рабочего материала: для создания атомной бомбы стволовой схемы требуется не менее 45 – 50 кг оружейного урана.

Для плутония эта схема не пройдет: ядерная реакция начнется преждевременно, и взрывной эквивалент окажется мизерным. Кроме того, пушечная схема требует большого количества плутония. Оружейный плутоний используют в принятых на вооружение так называемых имплозионных бомбах. Мощность и коэффициент использования материала в них выше, чем в урановых бомбах, на два порядка. Но эта схема очень сложна, требует точнейшей схемы обжима заряда.

В бомбе, сброшенной на Нагасаки для вызова цепной ядерной реакции применялся принцип имплозии, «взрыва во внутрь». С помощью системы специальных линз расходящиеся взрывные волны преобразовывались в сходящуюся сферически симметричную ударную волну, резко сжимающую шарик из делящегося материала. Создать такую бомбу куда сложнее, чем взорвавшуюся над Хиросимой.

2.1 История

2.2 Критическая масса

Цепная реакция ядерного взрыва возникает при достижении делящимся веществом некоторой критической массы. Попробуем оценить ее величину.

Пусть имеется кусок вещества, способного к делению, например, уран-235, в который попадает нейтрон. Какова его судьба? Он либо вызовет деление, либо бесполезно поглотится веществом, либо, продиффундировав, выйдет через наружную поверхность. Важно установить, что будет на следующем этапе – уменьшится или увеличится число нейтронов в среднем, т.е. ослабнет или разовьется цепная реакция, т.е. будет ли система в подкритическом или в надкритическом (взрывном) состоянии. Так как вылет нейтронов регулируется размером (для шара – радиусом), то возникает понятие критического размера (и массы). Для развития взрыва размер должен быть больше критического.

Нейтрон, летая по веществу, изредка сталкивается с ядром, он как бы видит его поперечное сечение. Размер поперечного сечения ядра $\sigma = 10^{-24} \text{ см}^2$ (барн). Если N – число ядер в кубическом сантиметре, то комбинация $L = 1/N\sigma$ дает среднюю длину пробега (путь) нейтрона по отношению к ядерной реакции.

Длина пробега нейтрона – единственная размерная величина, которая может послужить отправной критразмера. В любой физической теории используются методы подобия, которые, в свою очередь, строятся из безразмерных комбинаций размерных величин, характеристик системы и вещества. Таким безразмерным числом является отношение радиуса к длине пробега. Если принять, что безразмерное число порядка единицы, а длина пробега при типичном значении $N = 10^{23}$, $L = 10 \text{ см}$ (для $\sigma = 1$), то ясно уже отсюда, что критический размер не доли сантиметров и не метры, а масса – не граммы и не тонны (объем $4 \cdot 10^3 \text{ см}^3 = 4 \text{ литра}$, вес 4 кг, однако σ обычно намного выше 1, так что критическая масса меньше нашей оценки).

Критическая масса зависит от сечения реакции деления конкретного нуклида. Так, для создания атомной бомбы необходимо примерно 3 кг плутония или 8 кг урана-235 (при имплозивной схеме и в случае чистого урана-235, при использовании же 90% урана-235 и при ствольной схеме атомной бомбы требуется не менее 45 кг оружейного урана).

Так как $N \approx 1/\rho$, а критическая масса $M_k \sim 1/\rho^2$, то при сжатии материала вдвое, необходимая масса сократится вчетверо. Великолепный способ сэкономить дорогостоящий делящийся материал. Не в этом ли состоит идея перевода вещества из безопасного подкритического состояния во взрывное надкритическое.

Оценим, возможно ли сжатие твердого тела. Жесткость твердого материала определяется межатомной связью, которая, в свою очередь, связана со скоростью распространения звука – c в этом материале. Величина c^2 выражает энергию связи $\epsilon \sim c^2 = 10^{11} \text{ эрг/г}$. Отсюда следует оценка давления, способного вызвать заметное сжатие $p = \rho c^2$ ($\rho \approx 10^6 \text{ атм} = 1 \text{ млн. атм}$). Калорийность взрывчатого вещества $q \approx 5 \cdot 10^{10} \text{ эрг/г}$. 50 кг взрывчатых веществ способны сжать 5 кг металла в 2 - 2,5 раза.

Описанный способ перевода через критическое состояние называется «имплозия» или «взрыв внутрь». Он уже использовался уже в первой плутониевой американской (сброшена на Нагасаки) и советской (1949) бомбах. Из энергетических соображений можно подсчитать, что характерная скорость сжатия составляет в приведенном примере примерно 3 км/сек, а радиус сжатого плутония – 3 см. Значит, время сжатия 10^{-5} сек , а время пребывания в надкритическом состоянии – половина от времени сжатия. При длине пробега нейтрона до деления 10 см и скорости нейтрона 10^9 см/сек , время между делениями $\tau \approx 10^{-8} \text{ сек}$. Цепная реакция лавинообразно нарастает, число нейтронов следует закону $N \sim e^{t/\tau}$, где t – некая

усредненная константа (скорость размножения нейтронов $1/\tau$ равна нулю в критическом состоянии и достигает величины 10^8 в момент максимального сжатия, комбинация $\Lambda(t)=t/\tau$ называется числом поколений нейтронов).

Если выделившаяся ядерная энергия сравнима с энергией взрывчатого вещества, то сжатие прекратится и начнется обратный процесс разлета. Это случится при $\Lambda \approx 40 \div 45$, когда общее число нейтронов велико. При медленном сжатии набор поколений может завершиться задолго до момента максимального сжатия, соответствующего наибольшему энерговыделению, произойдет «хлопок» с уменьшением энергии в десятки раз по сравнению с оптимальной.

Наоборот, при очень большой скорости движения (и малой массе вещества – очень сильном сжатии) поколения не набираются вовсе, хотя надкритичность, и даже значительная, может осуществиться. Именно эта ситуация реализуется при попытках вызвать цепную реакцию в малых мишенях из плутония с помощью концентрации мощных лазерных лучей (в отличие от лазерного термоядерного синтеза). Элементарный расчет показывает, что осуществить цепную реакцию удастся только при массе десятки грамм плутония, энергии лазеров в десятки мегаджоулей и энерговыделении тонны тротила, неосуществимых в рамках лабораторного эксперимента.

2.3 Конструкция атомной бомбы

3. ВОДОРОДНАЯ БОМБА

Как уже упоминалось, атомная бомба построена на принципе освобождения колоссальной энергии при разделении тяжелых ядер урана или искусственного плутония. Материалы на основе легких элементов не имеют критической массы, что было большой конструктивной сложностью в атомной бомбе. Кроме того, при синтезе дейтерия и трития выделяется в 4,2 раза больше энергии, чем при делении ядер такой же массы урана-235. Водородная бомба – гораздо более мощное оружие, чем атомная бомба.

3.1 История

Американская водородная бомба начинает свою историю с 1946 года. Именно тогда, вскоре после появления атомных бомб, Э.Тейлор сформулировал идею «супербомбы». Подобно тому, как от капсулы-детонатора инициируется волна горения (детонации) в химическом взрывчатом веществе, супербомбе возможно распространение по дейтерию термоядерной волны, вызванной атомным взрывом. Если устойчивое (затухающее) горение возможно, то оно, инициированное относительно скромной энергией атомного взрыва, затем при распространении обеспечит выделение произвольно большого количества энергии.

Однако, практически сразу стала очевидной невозможность разжигания чистого дейтерия. Распространение термоядерной волны возможно только через промежуточную область, насыщенную тритием. Но трития требуется так много, что его производство вступает в острую конкуренцию с производством военного плутония на промышленных реакторах. Не понятно и главное: осуществим ли стационарный процесс горения? Дело в том, что при любой детонации существует некоторый минимальный размер (радиус детонационного шнура), ниже которого устойчивый режим не возможен. Вещество вследствие собственного энерговыделения разлетается быстрее, чем успевает сгореть. Особенностью же высокотемпературной термоядерной плазмы является наличие не только нижнего, но и верхнего радиуса трубки. Всякое вещество, предоставленное самому себе, стремится к термодинамическому равновесию, выравниванию температуры между веществом и излучением. В плазме подавляющая часть энергии приходится на излучение. При этом создается паразитный отток энергии от вещества, от горячих материальных частиц, вступающих в ядерную реакцию, к излучению. Однако при небольшом диаметре трубки большая часть фотонов, не набрав равновесной энергии, покидает горячую область, и энергобаланс оказывается сдвинутым в пользу вещества. Этим объясняется наличие двух радиусов, разлетного и радиационного, причем первый должен быть больше некоторого значения, а второй – меньше некоторого другого. Трудность задачи состоит в том, что

радиусы эти очень близки. До сих пор осталось не выясненным, есть ли между ними щель, необходимая для устойчивого распространения волны горения.

После того, как эти соображения стали очевидны (конец 1950 г.) Теллер впал в отчаянье, потеряв надежду на создание работоспособной конструкции супербомбы. В России к аналогичному выводу группа Зельдовича пришла к концу 1953. Нильс Бор так же высказал мнение о нереальности подобного варианта водородной бомбы.

В принципе, было понятно в каком направлении искать выход из тупика. То, что вещество горит тем полней и быстрее, чем выше его плотность, следует из самых общих соображений. Задача состояла в нахождении метода достижения высокой степени сжатия. Замечательный способ получения чрезвычайно высоких сжатий дейтерия впервые пришел в голову Уламу, когда он размышлял над проблемой повышения эффективности атомной бомбы. Он предложил фокусировать на дейтерии механическую энергию, освобождаемую при взрыве обычной атомной бомбы. Чтобы осуществить такую фокусировку, необходимо надлежащим образом направить ударную волну по окружающему материалу. Этот способ обещал колоссальное сжатие дейтерия.

Когда Улам сообщил Теллеру о своей схеме сжатия дейтерия во время их встречи в начале 1951, Теллер предложил свой вариант, согласно которому не ударные волны сжатия от взрыва атомного устройства, а радиация от этого первичного взрыва должна вызвать так называемую имплозию, приводящую к сильнейшему сжатию дейтерия. Эти схемы сжатия дают фокусировку энергии атомного заряда с помощью гидродинамических линз и зеркал для излучения атомного взрыва. Схема Улама-Теллера, использующая радиацию взрыва с целью сжатия и инициирования отдельно расположенного компонента бомбы, содержащего термоядерное топливо, ознаменовала полный отказ от классической концепции супербомбы Тейлора.

В 1951 г президент США Г.Трумэн направил Комиссии по атомной энергии директиву о возобновлении работ по созданию водородной бомбы.

31 октября 1952 на атолле Элулелуб был произведен взрыв термоядерного устройства «Майк» (то что обычно называется физическим опытом). Энерговыделение составило 10 мегатонн, в 500 раз мощнее сброшенной на Хиросиму. «Майк» не был бомбой, он представлял собой гигантскую конструкцию размером с двухэтажный дом. Поток нейтронов был настолько велик, что удалось открыть два новых элемента – эйнштейний и фермий. Испытание к торжеству американских исследователей, подтвердило схему атомного сжатия.

В России на начальном этапе создание водородной бомбы шло своим путем, существенно отличным от американского. В начале 50-х годов в Арзамасе-16 (руководитель Ю.Б.Харитон, зав. теоретич. отделом Зельдович) развивались два направления: «трубка» и «слойка». И если «трубка» шла к своему концу и постепенно становилась ясной ее бесперспективность, то в отношении слойки положение было обратное. К ней было приковано всеобщее внимание, она приготавливалась к испытаниям и была нашей национальной гордостью. В слойке использовалось интересное предложение (1949) А.Д.Сахарова. В состав атомного заряда включались слои из водороднесущего материала (LiD) для усиления деления по схеме «деление-синтез-деление». Исходно плотности легких и тяжелых слоев отличались в десятки раз. При взрыве, когда материал разогревался и ионизировался, происходило сильное сжатие легких слоев со стороны тяжелых, что способствовало резкому возрастанию скорости термоядерных реакций. Возрастание интенсивности термоядерного синтеза, в свою очередь, способствовало реакции деления урана, причем не только урана-235, но и урана-238. Схема Сахарова предусматривала использование в качестве эффективного ядерного материала дешевого урана-238, который рассматривался при производстве атомной бомбы как мусор. Уран-238 способен к делению при энергии нейтронов выше 1 Мэв. Термоядерная реакция между тритием и дейтерием дает нейтроны с энергией 14 Мэв. При таких энергиях, деление урана-238 происходит весьма интенсивно и стоимость килотонны рабочего вещества во много раз уменьшается. Явление ионизационного сжатия термоядерного горючего, ставшее основой первой советской водородной бомбы, до сих пор называют «сахаризацией». Новым в российском подходе

было также использование в качестве горючего дейтерида лития (идея Виталия Гинзбурга), что позволило избежать необходимости работы с жидким (замороженным) дейтерием, а также не разворачивать сложное производство трития. Под действием нейтронов от атомной бомбы, литий переходит в тритий, который вступает в термоядерную реакцию с дейтерием.

12 августа 1953 на башне Семипалатинского полигона была успешно испытана первая советская водородная бомба (сахаровская слойка). Это было четвертое по счету советское испытание ядерного оружия. Подтвердились расчеты, полный триумф. Мощность заряда (изделие РДС-6с) достигала 400 килотонн, в 20 раз больше атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму и имевший такие же габариты и вес. Уже по этой причине испытанный заряд поднимал уровень ядерного оружия на новую ступень. Более того, схема этого заряда допускала создание водородной бомбы порядка мегатонны. Взрыв был слабее американского, но устройство было в боевом варианте, т.е. гораздо ближе к понятию бомбы, чем громоздкий «Майк». Очень важным показателем испытанного заряда оказалась его термоядность, т.е. вклад собственно термоядерных реакций в полную величину мощности. Этот показатель приближался к 15-20%. Тем не менее, экологические последствия оказались ужасающими. На долю первого взрыва за все время ядерных испытаний в Семипалатинске приходится 82% стронция-90 и 75% цезия-137.

Кстати, первая водородная бомба послужила причиной бурного развития советской космонавтики. После ядерных испытаний ОКБ Королева получило задание разработать межконтинентальную баллистическую ракету для этого заряда. Эта ракета, названная «семеркой», вывела в космос первый искусственный спутник Земли, на ней стартовал первый космонавт планеты Юрий Гагарин.

1 марта 1954 у атолла Бикини США подорвали заряд неслыханной мощности – 15 мегатонн (боевая водородная бомба). В ее основу была положена идея Теллера и Улама о сжатии термоядерного узла не механической энергией и нейтронным потоком, а излучением первого взрыва, так называемого инициатора. Тем самым, был осуществлен окончательный поворот к новой технологии, уцелевшей в основных чертах до наших дней.

После испытания, обернувшегося жертвами среди мирного населения, И.Тамм потребовал от коллег отказаться от всех прежних идей, даже от национальной гордости слойки и найти принципиально новый путь. В начале 1954 было решено прекратить предыдущую деятельность, включая трубку и слойку и переключиться на поиск новых решений. И уже весной 1954 советские физики пришли к идее взрывного инициатора. Есть мнение, что авторство идеи принадлежит Зельдовичу и Сахарову, однако, она поразительно похожа на идею Улама-Теллера, что наводит на мысль о хорошей работе советской разведки.

6 ноября 1955 на Семипалатинском полигоне русские взорвали свою водородную бомбу новейшего образца. Бомба была сброшена с самолета Ту-16, мощность взрыва 3,6 мегатонны. Результат оказался ошеломляющим. Во время испытания погибли люди, радиус разрушений достиг 350 км, пострадал даже г. Семипалатинск. Стало ясно, что СССР достиг ядерного паритета с США.

В США сброс водородной бомбы с самолета состоялся 21 мая 1956.

В 1957 в СССР была испытана первая серийная водородная бомба, которая была передана на вооружение Советской Армии.

3.2 Устройство водородной бомбы

Термоядерное оружие – не обязательно водородная бомба. Важным видом являются заряды для РГЧ (разделяющиеся головные части) – группа зарядов, располагающихся на одной ракете-носителе, а также морские межконтинентальные ракеты для стратегических атомных подводных лодок. Среди других видов оружия можно упомянуть торпеду с ядерным двигателем, а также мину, которая при взрыве возбуждает мощную волну – цунами и затопляет берег, смывая портовые сооружения и выбрасывая корабли на берег. В последнее время наблюдается тенденция к миниатюризации термоядерного оружия, выражающаяся, в частности, в производстве артиллерийских атомных снарядов. В этих малогабаритных устройствах (для них неременным требованием была неотличимость от

обычных снарядов) удалось достичь значительной мощности путем перенесения некоторых приемов, заимствованных от стратегических зарядов.

Одно время ядерщики много внимания уделяли мирным зарядам, т.е. термоядерным зарядам, которые можно использовать для решения обычных народно-хозяйственных задач. Развитие в этой области сдерживалось радиоактивностью – неизбежным спутником любых нейтронных реакций. Наиболее опасная часть радиоактивности, порождающая долгоживущие изотопы, происходит от деления тяжелых ядер урана (или плутония), т.е. в результате взрыва атомной бомбы – инициатора термоядерной реакции. Еще в конце 50 был поставлен вопрос о том, чтобы разгорание в водородном узле происходило без деления, за счет сжатия и разогрева центральных слоев от ударной волны. Однако работы по термоядерной детонации дейтерия ни к чему не привели. Поскольку разжечь термоядерную реакцию без энергии делений не удалось, задача состояла в том, чтобы деление в общем энергобалансе составило наименьшую долю.

В начале 70-х заряды для мирных целей были созданы. Отличительной чертой детонации по сравнению с химической, помимо механизмов передачи энергии, является также превосходство ядерной энергии над химической в миллионы раз. Это создает возможность не только разогреть последующий слой энергией предыдущего, как всегда бывает при детонации, но также предварительно сильнейшим образом сжать вещество. Речь идет не о сжатии в несколько раз, обычном для ударной волны образом, а о сжатии в сотни и даже тысячи крат. Конструкция, в которой горение происходило в сильно сжатом дейтерии, обеспечила в конечном счете возникновение нового типа мирного изделия. При его разработке было проявлено беспокойство о том, чтобы наведенная от термоядерных нейтронов радиоактивность в материалах конструкции также была минимальной.

Мирные заряды были использованы в СССР для геофизических и землеройных целей. Однако после заключения моратория на все виды испытаний ядерного оружия, производство мирных зарядов прекратилось.

4. ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

4.1 Бомбардировка Хиросимы и Нагасаки

Атомная бомба, сброшенная на Хиросиму, обладала мощностью 20 кт. Разрушениям был подвергнут практически весь город. В радиусе до 8 км полностью или частично было разрушено 60 тыс домов. Возник огненный шторм, длившийся шесть часов, который сопровождался сильным ветром со скоростью 50-60 км/ч со всех сторон в направлении горящего города. Железо и другие металлы вблизи эпицентра взрыва испарись, поверхностный слой грунта оплавился и зашлаковался на значительную глубину. В Хиросиме сразу погибло 78 тыс человек и было ранено 64 тыс человек, а с учетом воздействия проникающей остаточной радиации – 163 тыс чел. Таким образом, общее число пострадавших составило 240000 человек.

4.2 Ядерные взрывы разной мощности

Мощность современных зарядов выражается в мегатоннах. Группа экспертов ООН проанализировала возможные последствия ядерного взрыва в 1 мегатонну по городу площадью 250 км² и с населением 1 млн человек. Город практически будет уничтожен, сразу погибнет 270 тыс человек от ударной волны и теплового излучения, от облучения еще 90 тыс чел, не менее 90 тыс будет ранено. В городе не будет воды, электроэнергии, газа, некому будет оказывать медицинскую помощь.

При ударе боеприпасом в 10 - 20 Мт радиус поражения возрастет в 2 - 2,5 раза, а площадь разрушения достигнет 500 км², т.е. больше размера города. Пожары охватят район в радиусе 30 км, а непосредственная угроза для жизни будет в радиусе до 60 км. При наземном взрыве образуется кратер диаметром 800 м и глубиной 75 - 90 м. Зона поражения в направлении ветра протянется на сотни километров. Так взрыв над Лондоном создал бы зону смерти, разрушений и радиационного поражения в Париже. А ведь речь пока что шла об одиночном взрыве, что же будет при массовом ядерном ударе.

4.3 Поражающие факторы ядерного взрыва

В зависимости от вида примененного оружия массового поражения могут образовываться очаги ядерного, химического, бактериологического (биологического) поражения и зоны радиоактивного, химического и бактериологического (биологического) заражения. Очаги поражения могут возникать и при применении обычных средств поражения противника. При воздействии двух видов и более оружия массового поражения образуется очаг комбинированного поражения. Первичные действия поражающих факторов ОМП и других средств нападения противника могут привести к возникновению взрывов, пожаров, затоплений местности и распространению на ней сильнодействующих ядовитых веществ. При этом образуются вторичные очаги поражения.

4.3.1 Воздействие ядерного оружия

Поражающее действие ядерного взрыва определяется механическим воздействием ударной волны, тепловым воздействием светового излучения, радиационным воздействием проникающей радиации и радиоактивного заражения. Для некоторых элементов объектов поражающим фактором является электромагнитное излучение.

Распределение энергии между поражающими факторами ядерного взрыва зависит от вида взрыва и условий, в которых он происходит. При взрыве в атмосфере 50% энергии взрыва расходуется на образование ударной волны, 30-40% - на световое излучение, до 5% — на проникающую радиацию и электромагнитный импульс и до 15 %—на радиоактивное заражение. Для нейтронного взрыва характерны те же поражающие факторы, однако несколько по-иному распределяется энергия взрыва: 8—10%—на образование ударной волны, 5-8% - на световое излучение и около 85% расходуется на образование нейтронного и гамма-излучений.

Действие поражающих факторов ядерного взрыва на людей и элементы объектов происходит не одновременно и различается по длительности воздействия, характеру и масштабам поражения.

4.3.2 Ударная волна

Ударная волна—это область резкого сжатия среды, которая в виде сферического слоя распространяется во все стороны от места взрыва со сверхзвуковой скоростью. В зависимости от среды распространения различают ударную волну в воздухе, в воде или грунте (сейсмозрывные волны). Ударная волна в воздухе образуется за счет колоссальной энергии, выделяемой в зоне реакции, где исключительно высокая температура, а давление достигает миллиардов атмосфер (до 10^5 млрд. Па). Раскаленные пары и газы, стремясь расшириться, производят резкий удар по окружающим слоям воздуха, сжимают их до больших давления и плотности и нагревают до высокой температуры. Эти слои воздуха приводят в движение последующие слои. И сжатие и перемещение воздуха происходит от одного слоя к другому во все стороны от центра взрыва, образуя воздушную ударную волну. Расширение раскаленных газов происходит в сравнительно малых объемах, поэтому их действие на заметных удалениях от центра ядерного взрыва исчезает и основным носителем действия взрыва становится воздушная ударная волна. Вблизи центра взрыва скорость распространения ударной волны в несколько раз превышает скорость звука в воздухе. С увеличением расстояния от места взрыва скорость распространения волны быстро падает, а ударная волна ослабевает; на больших удалениях ударная волна переходит, по существу, в обычную акустическую волну и скорость ее распространения приближается к скорости звука в окружающей среде, т. е. к 340 м/с. Воздушная ударная волна при ядерном взрыве средней мощности проходит примерно 1000 м за 1,4 с, 2000 м—за 4 с. 3000 м—за 7с, 5000 м—за 12 с. Отсюда следует, что человек, увидев вспышку ядерного взрыва, за время до прихода ударной волны, может занять ближайшее укрытие и тем самым уменьшить вероятность поражения ударной волной.

Ударная волна в воде при подводном ядерном взрыве качественно напоминает ударную волну в воздухе. Однако подводная ударная волна отличается от воздушной ударной волны своими параметрами. На одних и тех же расстояниях давление во фронте ударной волны в воде гораздо больше, чем в воздухе, а время действия—меньше. Например,

максимальное избыточное давление на расстоянии 900 м от центра ядерного взрыва мощностью 100 кт в глубоком водоеме составляет 19000 кПа, а при взрыве в воздушной среде—около 100 кПа.

При наземном ядерном взрыве часть энергии взрыва расходуется на образование волны сжатия в грунте. В отличие от ударной волны в воздухе она характеризуется менее резким увеличением давления во фронте волны, а также более медленным его ослаблением за фронтом. Давление во фронте волны сжатия уменьшается довольно быстро с удалением от центра взрыва, и на больших расстояниях волна сжатия становится подобной сейсмической волне.

При взрыве ядерного боеприпаса в грунте основная часть энергии взрыва передается окружающей массе грунта и производит мощное сотрясение грунта, напоминающее по своему действию землетрясение.

Ударная волна может нанести незащищенным людям и животным травматические поражения, контузии или быть причиной их гибели. Поражения могут быть непосредственными или косвенными. Непосредственное поражение ударной волной возникает в результате воздействия избыточного давления и скоростного напора воздуха. Ввиду небольших размеров тела человека ударная волна почти мгновенно охватывает человека и подвергает его сильному сжатию. Процесс сжатия продолжается со снижающейся интенсивностью в течение всего периода фазы сжатия, т. е. в течение нескольких секунд. Мгновенное повышение давления в момент прихода ударной волны воспринимается живым организмом как резкий удар. В то же самое время скоростной напор создает значительное лобовое давление, которое может привести к перемещению тела в пространстве. Косвенные поражения люди и животные могут получить в результате ударов обломками разрушенных зданий и сооружений или в результате ударов летящих с большой скоростью осколков стекла, шлака, камней, дерева и других предметов. Например, при избыточном давлении во фронте ударной волны 35 кПа плотность летящих осколков достигает 3500 шт. на квадратный метр при средней скорости перемещения этих предметов 50 м/с. Характер и степень поражения незащищенных людей и животных зависят от мощности и вида взрыва, расстояния, метеоусловий, а также от места нахождения (в здании, на открытой местности) и положения (лежа, сидя, стоя) человека.

Воздействие воздушной ударной волны на незащищенных людей характеризуется легкими, средними, тяжелыми и крайне тяжелыми травмами.

Крайне тяжелые контузии и травмы у людей возникают при избыточном давлении более 100 кПа (1 кгс/см²). Отмечаются разрывы внутренних органов, переломы костей, внутренние кровотечения, сотрясение мозга, длительная потеря сознания. Разрывы наблюдаются в органах, содержащих большое количество крови (печень, селезенка, почки), наполненных газом (легкие, кишечник) или имеющие полости, наполненные жидкостью (желудочки головного мозга, мочевой и желчный пузыри). Эти травмы могут привести к смертельному исходу.

Тяжелые контузии и травмы возможны при избыточных давлениях от 60 до 100 кПа (от 0,6 до 1,0 кгс/см²). Они характеризуются сильной контузией всего организма, потерей сознания, переломами костей, кровотечением из носа и ушей; возможны повреждения внутренних органов и внутренние кровотечения.

Поражения средней тяжести возникают при избыточном давлении 40—60 кПа (0,4—0,6 кгс/см²). При этом могут быть вывихи конечностей, контузия головного мозга, повреждение органов слуха, кровотечение из носа и ушей.

Легкие поражения наступают при избыточном давлении 20—40 кПа (0,2—0,4 кгс/см²). Они выражаются в скоропроходящих нарушениях функций организма (звон в ушах, головокружение, головная боль). Возможны вывихи, ушибы.

Избыточные давления во фронте ударной волны 10 кПа (0,1 кгс/см²) и менее для людей и животных, расположенных вне укрытий, считаются безопасными. Радиус поражения обломками зданий, особенно осколками стекол, разрушающихся при избыточном давлении более 2 кПа (0,02 кгс/см²) может превышать радиус непосредственного поражения

ударной волной. Гарантированная защита людей от ударной волны обеспечивается при укрытии их в убежищах. При отсутствии убежищ используются противорадиационные укрытия, подземные выработки, естественные укрытия и рельеф местности.

4.3.3 Механическое воздействие ударной волны

Характер разрушения элементов объекта зависит от нагрузки, создаваемой ударной волной, и реакции предмета на действие этой нагрузки.

Общую оценку разрушений, вызванных ударной волной ядерного взрыва, принято давать по степени тяжести этих разрушений. Для большинства элементов объекта, как правило, рассматриваются три степени—слабое, среднее и сильное разрушение. Для жилых и промышленных зданий берется обычно четвертая степень— полное разрушение. При слабом разрушении, как правило, объект не выходит из строя; его можно эксплуатировать немедленно или после незначительного ремонта. Средним разрушением обычно называют разрушение второстепенных элементов объекта. Основные элементы могут деформироваться и повреждаться частично. Восстановление возможно силами предприятия путем проведения среднего или капитального ремонта. Сильное разрушение объекта характеризуется сильной деформацией или разрушением его основных элементов, в результате чего объект выходит из строя и не может быть восстановлен.

Наибольшие разрушения получают наземные здания, рассчитанные на собственный вес и вертикальные нагрузки, более устойчивы заглубленные и подземные сооружения. Здания с металлическим каркасом средние разрушения получают при 20 - 40 кПа, а полные - при 60 - 80 кПа, здания кирпичные - при 10 - 20 и 30 - 40, здания деревянные— при 10 и 20 кПа соответственно. Здания с большим количеством проемов более устойчивы, так как в первую очередь разрушаются заполнения проемов, а несущие конструкции при этом испытывают меньшую нагрузку. Разрушение остекления в зданиях происходит при 2 - 7 кПа. Объем разрушений в городе зависит от характера строений, их этажности и плотности застройки. При плотности застройки 50% давление ударной волны на здания может быть меньше (на 20—40%), чем на здания, стоящие на открытой местности, на таком же расстоянии от центра взрыва. При плотности застройки менее 30% экранирующее действие зданий незначительно и не имеет практического значения.

Энергетическое, промышленное и коммунальное оборудование может иметь следующие степени разрушений.

Наиболее стойки подземные энергетические сети. Газовые, водопроводные и канализационные подземные сети разрушаются только при наземных взрывах в непосредственной близости от центра при давлении ударной волны 600 - 1500 кПа. Степень и характер разрушения трубопроводов зависят от диаметра и материала труб, а также от глубины прокладки. Энергетические сети в зданиях, как правило, выходят из строя при разрушении элементов застройки. Воздушные линии связи и электропроводок получают сильные разрушения при 80 - 120 кПа, при этом линии, проходящие в радиальном направлении от центра взрыва, повреждаются в меньшей степени, чем линии, проходящие перпендикулярно к направлению распространения ударной волны.

Для *гидроузлов* наиболее опасными являются надводный и подводный взрывы со стороны верхнего бьефа. Наиболее устойчивые элементы гидроузлов — бетонные и земляные плотины, которые разрушаются при давлении более 1000 кПа. Наиболее слабые — гидрозатворы водосливных плотин, электрическое оборудование и различные надстройки.

Степень разрушений транспортных средств зависит от их положения относительно направления распространения ударной волны. Средства транспорта, расположенные бортом к направлению действия ударной волны, как правило, опрокидываются и получают большие повреждения, чем машины, обращенные к взрыву передней частью. Загруженные и закрепленные средства транспорта имеют меньшую степень повреждения. Более устойчивыми элементами являются двигатели. Например, при сильных повреждениях двигатели автомашин повреждаются незначительно, и машины способны двигаться своим ходом.

Наиболее устойчивы к воздействию ударной волны морские и речные суда и железнодорожный транспорт. При воздушном или надводном взрыве повреждение судов будет происходить главным образом под действием воздушной ударной волны. Поэтому повреждаются в основном надводные части судов—палубные надстройки, мачты, радиолокационные антенны и т. д. Котлы, вытяжные устройства и другое внутреннее оборудование повреждаются затекающей внутрь ударной волной. Транспортные суда получают средние повреждения при давлениях 60—80 кПа. Железнодорожный подвижной состав может эксплуатироваться после воздействия избыточных давлений: вагоны—до 40 кПа, тепловозы—до 70 кПа (слабые разрушения).

Самолеты—более уязвимые объекты, чем остальные транспортные средства. Нагрузки, создаваемые избыточным давлением 10 кПа, достаточны для того, чтобы образовались вмятины в обшивке самолета, деформировались крылья и стрингеры, что может привести к временному снятию с полетов.

Воздушная ударная волна также действует на растения. Полное повреждение лесного массива наблюдается при избыточном давлении, превышающем 50 кПа (0,5 кгс/см²). Деревья при этом вырываются с корнем, ломаются и отбрасываются, образуя сплошные завалы. При избыточном давлении от 30 до 50 кПа (0,3—0,5 кгс/см²) повреждается около 50 % деревьев (завалы также сплошные), а при давлении от 10 до 30 кПа (0,1—0,3 кгс/см²)—до 30% деревьев. Молодые деревья более устойчивы к воздействию ударной волны, чем старые и спелые.

4.3.4 Световое излучение

По своей природе световое излучение ядерного взрыва — совокупность видимого света и близких к нему по спектру ультрафиолетовых и инфракрасных лучей. Источник светового излучения — светящаяся область взрыва, состоящая из нагретых до высокой температуры веществ ядерного боеприпаса, воздуха и грунта (при наземном взрыве). Температура светящейся области в течение некоторого времени сравнима с температурой поверхности солнца (максимум 8000 - 10000 и минимум 1800°С). Размеры светящейся области и ее температура быстро изменяются во времени. Продолжительность светового излучения зависит от мощности и вида взрыва и может продолжаться до десятков секунд. При воздушном взрыве ядерного боеприпаса мощностью 20 кт световое излучение продолжается 3 с, термоядерного заряда 1 Мт - 10с. Поражающее действие светового излучения характеризуется световым импульсом.

Световым импульсом называется отношение количества световой энергии к площади освещенной поверхности, расположенной перпендикулярно распространению световых лучей. Единица светового импульса — джоуль на квадратный метр (Дж/м²) или калория на квадратный сантиметр (кал/см²). $1 \text{ Дж/м}^2 = 23,9 \cdot 10^{-6} \text{ кал/см}^2$; $1 \text{ кДж/м}^2 = 0,0239 \text{ кал/см}^2$; $1 \text{ кал/см}^2 = 40 \text{ кДж/м}^2$. Световой импульс зависит от мощности и вида взрыва, расстояния от центра взрыва и ослабления светового излучения в атмосфере, а также от экранирующего воздействия дыма, пыли, растительности, неровностей местности и т.д.

При наземных и надводных взрывах световой импульс на тех же расстояниях меньше, чем при воздушных взрывах такой же мощности. Это объясняется тем, что световой импульс излучает полусфера, хотя и большего диаметра, чем при воздушном взрыве. Что касается распространения светового излучения, то большое значение имеют другие факторы. Во-первых, часть светового излучения поглощается слоями водяных паров и пыли непосредственно в районе взрыва. Во-вторых, большая часть световых лучей прежде, чем достичь объекта на поверхности земли, должна будет пройти воздушные слои, расположенные близко к земной поверхности. В этих наиболее насыщенных слоях атмосферы происходит значительное поглощение светового излучения молекулами водяных паров и двуокси углерода; рассеяние в результате наличия в воздухе различных частиц здесь также гораздо большее. Кроме того, необходимо учитывать рельеф местности. Количество световой энергии, достигающей объекта, находящегося на определенном расстоянии от наземного взрыва, может составлять для малых расстояний порядка трех четвертей, а на больших—половину импульса при воздушном взрыве такой же мощности.

При подземных или подводных взрывах поглощается почти все световое излучение. При ядерном взрыве на большой высоте рентгеновские лучи, излучаемые исключительно сильно нагретыми продуктами взрыва, поглощаются большими толщами разреженного воздуха. Поэтому температура огненного шара (значительно больших размеров, чем при воздушном взрыве) ниже. Для высот порядка 30 - 100 км на световой импульс расходуется около 25- 35% всей энергии взрыва.

При оценке светового импульса необходимо учитывать возможность воздействия отраженных лучей. Если земная поверхность хорошо отражает свет (снежный покров, высохшая трава, бетонное покрытие и др.), то прямое световое излучение, падающее на объект, усиливается отраженным. Суммарный световой импульс при воздушном взрыве может быть больше прямого в 1,5—2 раза. Если взрыв происходит между облаками и землей, то световое излучение, отраженное от облаков, действует на объекты, закрытые от прямого излучения. Световой импульс, отраженный от облаков, может достигать половины прямого импульса.

Световое излучение ядерного взрыва при непосредственном воздействии на человека вызывает ожоги открытых участков тела, временное ослепление или ожоги сетчатки глаз. Возможны вторичные ожоги, возникающие от пламени горящих зданий, сооружений, растительности, воспламенившейся или тлеющей одежды.

Независимо от причин возникновения, ожоги разделяют по тяжести поражения организма.

Ожоги первой степени выражаются в болезненности, покраснении и припухлости кожи. Они не представляют серьезной опасности и быстро вылечиваются без каких-либо последствий. При *ожогах второй степени* образуются пузыри, заполненные прозрачной белковой жидкостью; при поражении значительных участков кожи человек может потерять на некоторое время трудоспособность и нуждается в специальном лечении. Пострадавшие с ожогами первой и второй степеней, достигающими даже 50-60% поверхности кожи, обычно выздоравливают. *Ожоги третьей степени* характеризуются омертвлением кожи с частичным поражением росткового слоя. *Ожоги четвертой степени*: омертвление кожи и более глубоких слоев тканей (подкожной клетчатки, мышц, сухожилий костей). Поражение ожогами третьей и четвертой степени значительной части кожного покрова может привести к смертельному исходу. Одежда людей и шерстяной покров животных защищает кожу от ожогов. Поэтому ожоги чаще бывают у людей на открытых частях тела, а у животных - на участках тела, покрытых коротким и редким волосом. Импульсы светового излучения, необходимые для поражения кожи животных, покрытой волосатым покровом, более высокие.

Степень ожогов световым излучением закрытых участков кожи зависит от характера одежды, ее цвета, плотности и толщины. Люди, одетые в свободную одежду светлых тонов, одежду из шерстяных тканей, обычно меньше поражены световым излучением, чем люди, одетые в плотно прилегающую одежду темного цвета или прозрачную, особенно одежду из синтетических материалов.

Большую опасность для людей и сельскохозяйственных животных представляют пожары, возникающие на объектах народного хозяйства в результате воздействия светового излучения и ударной волны. По данным иностранной печати, в городах Хиросима и Нагасаки примерно 50% всех смертельных случаев было вызвано ожогами; из них 20-30% — непосредственно световым излучением и 70- 80% — ожогами от пожаров.

Поражение глаз человека может быть в виде временного ослепления - под влиянием яркой световой вспышки. В солнечный день ослепление длится 2-5 мин, а ночью, когда зрачок сильно расширен и через него проходит больше света, - до 30 мин и более. Более тяжелое (необратимое) поражение - ожог глазного дна - возникает в том случае, когда человек или животное фиксирует свой взгляд на вспышке взрыва. Такие необратимые поражения возникают в результате концентрированного (фокусируемого хрусталиком глаза) на сетчатку глаза прямо падающего потока световой энергии в количестве, достаточном для ожога тканей. Концентрация энергии, достаточной для ожога сетчатой оболочки, может

произойти и на таких расстояниях от места взрыва, на которых интенсивность светового излучения мала и не вызывает ожогов кожи. В США при испытательном взрыве мощностью около 20 кт отметили случаи ожога сетчатки на расстоянии 16 км от эпицентра взрыва, на расстоянии, где прямой световой импульс составлял примерно 6 кДж/м^2 ($0,15 \text{ кал/см}^2$). При закрытых глазах временное ослепление и ожоги глазного дна исключаются.

Защита от светового излучения более проста, чем от других поражающих факторов. Световое излучение распространяется прямолинейно. Любая непрозрачная преграда, любой объект, создающий тень, могут служить защитой от него. Используя для укрытия ямы, канавы, бугры, насыпи, простенки между окнами, различные виды техники, кроны деревьев и т. п., можно значительно ослабить или вовсе избежать ожогов от светового излучения. Полную защиту обеспечивают убежища и противорадиационные укрытия.

Энергия светового импульса, падая на поверхность предмета, частично отражается его поверхностью, поглощается им и проходит через него, если предмет прозрачный. Поэтому характер (степень) поражения элементов объекта зависит как от светового импульса и времени его действия, так и от плотности, теплоемкости, теплопроводности, толщины, цвета, характера обработки материалов, расположения поверхности к падающему световому излучению, — всего, что будет определять степень поглощения световой энергии ядерного взрыва.

Световой импульс и время высвечивания светового излучения зависят от мощности ядерного взрыва. При продолжительном действии светового излучения происходит большой отток тепла от освещенной поверхности в глубь материала, следовательно, для нагрева ее до той же температуры, что и при кратковременном освещении, требуется большее количество световой энергии. Поэтому, чем выше тротиловый эквивалент, тем больший световой импульс требуется для воспламенения материала. И, наоборот, равные световые импульсы могут вызвать большие поражения при меньших мощностях взрывов, так как время их высвечивания меньше (наблюдаются на меньших расстояниях), чем при взрывах большой мощности.

Тепловое воздействие проявляется тем сильнее в поверхностных слоях материала, чем они тоньше, менее прозрачны, менее теплопроводны, чем меньше их сечение и меньше удельный вес. Однако, если световая поверхность материала быстро темнеет в начальный период действия светового излучения, то остальную часть световой энергии она поглощает в большем количестве, как и материал темного цвета. Если же под действием излучения на поверхности материала образуется большое количество дыма, то его экранирующее действие ослабляет общее воздействие излучения. К материалам и предметам, способным легко воспламеняться от светового излучения, относятся: горючие газы, бумага, сухая трава, солома, сухие листья, стружка, резина и резиновые изделия, пиломатериалы, деревянные постройки. Пожары на объектах и в населенных пунктах возникают от светового излучения и вторичных факторов, вызванных воздействием ударной волны. Наименьшее избыточное давление, при котором могут возникнуть пожары от вторичных причин, — 10 кПа ($0,1 \text{ кгс/см}^2$). Возгорание материалов может наблюдаться при световых импульсах 125 кДж (3 кал/см^2) и более. Эти импульсы светового излучения в ясный солнечный день наблюдаются на значительно больших расстояниях, чем избыточное давление во фронте ударной волны 10 кПа . Так, при воздушном ядерном взрыве мощностью 1 Мт в ясную солнечную погоду деревянные строения могут воспламеняться на расстоянии до 20 км от центра взрыва, автотранспорт — до 18 км , сухая трава, сухие листья и гнилая древесина в лесу — до 17 км . Тогда как действие избыточного давления 10 кПа для данного взрыва отмечается на расстоянии 11 км . Большое влияние на возникновение пожаров оказывает наличие горючих материалов на территории объекта и внутри зданий и сооружений. Световые лучи на близких расстояниях от центра взрыва падают под большим углом к поверхности земли; на больших расстояниях — практически параллельно поверхности земли. В этом случае световое излучение проникает через застекленные проемы в помещения и может воспламенять горючие материалы, изделия и оборудование в цехах предприятий

(большинство сортов хозяйственных тканей, резины и резиновых изделий загорается при световом импульсе $250\text{—}420 \text{ кДж/м}^2$ ($6\text{—}10 \text{ кал/см}^2$)).

С точки зрения производства спасательных работ пожары классифицируют по трем зонам: зона отдельных пожаров, зона сплошных пожаров и зона горения и тления в завалах. Зона пожаров представляет территорию, в пределах которой в результате воздействия оружия массового поражения возникли пожары. *Зоны отдельных пожаров* представляют собой районы, участки застройки, на территории которых пожары возникают в отдельных зданиях, сооружениях. Маневр формирования между отдельными пожарами без средств тепловой защиты возможен. Зона сплошных пожаров - территория, на которой горит большинство сохранившихся зданий. Через эту территорию невозможен проход или нахождение на ней формирований без средств защиты от теплового излучения или проведения специальных противопожарных мероприятий по локализации или тушению пожара. *Зона горения и тления* в завалах представляет собой территорию, на которой горят разрушенные здания и сооружения I, II и III степени огнестойкости. Она характеризуется сильным задымлением: выделением окиси углерода и других токсичных газов и продолжительным (до нескольких суток) горением в завалах. Сплошные пожары могут развиваться в огневой шторм, представляющий собой особую форму пожара. *Огневой шторм* характеризуется мощными восходящими вверх потоками продуктов сгорания и нагретого воздуха, создающими условия для ураганного ветра, дующего со всех сторон к центру горящего района со скоростью 50-60 км/ч и более. Образование огненных штормов возможно на участках с плотностью застройки зданиями и сооружениями III, IV и V степени огнестойкости не менее 20%. Последствием воспламеняющего действия светового излучения могут быть обширные лесные пожары. Возникновение и развитие пожаров в лесу зависит от времени года, метеорологических условий и рельефа местности. Сухая погода, сильный ветер и ровная местность способствуют распространению пожара. Лиственный лес летом, когда деревья имеют зеленые листья, загорается не так быстро и горит с меньшей интенсивностью, чем хвойный. Осенью световое излучение ослабляется кронами меньше, а наличие сухих опавших листьев и сухой травы способствует возникновению и распространению низовых пожаров. В зимних условиях возможность возникновения пожаров уменьшается в связи с наличием снежного покрова.

4.3.5 Проникающая радиация

Радиация - важный поражающий фактор ядерного оружия, представляющий собой гамма-излучение и поток нейтронов, испускаемых в окружающую среду из зоны ядерного взрыва. Кроме гамма-излучения и потока нейтронов выделяются ионизирующие излучения в виде альфа- и бета-частиц, имеющих малую длину свободного пробега, вследствие чего их воздействием на людей и материалы пренебрегают. Время действия проникающей радиации не превышает 10-15 с с момента взрыва.

Основные параметры, характеризующие ионизирующие излучения, - доза и мощность дозы излучения, поток и плотность потока частиц.

Степень тяжести лучевого поражения главным образом зависит от поглощенной дозы. Для измерения поглощенной дозы любого вида ионизирующего излучения Международной системой измерений "СИ" установлена единица грэй (Гр); в практике применяется внесистемная единица - рад. *Грэй* равен поглощенной дозе излучения, соответствующей энергии 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной облучаемому веществу массой 1 кг. Для типичного ядерного взрыва один рад соответствует потоку нейтронов (с энергией, превышающей 200 эВ) порядка $5 \cdot 10^{14}$ нейтрон / м^2 : $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад} = 10000 \text{ эрг/г}$.

Радиоактивное заражение возникает в результате выпадения радиоактивных веществ (РВ) из облака ядерного взрыва. Основные источники радиоактивности при ядерных взрывах: продукты деления веществ, составляющих ядерное горючее (200 радиоактивных изотопов 36 химических элементов); наведенная активность, возникающая в результате воздействия потока нейтронов ядерного взрыва на некоторые химические элементы, входящие в состав грунта (натрий, кремний и др.); некоторая часть ядерного горючего,

которая не участвует в реакции деления и попадает в виде мельчайших частиц в продукты взрыва.

Излучение радиоактивных веществ состоит из трех видов лучей: альфа, бета и гамма. Наибольшей проникающей способностью обладают гамма-лучи (в воздухе они проходят путь в несколько сот метров), меньшей—бета-частицы (несколько метров) и незначительной — альфа-частицы (несколько сантиметров). Поэтому основную опасность для людей при радиоактивном заражении местности представляют гамма- и бета-излучения.

Радиоактивное заражение имеет ряд особенностей, отличающих его от других поражающих факторов ядерного взрыва. К ним относятся: большая площадь поражения — тысячи и десятки тысяч квадратных километров; длительность сохранения поражающего действия — дни, недели, а иногда и месяцы; трудности обнаружения радиоактивных веществ, не имеющих цвета, запаха и других внешних признаков.

Очагом ядерного поражения называется территория, в пределах которой в результате воздействия ядерного оружия произошли массовые поражения людей, сельскохозяйственных животных, растений и (или) разрушения и повреждения зданий и сооружений.

Очаг ядерного поражения характеризуется: количеством пораженных; размерами площадей поражения; зонами заражения с различными уровнями радиации; зонами пожаров, затопления, разрушения и повреждения зданий и сооружений; частичным разрушением, повреждением или завалом защитных сооружений.

Поражение людей и животных в очаге может быть от воздействия ударной волны, светового излучения, проникающей радиации и радиоактивного заражения, а также от воздействия вторичных факторов поражения. Степень разрушения элементов производственного комплекса объекта определяется в основном действием ударной волны, светового излучения, вторичных факторов поражения, а для некоторых объектов — также действием проникающей радиации и электромагнитного импульса. Одновременное непосредственное и косвенное действие всех поражающих факторов ядерного взрыва на людей, оказавшихся в очаге, утяжеляет степень поражения. Такое одновременное действие может увеличить степень разрушений зданий, сооружений, вывод из строя оборудования и т. д. Однако соотношение отдельных видов поражений и разрушений непостоянно; в зависимости от конкретных условий, мощности и вида взрыва оно может меняться в широких пределах. Так, с увеличением мощности взрыва увеличивается площадь разрушений зданий и при прочих равных условиях поражается большее количество людей. В зависимости от метеорологических условий изменяется степень поражения световым излучением. При ядерных взрывах малой мощности, воздействие проникающей радиации на людей значительно, чем воздействие ударной волны и светового излучения.

4.4 Взрыв над лесным массивом

Непосредственное действие оружия может быть усилено выбором цели. Представим себе вполне «безобидную», на первый взгляд, ситуацию, когда бомба мощностью в 1 Мт взрывается над лесным массивом. Излучение взрыва немедленно вызовет пожар на площади около 10^3 км^2 , содержащей 10 миллионов кубических метров леса. Очень трудно предсказать характер развития этого грандиозного пожара: будет ли он распространяться дальше или погибнет от нехватки кислорода. Если в качестве компромиссной оценки принять, что лес сгорит на территории 1000 км^2 , то тепло, выделившееся от горения леса будет превосходить энергию собственного взрыва в десятки раз. Пожар будет сопровождаться мощными бурями, вызванными перемещениями разогретого воздуха в верхние слои атмосферы вместе с продуктами горения — золой.

Десять тысяч имеющихся бомб хватит, чтобы сжечь лес на площади 10^6 км^2 . общее энерговыделение сравнимо с потреблением человеком энергии в продолжении десятков лет, зола закроет Солнце, ее толщина в пересчете на Землю составит доли миллиметра.

4.5 Ядерная зима

Можно сказать, что уже сейчас люди располагают силой в виде ядерной энергии, способной вызвать необратимые последствия для всей экосистемы, включая человека. Такова вполне беспросветная картина массовой ядерной войны.

Много писалось о «ядерной зиме». Напомним, что при взрыве в атмосферу выбрасывается грунт в количестве, примерно равном мощности, выброшенной в тоннах тротила (одной мегатонне соответствует миллион тонн грунта). Путем прямых расчетов и сравнений с крупнейшими извержениями доказывалось, что десять тысяч мегатонных взрывов способны поднять такое количество пыли, что она нарушит прозрачность атмосферы, солнечные лучи не дойдут до поверхности. Наступит резкое похолодание и гибель всего живого.

5. ИСПЫТАНИЕ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

5.1 Безопасность ядерного оружия

Контроль за безопасностью ядерного оружия требует проведения испытаний его надежности. Возможны три способа испытания ядерного оружия: 1. Взрывы на полигоне. 2. Демонтаж зарядов и проверка отдельных узлов в лабораторных условиях. 3. Теоретические расчеты и имитационное моделирование.

Одна из задач разработчиков оружия состоит в том, чтобы сделать его нечувствительным ко всякого рода отклонениям в изготовлении, к качеству материалов. Пока существует оружие, необходимо поддерживать его боеготовность. Есть конечная вероятность снижения мощности или даже отказа при неблагоприятном наложении допусков, усугубленных к тому же «старением». Отсюда возникает необходимость проверок.

Непременным абсолютным требованием к ядерному оружию является недопустимость ядерного взрыва при всех неожиданностях – пожаре, попадании пули, падении с высоты и тому подобное. Конструкция современной бомбы исключает несанкционированное развитие в ней ядерных процессов. Однако обычные взрывчатые вещества, входящие в состав ядерного оружия, не удовлетворяют критериям безопасности. Поэтому ведется постоянный поиск новых взрывчатых веществ, что требует продолжения испытаний.

За все время существования ядерного оружия в России разбрасывания плутония от случайного взрыва не наблюдалось. Отсутствие подобного рода инцидентов свидетельствует о высокой надежности производства и эксплуатации оружия, богатом накопленном опыте (примерно миллион «бомбо-лет»). Сейчас риск опасных событий резко снижается из-за разоружения.

К 1997 г. США провели 1032, СССР – 715, Франция – 210, Великобритания – 45, Китай – 47 испытаний. Как всякое крупное явление, ядерное оружие переживает стадии рождения, бурного развития, насыщения. С учетом сотен испытаний, многолетних исследований оружие явно переживает свою заключительную фазу. Сейчас испытание ядерного оружия предпочитают осуществлять методами компьютерного моделирования, но раньше испытания проводили на специальных полигонах.

5.2 Полигоны

5.1.1 Новая Земля

В октябре 1961 на полигоне «Новая Земля» в верхних слоях атмосферы взорвана самая большая бомба мощностью 50 Мт (бомба в 100 Мт, с целью уменьшения радиоактивности мощность была искусственно снижена примерно вдвое заменой урана на неделящиеся материалы. Из правительственного заявления следовало, что у нас есть бомба мощностью 100 Мт, а, если надо, то и более. В 1962 продолжались испытания бомб большой мощности, но все же поменьше, чем первая. Недостатки супербомбы: конструкция непрактична и неоправданно усложнена, перетяжена настолько, что не лезет ни в один существующий и перспективный носитель.

5.1.2 Семипалатинск

21 августа 1947 года Совет Министров СССР принял закрытое постановление о создании 2-го Государственного научно-исследовательского испытательного ядерного полигона. Семипалатинский полигон общей площадью 18000 кв. км был создан в 1948 году специально для проведения испытаний первого советского ядерного устройства. Полигон располагался в северо-восточном Казахстане, на стыке Павлодарской, Карагандинской и бывшей Семипалатинской областей. Первый ядерный взрыв на полигоне произведен 29 августа 1949 года, последний - 19 октября 1989. Первый подземный ядерный взрыв осуществлен 11 октября 1961 года. Здесь впервые проведено испытание термоядерного оружия (12.08.53) и водородной бомбы (22.11.55).

За 40 лет на полигоне произведено 464 воздушных, наземных и подземных ядерных взрывов, в том числе 116 (26 наземных и 90 воздушных) до 1963 года. После подписания в 1963 году договора с США и Великобританией о запрещении испытаний в атмосфере, космическом пространстве и под водой, СССР стал производить подземные взрывы. После заключения договора о запрещении ядерных испытаний в атмосфере (1963) было осуществлено еще 346 подземных ядерных взрывов, в том числе пять в мирных целях (в частности, создание искусственного озера Чаган в январе 1965). Подземные взрывы проводились как в горизонтальных (215 взрывов), так и в вертикальных (133 взрыва) выработках заложения ядерных нарывных устройств. Помимо ядерных взрывов на полигоне произведено 175 взрывов с применением химических взрывчатых веществ. Последний ядерный заряд на полигоне, в штольне в горах Дегелен, был уничтожен методом химического подрыва 31 мая 1995 года. Список подземных ядерных взрывов, проведенных на Семипалатинском полигоне в 1961-1989 гг (с 6 августа 1985 г. по 25 февраля 1987 года существовал односторонний мораторий СССР на проведении любых ядерных взрывов) приведен в **Табл.1**.

Пояснения к Табл.1. По признакам наблюдаемой радиационной ситуации подземные ядерные взрывы в соответствии с принятой терминологией характеризуются как:

ВВГ — взрыв с выбросом грунта — подземный взрыв наружного действия, сопровождающийся разрушением и перемещением пород в эпицентральной зоне и выходом его радиоактивных продуктов в атмосферу в аэрозольной и газовой фазах; на земной поверхности образуется воронка (кратер) выброса;

ВКП — взрыв камуфлетный полный — подземный взрыв полного внутреннего действия, сопровождающийся образованием подземной полости с соответствующим уплотнением, дроблением и растрескиванием горной породы вокруг нее, но породный целик препятствует выходу или истечению газообразных продуктов в атмосферу;

ВНК (РИГ) — взрыв неполного камуфлета — взрыв полного внутреннего действия, сопровождающийся соединением зон трещиноватости и откольного разрушения поверхности земли в эпицентральной зоне взрыва и вентиляционным, как правило незначительным, истечением в атмосферу короткоживущих радионуклидов — инертных газов

ВНК (НРС) — взрыв неполного камуфлета — взрыв полного внутреннего действия с нештатной радиационной ситуацией (НРС) сопровождающийся ранним и напорным динамическим попаданием в атмосферу продуктов взрыва в газо и парообразной фазе, обусловленным случайным нарушением нормального процесса проведения испытания или не предусмотренными проектом его последствиями, которые могли привести или приводили к облучению людей выше установленных норм или к материальному ущербу.

По первичному радиационному эффекту подземные взрывы на Семипалатинском полигоне распределяются следующим образом: 50 % — ВКП; 49 % — ВНК (РИГ), в том числе 4 % ВНК (НРС), 1% — ВВГ.

Результаты экспедиционных исследований Академии наук Республики Казахстан, проведенные еще в 1957-1959 показали экологическую опасность проведения испытаний, наличие повышенного радиоактивного загрязнения территорий, прилегающих к Семипалатинскому полигону, и возникновения патологии у людей и животных. За пределы полигона вышли радиоактивные облака 55 воздушных и наземных взрывов и газовая фракция 69 подземных взрывов.

В апреле 1996 года Национальный ядерный центр Казахстана и Агентство по ядерной безопасности при министерстве обороны США подписали соглашение, в соответствии с которым казахстанские и американские специалисты приступили к ликвидации 186 туннелей, штолен, скважин и шахт в которых проводились испытания. 29 июля 2000 года путем подрыва 100 тонн гранулированного тротила взорвана последняя штольня

Семипалатинского ядерного полигона. Полигон прекратил свое существование. В память о жертвах ядерных испытаний в Семипалатинске был воздвигнут монумент.

6. МИРНЫЕ ВЗРЫВЫ

В СССР была произведена серия мирных взрывов атомных и водородных зарядов.

Серией взрывов пытались облегчить земляные работы на предполагаемом канале по переброске северных рек в южные районы страны. Как сам проект был не подготовлен, так и место взрывов встретило сопротивление общественности. Воронки от взрывов в той болотистой местности заплыли за 1-2 года. На юге страны, в Средней Азии, в районе Памука возник мощный горящий факел. Пожарные не могли подойти к очагу горения ближе нескольких метров – такова была сила огня. Была прорыта наклонная скважина на пересечении с горячей. Вот тогда решающую роль сыграл малый калибр нашего ядерного снаряда. Взрыв производился в исключительно тяжелых условиях, при температуре около 1000С. Ударная волна пережала канал, поступление газа наружу прекратилось.

В Апатитах с целью дробления массива руды произведен взрыв в необычной постановке. Хитрость состояла в том, чтобы значительную долю энергии оттранслировать в рабочую область, а малоподвижную и радиоактивную – самозахоронить в отдалении.

Десятки взрывов прозвучали в малоизученных, но весьма перспективных районах Сибири, направленных на составление геологических карт обширных областей, в том числе нефте- и газоносных (сейсморазведка). Был подготовлен, но не осуществлен взрыв на Удоканском медном месторождении, который с учетом горного рельефа должен был обнажить рудоносный слой.