



Тайгинское подразделение
Западно-Сибирского учебного центра профессиональных квалификаций-
структурное подразделение Западно-Сибирской железной дороги-филиала
ОАО «РЖД»

Осинцева А.В.

Методическое пособие по теме:

«Ядерное оружие и причины последствия его применения»



Тайга 2022

Содержание

Введение

1 Ядерная бомба — история появления ядерного оружия	..... 1
1.1 История создания оружия	.....1
1.2 Работы до 1941 года	.....1
1.3 Роль деятельности Радиевого института	.....2
1.4 Работа в 1941—1943 годах. Информация внешней разведки	.....3
1.5 Запуск атомного проекта	.....7
2 Ядерная бомба — история появления ядерного оружия	.....10
2.1 Американская программа	.....10
2.2 Первые испытания, практическое применение ядерного оружия	.....13
2.3 Создание Специального комитета	.....16
2.4 Задачи атомного проекта	.....17
2.5 Участие немецких специалистов в атомном проекте	.....18
2.6 Немецкое урановое сырьё	.....18
2.7 Строительство заводов	.....20
2.8 Разработка конструкции атомных бомб	.....23
2.9 Атомные реакторы	.....25
2.10 Получение оружейного плутония	.....26
2.11 Следующие этапы советской программы	.....27
2.12 Совершенствование ядерного оружия и гонка вооружений	.....28
2.13 Эволюция средств доставки	.....29
3 Ядерные взрывные устройства	.....33
3.1 Термоядерные взрывные устройства	.....33
3.2 Ядерные взрывные устройства с усилением	.....34
3.3 Виды ядерных взрывов и поражающие факторы	.....34
3.4 Классификация ядерных боеприпасов	.....44
3.5 Мощность ядерного заряда	.....45
3.6 Бустеризация ядерного взрыва	.....49
3.7 Ядерный клуб	.....53
3.8 Принцип нераспространения	.....56
4 Основные принципы защиты от поражающих факторов ядерного взрыва	.....57
Список литературы	

Введение

В 1896 году французским физиком Антуаном Беккерелем было открыто явление радиоактивного излучения. Оно положило начало эре излучения и использования ядерной энергии. Говоря о ней, выдающийся русский ученый В.И. Вернадский подчеркивал: “С надеждой и опасением всматриваемся мы в нашего союзника и защитника”. И его опасения подтвердились – вначале появились не ледоколы, не атомные электростанции, не космические корабли, а оружие чудовищной разрушительной силы. Его создали в 1945 году бежавшие перед началом второй мировой войны из фашистской Германии в США и поддержанные правительством этой страны физики под руководством американского ученого Роберта Оппенгеймера.

Многие ошибаются, думая, что первый ядерный взрыв был произведен в Хиросиме. На самом деле испытание было произведено в США 16 июля 1945 года. Это произошло в пустынном районе близ города Аламогордо (штат Нью Мексико). На верхней платформе специально построенной 33-метровой стальной вышки была взорвана атомная бомба. По приблизительным оценкам специалистов при этом выделилась энергия, эквивалентная энергии взрыва не менее 15–20 тысяч тонн тринитротолуола.

Стальная конструкция вышки испарилась. На ее месте образовалась воронка диаметром 37 метров и глубиной 1.8 метра. Она являлась центром простиравшегося на большое расстояние кратера. В окружности 370 км была уничтожена вся растительность. Находившаяся на расстоянии 150 метров от точки взрыва стальная труба диаметром 10 см и высотой 5 метров тоже испарилась. Прочная стальная конструкция высотой 21 метр, подобная части каркаса 15-20 этажного дома, находившаяся на расстоянии 500 метров, была вырвана из бетонного основания, перекручена и разлетелась на части.

Вспышка от взрыва на расстоянии 32 км казалась в несколько раз ярче, чем солнечный свет в полдень. После нее образовался огненный шар, существовавший несколько секунд. Свет от него был виден в населенных пунктах на расстоянии до 290 км. Звук от взрыва был слышен на таком же расстоянии. В одном случае стекла в зданиях были выбиты ударной волной даже на расстоянии 200 км.

В результате взрыва образовалось гигантское облако сферической формы. Клубясь, оно устремилось вверх, приобрело форму гигантского гриба. Облако состояло из нескольких тонн пыли, поднятой с поверхности земли, паров железа и большого количества радиоактивных веществ, образовавшихся при цепной реакции деления ядерного заряда. Пыль и радиоактивные частицы осели на огромной площади, небольшое их количество было обнаружено на удалении 190 км от эпицентра взрыва. Испытания бомбы показали, что новое оружие готово к боевому применению.

1 Ядерная бомба — история появления ядерного оружия

1.1 История создания оружия

Теоретические начала военного применения атомного распада были заложены открытием радиоактивности семьей Кюри (1898г.), работами Э. Резерфорда (1911г.). Практически ядро атома сумели расщепить ирландец Э. Уолтон и англичанин Д. Кокрофт (1932г.) в Кембридже. В английском Бирмингемском университете О. Фриш и Р. Пайерлс (1939г.) теоретически рассчитали критическую массу урана, необходимую для взрыва бомбы. Она составила 10 килограммов урана -235 . Работы по конструированию атомной бомбы США и Германия начали практически одновременно (август, сентябрь 1939г.). Но Германия, не имевшая собственных запасов урановой руды и занятая военными действиями, не могла уделять первоочередного внимания ядерному оружию. Работы В. Гейзенберга по строительству ядерного реактора двигались медленно. Из пяти методов разделения изотопов эффективным оказался только один. Практическому эксперименту получения цепной реакции (январь 1945г.) помешал демонтаж оборудования, который провели под угрозой приближения советских войск.

Создание советской атомной бомбы (военная часть атомного проекта СССР) - фундаментальные исследования, разработка технологий и практическая их реализация в Советском Союзе в период с 1942 по 1950 годы, направленные на создание оружия массового поражения с использованием ядерной энергии. Мероприятия в немалой степени были стимулированы деятельностью в этом направлении научных учреждений и военной промышленности других стран, в первую очередь нацистской Германии (немецкая ядерная программа) и США (проект «Манхэттен»).

1.2 Работы до 1941 года

В 1930—1941 годах активно проводились работы в ядерной области. В это десятилетие проводились фундаментальные радиохимические исследования, без которых вообще немислимо полное понимание этих проблем, их развитие и, тем более - реализация.

Проводились всесоюзные конференции АН СССР по ядерной физике, в которых принимали участие отечественные и иностранные исследователи, работавшие не только в области атомной физики, но и в других смежных дисциплинах — геохимии, физической химии, неорганической химии и др. Работы с начала 1920-х годов интенсивно развивались в Радиевом институте и в первом Физтехе (оба в Ленинграде), в Харьковском физико-техническом институте, в Институте химической физики в Москве.

Авторитетом в этой области считался академик В. Г. Хлопин. Также серьёзный вклад сделали, в числе многих других, сотрудники Радиевого института: Г. А. Гамов, И. В. Курчатов и Л. В. Мысовский (создатели первого в Европе циклотрона), Ф. Ф. Ланге (создал первый советский проект атомной бомбы — 1940), а также основатель Института химической физики Н. Н. Семёнов. Советский проект курировал Председатель СНК СССР В. М. Молотов.

В 1941 году исследования по атомной проблематике были засекречены. Начало Великой Отечественной войны в значительной степени обусловило то, что в СССР были вынуждены сократить объёмы проводившихся ядерных исследований, в том числе - исследования возможности осуществления цепной реакции деления, тогда как в Великобритании и США работы по этой проблеме энергично продолжались.

1.3 Роль деятельности Радиевого института

Хронология исследований, проводившихся сотрудниками Радиевого института в Ленинграде, говорит о том, что работы в данном направлении не были свёрнуты полностью, чему в немалой степени способствовали предвоенные фундаментальные изыскания. Ещё в 1938 году здесь была создана первая в СССР лаборатория искусственных радиоактивных элементов (заведующий А. Е. Полесицкий); в 1939 году опубликованы работы В. Г. Хлопина, Л. В. Мысовского, А. П. Жданова, Н. А. Перфилова и других исследователей о делении ядра урана под действием нейтронов; в 1940 году Г. Н. Флеровым и К. А. Петржаком было открыто явление спонтанного деления тяжелых ядер на примере урана.

Под председательством В. Г. Хлопина сформирована Урановая комиссия АН СССР, в 1942 году в период эвакуации института, А. П. Жданов и Л. В. Мысовский открыли новый вид ядерного деления — полный развал атомного ядра под действием многозарядных частиц космических лучей; в 1943 году В. Г. Хлопин направил письмо в ГКО и АН СССР, дающее обоснование обязательного участия Радиевого института в «урановом проекте».

Радиевому институту поручена разработка технологии выделения экрания ($Z = 93$) и эка-осмия ($Z = 94$) из облучённого нейтронами урана; в 1945 году с помощью циклотрона получен первый советский препарат плутония в импульсных количествах. Под руководством Б. С. Дзелепова начаты работы по бета-, гамма-спектроскопии ядер.

Институту были поручены: проверка и испытания методов выделения плутония, изучение химии плутония, разработка технологической схемы выделения плутония из облученного урана, выдача технологических данных заводу. В 1946 году завершена разработка технологии получения плутония из облученного урана (руководитель В. Г. Хлопин). Институт совместно с

проектировщиками ГИПХ (Я. И. Зильберман, Н. К. Хованский) выдал технологическую часть проектного задания объекта «Б» («Синяя книга»), содержащую все необходимые первичные данные для проектирования радиохимического завода.

В 1947 году Г. М. Толмачёв разработал радиохимический метод определения коэффициента использования ядерного горючего при ядерных взрывах. В 1948 году под руководством Радиевого института и на основе разработанной им ацетатной осадительной технологии пущен первый в СССР радиохимический завод под Челябинском. К 1949 году наработано количество плутония, необходимое для испытания ядерного оружия. Проведена первая разработка полоний-бериллиевых источников в качестве запала для ядерных бомб первого поколения (руководитель Д. М. Зив).

1.4 Работа в 1941—1943 годах. Информация внешней разведки

Уже с сентября 1941 года в СССР начала поступать разведывательная информация о проведении в Великобритании и США секретных интенсивных научно-исследовательских работ, направленных на разработку методов использования атомной энергии для военных целей и создание атомных бомб огромной разрушительной силы. Одним из наиболее важных документов, полученных ещё в 1941 году советской разведкой, является отчёт британского «Комитета М.А.У.Д.». Из материалов этого отчёта, полученного по каналам внешней разведки НКВД СССР от Джона Кернкросса (агент «Лист» из Кембриджской пятёрки) — помощника секретаря Имперского военного кабинета лорда Хэнки, следовало, что создание атомной бомбы реально, что вероятно она может быть создана ещё до окончания войны и, следовательно, может повлиять на её ход. Примечательно, что стенограмма сверхсекретного заседания в Лондоне от 16 сентября оказалась на столе у начальника внешней разведки СССР П. М. Фитина уже 17 сентября.

Фитин обратил внимание на донесения британских агентов и доложил об этом Л. Берии, распорядившемуся передать полученные сведения на экспертизу в 4-й спецотдел НКВД, занимавшийся научно-исследовательскими разработками. С этого момента в СССР фактически началась работа по созданию атомного оружия (операция «Энормоз» (Enormous (англ.) - огромный, чудовищный) - в период, когда враг рвался к Москве, а положение на фронтах было угрожающим.

Разведывательная информация о работах по проблеме атомной энергии за рубежом, имевшаяся в СССР к моменту принятия решения о возобновлении работ по урану, была получена как по каналам разведки НКВД, так и по каналам Главного разведывательного управления (ГРУ) Генерального штаба Красной армии.

В мае 1942 года руководство ГРУ информировало Академию наук СССР о наличии сообщений о работах за рубежом по проблеме использования

атомной энергии в военных целях и просило сообщить, имеет ли в настоящее время эта проблема реальную практическую основу. Ответ на указанный запрос в июне 1942 года дал В. Г. Хлопин, который отметил, что за последний год в научной литературе почти совершенно не публикуются работы, связанные с решением проблемы использования атомной энергии, что свидетельствовало об их засекречивании.

Официальное письмо главы НКВД Л. П. Берии на имя И. В. Сталина с информацией о работах по использованию атомной энергии в военных целях за рубежом, предложениями по организации этих работ в СССР и секретном ознакомлении с материалами НКВД видных советских специалистов, варианты которого были подготовлены сотрудниками НКВД ещё в конце 1941 - начале 1942 годов, было отправлено И. В. Сталину только в октябре 1942 года, уже после принятия распоряжения ГКО о возобновлении в СССР работ по урану.

Советская разведка имела подробные сведения о работах по созданию атомной бомбы в США, исходившие от специалистов, понимавших опасность ядерной монополии или сочувствующих СССР, в частности, Клауса Фукса, Теодора Холла, Жоржа Коваля и Давида Грингласа.

Охота за данными уранового проекта Америки началась по инициативе начальника отдела научно-технической разведки НКВД Леонида Квасникова ещё в 1942 году, но полностью развернулась только после прибытия в Вашингтон знаменитой пары советских разведчиков: Василия Зарубина и его жены Елизаветы. Именно с ними взаимодействовал резидент НКВД в Сан-Франциско Григорий Хейфиц, сообщивший, что виднейший физик Америки Роберт Оппенгеймер и многие его коллеги выехали из Калифорнии в неизвестное место, где будут заниматься созданием какого-то сверхоружия.

Перепроверить данные «Харона» (таким было кодовое имя Хейфица) было поручено подполковнику Семену Семёнову (псевдоним «Твен»), работавшему в США с 1938 года и собравшего там большую и активную агентурную группу. Именно «Твен» подтвердил реальность работ по созданию атомной бомбы, назвал код Манхэттенского проекта и местонахождение его главного научного центра - бывшей колонии для малолетних преступников Лос-Аламос в штате Нью-Мексико. Семенов также сообщил фамилии некоторых учёных, работавших там, которые в своё время были приглашены в СССР для участия в больших сталинских стройках и которые, вернувшись в США, не потеряли связей с крайне левыми организациями.

Основных же руководителей Манхэттенского проекта удалось установить Елизавете Зарубиной (агентурный псевдоним «Вардо»).

Павел Судоплатов в книге *«Спецоперации. Лубянка и Кремль 1930—1950 годы»* давал ей следующую характеристику:

«Лиза Зарубина была выдающейся личностью. Обаятельная и общительная, она легко устанавливала дружеские связи в самых широких кругах. Элегантная женщина классической красоты, натура утонченная, она как магнит притягивала к себе людей, не только мужчин, но и женщин. Лиза была одним из самых высококвалифицированных вербовщиков агентуры. Она прекрасно владела английским, немецким, французским и румынским языками, понимала испанский и итальянский. Лиза выглядела типичной представительницей Центральной Европы, хотя и была румынской еврейкой. Она могла до неузнаваемости менять свою внешность и манеру поведения... Именно „Вардо“ сумела сделать, пожалуй, решающий вклад в получение точной и оперативной информации о ходе работ в Лос-Аламосе и технических данных по устройству атомных бомб. Её главной заслугой явилось внедрение в мозговой центр Манхэттенского проекта выдающегося физика, завербованного советской военной разведкой, Клауса Фукса, который был передан на связь супругам Зарубиным. После своего приезда в США, Лиза подружилась с любовницей Альберта Эйнштейна, женой известного русского скульптора Конёнкова Маргаритой, по простоте душевной рассказавшей Лизе о том, что у Эйнштейна бывают главные лица Манхэттенского проекта: Роберт Оппенгеймер, Энрико Ферми, Лео Силард и другие. Под давлением „Вардо“ Маргарита познакомила её и сотрудника резидентуры Пастельняка с Оппенгеймером и его женой Кэтрин. Ставши своими в семье научного руководителя проекта, советские разведчики уговорили его добиться перевода в Лос-Аламос Клауса Фукса, который и стал главным источником научно выверенной информации для Москвы. Но и, кроме того, Лиза близко сошлась с ещё одним крупнейшим ученым в атомном проекте, Силардом, и убедила его допустить в этот проект несколько завербованных специалистов, в том числе - Мортон Собелла, Теодора Холла и Дэвида Грингласса. Последний стал работать механиком в лаборатории Лос-Аламоса. Ещё одним весьма важным агентом был итальянский эмигрант, физик Бруно Понтекорво».

Таким образом и были внедрены советские агенты в научные и конструкторские центры Америки, где создавался ядерный боеприпас. Однако в самый разгар налаживания агентурных действий, Лиза и Василий Зарубины были срочно отозваны в Москву. Они терялись в догадках, ведь ни одного провала не произошло. Выяснилось, что в Центр поступил донос сотрудника резидентуры Миронова, обвинявшего Зарубиных в предательстве. И почти полгода московская контрразведка проверяла эти обвинения. Они не подтвердились, тем не менее, Зарубиных больше за границу не выпускали.

Тем временем, работа внедренной агентуры уже принесла первые результаты - стали поступать донесения, и их надо было немедленно отправлять в Москву. Эта работа была возложена на группу специальных курьеров. Самыми оперативными и не знавшими страха были супруги Коэны,

Морис и Лона. После того, как Мориса призвали в американскую армию, Лона стала самостоятельно доставлять информационные материалы из штата Нью-Мексико в Нью-Йорк. Для этого она ездила в небольшой городок Альбукерке, где для видимости посещала туберкулезный диспансер. Там она встречалась с агентами по агентурной кличке «Млад» и «Эрнст».

По воспоминаниям П.Судоплатова, уже через 12 дней после окончания сборки первой атомной бомбы в США описание её устройства уже было получено в Москве.

В 1945 году туда же пришли подробнейшие документы о характеристиках испытательного взрыва на горе Аламогордо, о методах постановки атомной бомбы на боевой взвод, а также доклад об электромагнитном методе разделения изотопов урана.

Почти все материалы проекта передавались в зашифрованном виде по радио. Но, хотя американская служба радиоперехвата записывала их тексты регулярно, её пеленгаторы не могли обнаружить местоположение шпионских раций, а дешифровщики — раскрыть содержание радиограмм. Это удалось только через несколько лет, после осуществления проекта «Венона», когда с помощью новых мощных вычислительных машин, перехваченные тексты были раскодированы.

Павел Судоплатов, начальник группы «С», созданной НКВД в 1944 году для координирования работы разведки в сфере атомных исследований, писал в книге «Спецоперации. Лубянка и Кремль 1930—1950 годы»:

Качество и объём полученной нами информации от источников в Великобритании, Канаде и США были крайне важны для организации и развития советской атомной программы. Подробные доклады об устройстве и эксплуатации первых атомных реакторов и газовых центрифуг, по специфике изготовления урановой и плутониевой бомб сыграли важнейшую роль в становлении и ускорении работы наших атомщиков, потому что целого ряда вопросов они просто не знали.

Это, в первую очередь, касается конструкции системы фокусирующих взрывных линз, размеров критической массы урана и плутония, сформулированного Клаусом Фуком принципа имплозии, устройства детонационной системы, времени и последовательности операций при сборке самой бомбы и способа приведения в действие её инициатора... Атомная бомба в СССР была создана за 4 года. Если бы не разведчики, этот срок был бы в два раза больше....

В 1954 году в США за украденную в США документацию по разработке и изготовлению атомной бомбы и передачи ее в СССР были казнены супруги Розенберг.

1.5 Запуск атомного проекта

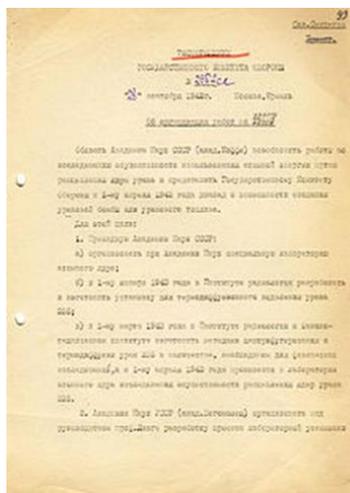


Рисунок 1 - Постановление ГКО № 2352сс «Об организации работ по урану» 28 сентября 1942 года, через полтора месяца после старта Манхэттенского проекта, было принято постановление ГКО № 2352сс «Об организации работ по урану».

Оно предписывало:

Обязать Академию наук СССР (акад. Иоффе) возобновить работы по исследованию осуществимости использования атомной энергии путём расщепления ядра урана и представить Государственному комитету обороны к 1 апреля 1943 года доклад о возможности создания урановой бомбы или уранового топлива...

Распоряжение предусматривало организацию с этой целью при Академии наук СССР специальной лаборатории атомного ядра, создание лабораторных установок для разделения изотопов урана и проведение комплекса экспериментальных работ. Распоряжение обязывало СНК Татарской АССР предоставить Академии наук СССР в Казани помещение площадью 500 м² для размещения лаборатории атомного ядра и жилую площадь для 10 научных сотрудников.

Решающее значение при этом, как полагают некоторые, имело адресованное Сталину в апреле 1942 года письмо советского физика Г. Флёрва, который сумел разъяснить суть проблемы популярно. С другой стороны, имеются основания предполагать, что работа Г. Н. Флёрва над письмом Сталину завершена не была и отправлено оно не было.

11 февраля 1943 года было принято постановление ГКО № 2872сс о начале практических работ по созданию атомной бомбы. Общее руководство было возложено на заместителя председателя ГКО В. М. Молотова, который, в свою очередь, назначил главой атомного проекта И. В. Курчатова (его

назначение было подписано 10 марта). Информация, поступавшая по каналам разведки, облегчила и ускорила работу советских учёных.

12 апреля 1943 вице президентом АН СССР академиком А. А. Байковым было подписано распоряжение о создании Лаборатории № 2 АН СССР. Начальником Лаборатории был назначен Курчатов, до этого назначения сорокалетний ученый:

- был приглашен академиком А. Иоффе в ЛФТИ (1925 г.);
- начал заниматься атомной физикой, заведует физическим отделом, специальной лабораторией ЛФТИ (1930-1932 гг.);
- участвует в конструировании и запуске ленинградского циклотрона (1932-1937 гг.);
- изучает захват нейтрона протоном, открывает селективное поглощение нейтронов, резонансные явления процесса (в коллективе, 1935-1940 гг.);
- получает ядерные константы для реакции деления урана (1939 г.);
- теоретически доказывает возможность цепной реакции урана и тяжелой воды (1940 г.);
- разрабатывает систему размагничивания корабельных корпусов, внедряет защиту от магнитных мин на Балтийском, Черноморском флоте (1940-1941 гг.).

На первом этапе проекта (1943-1945 гг.) Курчатовская «Лаборатория №2» проводила исследовательские работы, изучала методы получения металлического урана и карбида урана. Для этих работ Курчатов добился демобилизации из армии нужных специалистов. После американских взрывов практические работы резко ускорились. Были построены экспериментальный реактор (на основе циклотрона, перевезенного из Ленинграда) и рабочий реактор для получения оружейного плутония (декабрь 1946 г.). Для получения изотопов урана использовалась газодиффузионная методика. На их основе в закрытой зоне «Комбинат 817» (Озерск Челябинской области) заработал промышленный реактор (июнь 1948 г.). Комбинат «Маяк» начал производство плутония по ацетатно-осадительной технологии, произвел оружейный плутоний в количестве, необходимом для первого испытания (1949 г.). Одновременно были изобретены запалы для бомб на полоний-бериллиевых источниках.

Правой рукой Курчатова в атомном проекте стал Ю. Харитон. Под его научным руководством был построен и заработал секретный КБ-11 в закрытой зоне («Кремлев», «Арзамас-75», «Арзамас-16», Саров Нижегородской области).

Постановление ГКО от 8 апреля 1944 г. № 5582сс обязало Народный комиссариат химической промышленности (М. Г. Первухина) спроектировать в 1944 г. цех по производству тяжелой воды и завод по производству шестифтористого урана (сырьё для установок по разделению изотопов урана), а Народный комиссариат цветной металлургии (П. Ф. Ломако) - обеспечить в 1944 г. получение на опытной установке 500 кг

металлического урана, построить к 1 января 1945 г. цех по производству металлического урана и поставить Лаборатории № 2 в 1944 г. десятки тонн высококачественных графитовых блоков.

После разгрома гитлеровской Германии. После оккупации Германии в США была создана специальная группа, целью которой было не дать СССР возможности захватить какие либо данные об атомном проекте Германии^[13]. Ею были захвачены и немецкие специалисты, ненужные США, которые уже имели свою бомбу. 15 апреля 1945 года американская техническая комиссия организовала вывоз уранового сырья из Штасфурта, и в течение 5-6 дней весь уран был вывезен вместе с относящейся к нему документацией; также американцы полностью вывезли оборудование из шахты в Саксонии, где велась добыча урана. Позднее эта шахта была восстановлена, и было организовано предприятие «Висмут» по добыче урановой руды в Тюрингии и Саксонии, на котором работали советские специалисты и немецкие шахтёры.

Однако НКВД все-таки удалось добыть несколько тонн малообогащённого урана в институте Кайзера Вильгельма.



Рисунок 2 - Потсдамская конференция

24 июля 1945 года в Потсдаме президент США Трумэн сообщил Сталину, что у США «теперь есть оружие необыкновенной разрушительной силы». По воспоминаниям Черчилля, Сталин улыбнулся, но не стал интересоваться подробностями, из чего Черчилль сделал вывод, что тот ничего не понял и не

в курсе событий. Некоторые современные исследователи считают, что это был шантаж. В тот же вечер Сталин дал указание Молотову переговорить с Курчатовым об ускорении работ по атомному проекту.

*Основная статья: **Специальный комитет при СМ СССР***

6 августа 1945 года военно-воздушными силами США был подвергнут атомной бомбардировке японский город Хиросима, а 9 августа - Нагасаки. Эти события коренным образом изменили политическую и военную обстановку в мире, и с этого момента направление материальных и людских ресурсов на создание атомного оружия в СССР приобретает масштабы, многократно превосходящие все предыдущие затраты по этой тематике.

2 Ядерная бомба — история появления ядерного оружия

Ядерная бомба — самое мощное оружие, придуманное человечеством. Два атомных взрыва, прогремевшие над Хиросимой и Нагасаки (6 и 9 августа 1945 г.) стали моментом, переломившим историю цивилизации, изменившим мировоззрение людей и политику государств.

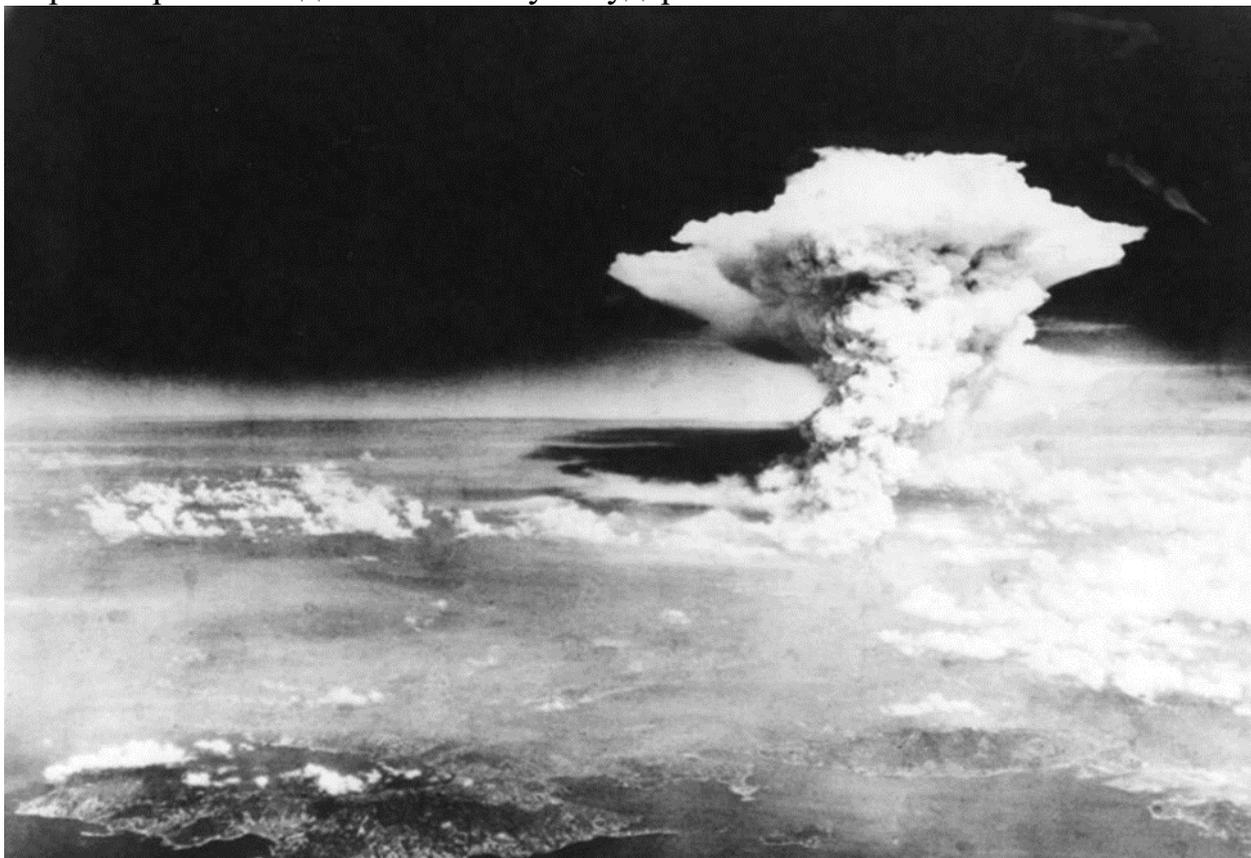


Рисунок 3 - Кадр аэрофотосъемки с борта бомбардировщика В-29 «Enola Gay»

2.1 Американская программа

В США над ядерной программой, запущенной письмом Л. Силарда, Ю. Вигнера, А. Эйнштейна президенту, работали не только американские физики. Использовались работы немецких физиков-эмигрантов Теллера, Бете, Блоха, Фукса, датчанина Н. Бора. Прорывным моментом проекта стало строительство под руководством Энрико Ферми Лос-Аламосского реактора, позволившего получить оружейный плутоний и уран. Перед этим итальянец, эмигрировавший в США из-за преследования евреев (1939 г.), теоретически доказал замедление нейтронов, разработал уран-графитовую схему реактора, провел практические эксперименты по получению самоподдерживающейся цепной реакции.

Такие масштабные работы, как создание оружия совершенного нового типа, не по силам одному человеку или небольшому коллективу ученых. В американском «Манхеттенском проекте» работало более 100000 человек, из которых 40000 составляли ученые, техники, женщины-вычислители. Тем не менее, американцы считают «отцом бомбы» Роберта Оппенгеймера.

В лаборатории Лос-Аламоса Оппенгеймер руководил научной частью проекта, координировал работы ученых. За организацию строительства, секретность, охрану отвечал генерал Л. Гровс, впоследствии - главный инициатор ядерной бомбардировки Японии. К началу работы над ядерным проектом Р. Оппенгеймер был автором ряда научных работ по квантовым переходам, гравитационному коллапсу, расчету свойств мезонов, доказательству теоремы Эренфеста - Оппенгеймера.

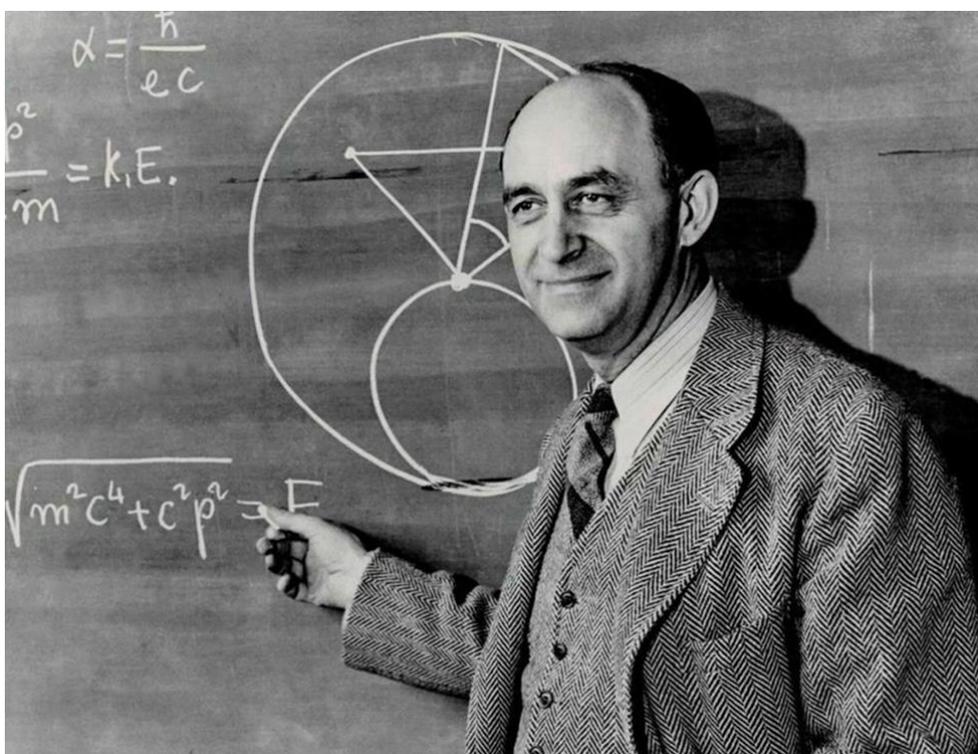


Рисунок 4 - Энрико Ферми читает лекцию в Чикагском институте ядерных исследований



Рисунок 5 - Роберт Oppенгеймер на заседании сенатской комиссии США

Результаты практического применения атомного оружия настолько поразили Р. Oppенгеймера, что он стал активным противником военного использования атома. Высказывания ученого о необходимости сдерживания, ограничения ядерной гонки привели к отстранению Oppенгеймера от секретных программ Соединенных Штатов (1954 г.).

Сырьем для получения урана-235 была урановая руда из конголезского рудника бельгийской компании. Количество руды, вывезенной перед затоплением рудника в США, было ограничено. Использовать технологию разделения разных изотопов урана на центрифуге не удалось. Для получения чистого урана-235, вступающего в реакцию расщепления, были использованы газовая диффузия, электромагнитное разделение, термодиффузия. К запланированному сроку (лето 1945 г.) очищенного урана-235 хватало только для снаряжения одной бомбы, названной «Малышом». Для подрывного устройства «Малыша» применили пушечную схему, при которой критическая масса заряда достигалась соединением двух блоков докритической массы при помощи порохового заряда. В срабатывании пушечной схемы конструкторы не сомневались, поэтому испытания единственной бомбы не проводились. Подобных трудностей не было при производстве плутония-239. Его получали из урана-238, которого было накоплено достаточно. Плутониевые заряды были изготовлены для двух бомб, названных «Штука» и «Толстяк». Но пушечная схема для плутониевых зарядов была непригодна. Конструкторам пришлось использовать имплозивную схему подрыва, при которой десятки взрывных линз сжимали фрагменты оружейного плутония до критической массы.

2.2 Первые испытания, практическое применение ядерного оружия

Первое испытание безоболочечной бомбы «Штучка» (16 июля 1945 г.), получившее шифр «Тринити», американцы провели на полигоне Аламогордо. Наземный взрыв устройства показал мощность, равную подрыву 21 тысячи тонн тротиловой взрывчатки. Для испытательного подрыва была выбрана безжизненная, ненаселенная пустыня Нью-Мексико. Кроме человеческих жертв, несколько ученых опасались возникновения бесконтрольной реакции выгорания кислорода в атмосфере Земли.

Температура на месте взрыва расплавила кварцевые породы в зеленую стекловидную массу, получившую название «тринитит». Ободренное успехом, правительство США отдало приказ подготовить ядерные боеприпасы к сбросу на Японию. Урановый и плутониевый заряды «одели» в оболочки авиабомб. При этом «Голстяк», из-за импловивной конструкции подрыва, по размеру и весу был значительно больше «Малыша».

Бомбы были оборудованы барометрическими и часовыми взрывателями, обеспечивающими воздушный подрыв заряда на высоте 500-700 метров. На обслуживании ядерного проекта работал отдельный авиационный полк под номером 509 (с 1944 г.). Именно командир этого полка Пол Тиббетс выполнил приказ военного министра (завизированный президентом Трумэнном) о бомбардировке Японии.



Рисунок 6 - Взрыв «Штучки» в проекте «Тринити»



Рисунок 7 - Макеты «Толстяка» и «Малыша» в современном музее ядерного оружия

Ночью 6 августа с американской авиабазы на Марианских островах вылетела группа самолетов в составе основного бомбардировщика B-29 (номер 44-86292, название «Энола Гей»), трех разведчиков, двух самолетов аэрофотосъемки, запасного бомбардировщика. Через 6 часов полета, пролетев около 2500 миль, группа достигла берегов Южной Японии. Высланные вперед разведчики сообщили об отсутствии облачности над Хиросимой, основной целью полета. В 8 утра «Энола Гей», пилотируемая П. Тиббетсом, сбросила урановую бомбу над центром Хиросимы. В момент бомбардировки в Хиросиме жило до 250 тысяч человек, базировались крупные военные склады, штаб фельдмаршала С. Хаты, командующего обороной Южной Японии. В результате взрыва (мощность оценивается 10–17 килотоннами) от светового излучения, взрывной волны, огненного смерча погибло до 140 тысяч японцев, город выгорел в диаметре 2 километров.



Рисунок 8 - Экипаж «Энолы Гей». Полковник Пол Тиббетс в центре (с трубкой в зубах)

Не менее ужасающим был взрыв плутониевого заряда над Нагасаки. «Толстяк» на японский порт сбросил «В-29» под командованием майора Ч. Суини. Облачность не дала экипажу точно прицелиться, бомба была сброшена над холмами и промзоной. Поэтому, несмотря на большую мощность (21 килотонна), плутониевый заряд убил «всего» 74 тысячи японцев. Впоследствии в Японии от радиационного заражения умерло не менее 450 тысяч человек. Атомные бомбардировки не принесли немедленной капитуляции Японии, но подтолкнули СССР к объявлению войны и началу Маньчжурской операции. Только после потери Квантунской армии (разбита за 10 дней), полного освобождения Маньчжурии и севера Кореи от японских войск император согласился на капитуляцию (подписана 2 сентября 1945 г.). Но на некоторое время агрессивные военные круги США почувствовали себя монополистом, который может диктовать условия всему миру. Американские штабисты даже разработали планы «упреждающей войны» против СССР. Военные действия по плану «Троян» должны были начаться в 1950 г. Позже план скорректировали на 1957 год, для включения в него стран НАТО. Агрессивные планы остановили только первые испытания советского ядерного оружия.



Рисунок 9 - Документальный снимок разрушений в Хиросиме

2.3 Создание Специального комитета

Через 14 дней после атомной бомбардировки Хиросимы постановлением Государственного комитета обороны № 9887сс/оп от 20 августа 1945 г. за подписью И. В. Сталина при ГКО был образован Специальный комитет для руководства всеми работами по использованию атомной энергии. Состав комитета: Л. П. Берия (председатель), Г. М. Маленков, Н. А. Вознесенский, Б. Л. Ванников, А. П. Завенягин, И. В. Курчатов, П. Л. Капица, В. А. Махнёв, М. Г. Первухин. Спецкомитет был наделён чрезвычайными полномочиями по привлечению любых ресурсов, имевшихся в распоряжении правительства СССР, к работам по атомному проекту.

Для непосредственного руководства научно-исследовательскими, проектными, конструкторскими организациями и промышленными предприятиями, занятыми в атомном проекте было создано Первое главное управление при СНК СССР (ПГУ), подчиненное Специальному комитету при ГКО. Начальником ПГУ был назначен нарком вооружений Б. Л. Ванников. В распоряжение ПГУ передавались многочисленные предприятия и учреждения из других ведомств, включая научно-технический отдел разведки, Главное управление лагерей промышленного строительства НКВД (ГУЛПС) и Главное управление лагерей горно-металлургических предприятий НКВД (ГУЛГМП) (с общим количеством 293 тыс. заключённых). Директива Сталина обязывала ПГУ обеспечить создание атомных бомб, урановой и плутониевой, в 1948 году.

28 сентября 1945 года было принято Постановление Совета Народных Комиссаров СССР «О дополнительном привлечении к участию в работах по

использованию внутриатомной энергии научных учреждений, отдельных учёных и других специалистов».

В приложении к документу был приведён список учреждений атомного проекта (под № 10 значился Физико-технический институт Украинской Академии Наук и его директор К. Д. Синельников).

2.4 Задачи атомного проекта

Первоочерёдными задачами были организация промышленного производства плутония-239 и урана-235. Для решения первой задачи было необходимо создание опытного, а затем и промышленного ядерных реакторов, строительство радиохимического и специального металлургического цехов. Для решения второй задачи было развёрнуто строительство завода по разделению изотопов урана диффузионным методом.

Решение этих задач оказалось возможным в результате создания промышленных технологий, организации производства и наработки необходимых больших количеств чистого металлического урана, окиси урана, гексафторида урана, других соединений урана, графита высокой чистоты и целого ряда других специальных материалов, создания комплекса новых промышленных агрегатов и приборов. Недостаточный объём добычи урановой руды и получения урановых концентратов в СССР (первый комбинат по производству уранового концентрата — «Комбинат № 6 НКВД СССР» в Таджикистане был основан в 1945 г.) в этот период был компенсирован трофейным сырьём и продукцией урановых предприятий стран Восточной Европы, с которыми СССР заключил соответствующие соглашения.

В 1945 году Правительством СССР были приняты следующие важнейшие решения:

- о создании на базе Кировского завода (Ленинград) двух специальных опытно-конструкторских бюро, предназначенных для разработки оборудования, производящего обогащённый по изотопу 235 уран методом газовой диффузии;
- о начале строительства на Среднем Урале (около посёлка Верх-Нейвинский) диффузионного завода для получения обогащённого урана-235;
- об организации лаборатории для работ по созданию тяжеловодных реакторов на природном уране;
- о выборе площадки и начале строительства на Южном Урале первого в стране предприятия по производству плутония-239.

В состав предприятия на Южном Урале должны были входить:

- уран-графитовый реактор на естественном (природном) уране (завод «А»);

- радиохимическое производство по выделению плутония-239 из облучённого в реакторе естественного (природного) урана (завод «Б»);
- химико-металлургическое производство по получению особо чистого металлического плутония (завод «В»).

2.5 Участие немецких специалистов в атомном проекте

2 мая 1945 года группа советских физиков (Кикоин, Арцимович, Харитон и еще несколько человек) выехала в Германию, чтобы ознакомиться с достижениями немцев в создании атомной бомбы. Советские учёные провели встречи с крупными немецкими коллегами, которые не уехали на Запад, а остались. Выяснилось, что немцы были далеки от решения этой проблемы и их разработки конструкции ничего полезного не дадут.

В 1945 году в лагерях военнопленных на освобождённых территориях Польши и Германии целенаправленно искали специалистов, имевших отношение к ядерной проблеме, которых незамедлительно доставляли в СССР. Большая часть немецких ученых (около 300 человек) была привезена в Сухуми и тайно размещена в бывших имениях великого князя Александра Михайловича и миллионера Смецкого (санатории «Синоп» и «Агудзеры»). В СССР было вывезено оборудование из немецкого Института химии и металлургии, Физического института кайзера Вильгельма, электротехнических лабораторий Siemens, Физического института министерства почты Германии. Три из четырёх немецких циклотронов, мощные магниты, электронные микроскопы, осциллографы, трансформаторы высокого напряжения, сверхточные приборы были привезены в СССР. В ноябре 1945 г. в составе НКВД СССР было создано Управление специальных институтов (9-е управление НКВД СССР) для руководства работой по использованию немецких специалистов.

Санаторий «Синоп» назвали «Объект „А“» - им руководил барон Манфред фон Арденне. «Агудзеры» стали «Объектом „Г“» - его возглавил Густав Герц. На объектах «А» и «Г» работали выдающиеся учёные - Николаус Риль, Макс Фольмер, который построил первую в СССР установку по производству тяжёлой воды, Петер Тиссен, конструктор никелевых фильтров для газодиффузионного разделения изотопов урана, Макс Штеенбек и Гернот Циппе, работавшие над центрифужным методом разделения и впоследствии получившие патенты на газовые центрифуги на Западе. На базе объектов «А» и «Г» был позднее создан Сухумский физико-технический институт (СФТИ).

Некоторые ведущие немецкие специалисты за эту работу были удостоены правительственных наград СССР, в том числе Сталинской премии.

В период 1954 - 1959 гг. немецкие специалисты в разное время переезжают в ГДР (Гернот Циппе - в Австрию).

2.6 Немецкое урановое сырьё

Во время визита группы советских физиков в Германию в мае 1945 года они обратили внимание на другую сторону вопроса: урановое сырьё, которое, как было известно, было захвачено немцами при оккупации Бельгии (она привезла его из южноафриканской колонии). Один из немцев сообщил, что скрупулезной регистрацией всего конфискованного или привезенного в Германию со всего света занималась одна организация, Rohstoffgesellschaft, находившаяся недалеко от резиденции Гитлера на берегу Шпрее. Семиэтажное здание было заполнено каталожными шкафами с учётными карточками, среди которых Харитон и Кикоин обнаружили карточку «Уран». На месте, где должно было храниться сырьё, оказалась его малая часть, а остальное было перевезено в другое место. В поиски включились люди из НКВД под руководством А. П. Завенягина. В результате на одном из заводов были обнаружены около 130 тонн оксида урана желтого цвета, который местные рабочие принимали за краску и использовали при ремонте зданий.

Это сырьё и пошло на производство первой советской атомной бомбы: собственного урана у страны на тот момент не было, разведка месторождений только началась. «Доставка урана из Германии позволила сэкономить по крайней мере год работы и приблизить на это время срок создания нашей бомбы. Позже в СССР нашли месторождения урана, но располагались они высоко в горах, дорог не было, и пришлось привозить этот уран во вьюках на осликах», — указывал академик Ю. Б. Харитон.

Главный конструктор засекреченного КБ-11 был занят конструированием плутониевого устройства, увеличением мощности, снижением веса бомбы, скопированной с американской схемы (полученной от советских разведчиков). При этом был найден ряд новых решений, позволивших вдвое улучшить исходные параметры американского образца. Третьей ключевой точкой промышленного изготовления боеприпаса стало сборочное производство, организованное под Заречным (Пензенская область). Объект, проходящий по секретной документации как «Пенза-19», был построен на базе приборостроительного завода №1134. На загородных закрытых территориях, которые в обиходе назывались «Второе производство», «База оборудования» до 2002 года собирались все устройства разработки Сарова и Снежинска («Челябинск-50»).

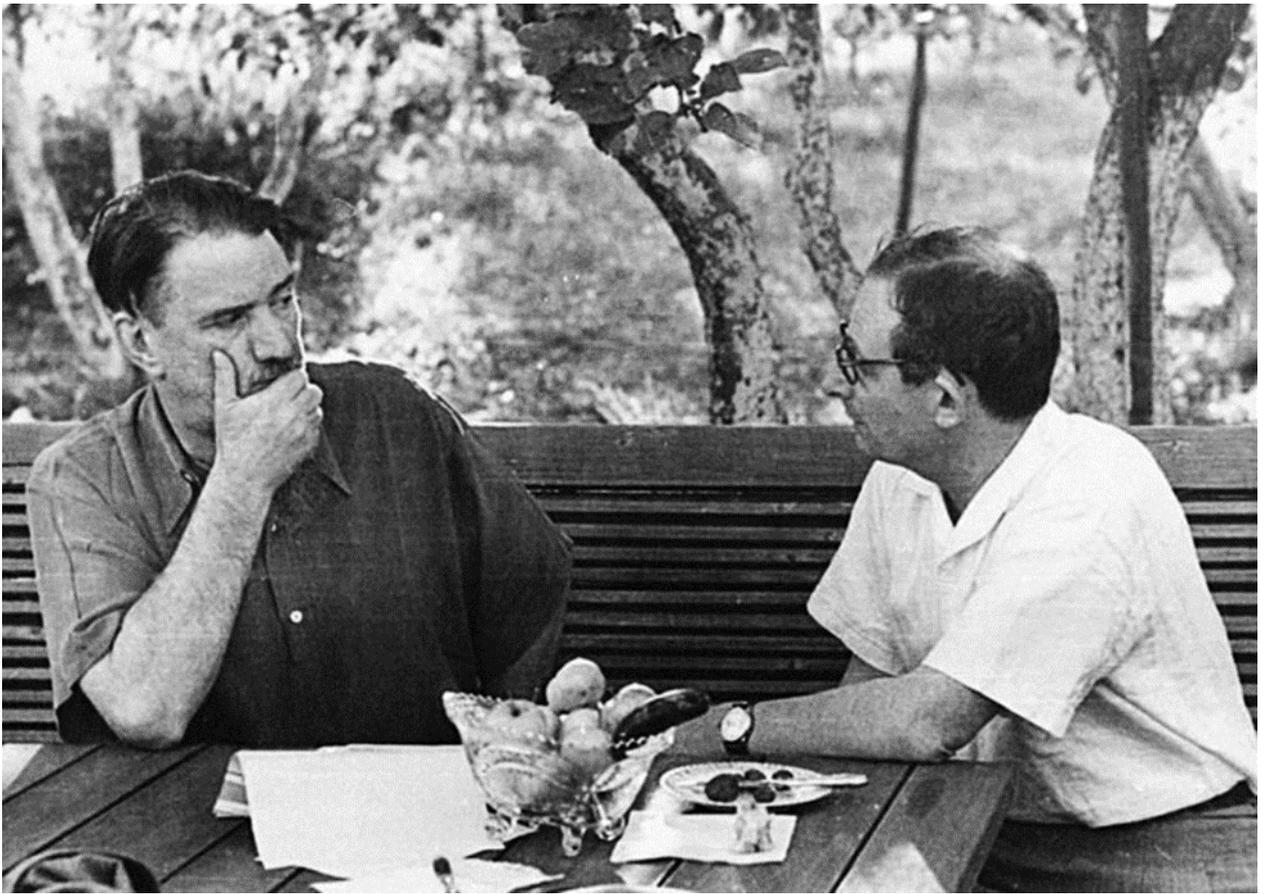


Рисунок 10 - Игорь Васильевич Курчатов и Юлий Борисович Харитон на отдыхе в Семипалатинске

2.7 Строительство заводов

Для создания атомной промышленности советское руководство выбрало Урал, поскольку этот регион отвечал ряду важных условий.

1. Отдаленность от границ страны и наличие больших необжитых территорий, где можно было спрятать секретные объекты и которые в то же время находились в отдалении от крупных населённых пунктов, что защищало массы населения при техногенных авариях.
2. Наличие развитой инфраструктуры и транспортной сети для доставки большого количества грузов.
3. Наличие проверенных войной квалифицированных кадров, способных работать в экстремальных условиях и выполнять самые сложные инженерно-технические задачи.
4. Наличие запасов пресной воды.
5. Топливо-энергетические ресурсы для снабжения возводимых объектов энергией в необходимом объеме.

Первыми атомными объектами стали комбинаты № 813 и № 817, которые должны были получать ядерное топливо двух разных модификаций: первый должен был вырабатывать 100 г урана-235 в сутки газодиффузионным способом, второй 100 г плутония-239 методом облучения урана в ядерном

реакторе. При изыскании площадок для строительства внимание правительственной комиссии под руководством профессора И. К. Кикоина было обращено на поиск законсервированных начатых объектов промышленности, чтобы сократить время возведения объектов.

28 сентября 1945 года Специальный комитет принял решение о командировании правительственной комиссии для поиска площадок для строительства, а уже 26 октября эти площадки были принципиально утверждены. После оценки окончательных вариантов Комбинат № 813 был размещён на законсервированной площадке авиазавода, Комбинат № 817 - на новой территории, выбранной по настоянию научного руководителя объекта академика И. В. Курчатова, так как в озёрной полосе Южного Урала находилось много похожих по очертанию водоёмов, что помогало ввести в заблуждение воздушную разведку противника.

30 ноября 1945 года Специальный комитет принял окончательное решение о размещении первых двух заводов. Оно было закреплено 21 декабря Постановлением СНК СССР № 3150-952 сс.

Объём необходимых строительных работ был очень большим, а сроки сдачи объектов - сжатыми, поэтому было решено привлечь к строительству опытные и укомплектованные квалифицированными кадрами организации Главпромстроя НКВД СССР: в Челябинской области - Челябинметаллургстрой, в Свердловской - Тагилстрой. Для строительства заводов были созданы специальные строительные управления НКВД № 865 (Комбинат № 813) и № 1418 (Комбинат № 817).

Тем временем академик Л. А. Арцимович провёл серию успешных экспериментов в Лаборатории № 2 АН СССР по получению урана-235 методом магнитной сепарации. Член технического совета при Специальном комитете В. А. Махнёв в сентябре 1946 года доложил об этом Л. П. Берии с предложением построить завод по выпуску урана-235 и этим методом.

10 июня 1947 года вопрос о строительстве Комбината № 814 рассмотрел Спецкомитет, 19 июня Л. П. Берия представил Сталину проект постановления Совета Министров СССР о создании завода в Исовском районе Свердловской области. В тот же день И. В. Сталин подписал соответствующее постановление № 2140-62 сс. Научным руководителем завода был назначен изобретатель метода академик Л. А. Арцимович. Поскольку для получения изотопов урана в этой технологии требовался мощный магнит, потребляющий большое количество электроэнергии, для её производства была запланирована новая ГРЭС — Нижне-Туринская, мощностью 129 тыс. кВт., вводом в эксплуатацию в 1949 году.

Строительство газодиффузионного завода в Новоуральске. В 1946 году на производственной базе завода № 261 Наркомата авиационной промышленности в Новоуральске началось сооружение газодиффузионного завода, носившего название Комбинат № 813 (завод Д-1) и предназначенного для производства высокообогащенного урана. Научным руководителем

объекта был назначен профессор И. К. Кикоин. Завод дал первую продукцию в 1949 г.

Строительство Челябинска-40 (Комбинат № 817). Для строительства первого в СССР предприятия по наработке плутония в военных целях была выбрана площадка на Южном Урале, в Челябинской области в районе расположения старинных уральских городов Кыштым и Касли. Изыскания по выбору площадки проводились летом 1945 года. 26 октября 1945 года Специальный комитет в п.1 протокола заседания № 7 признал целесообразным размещение первого промышленного реактора на южном берегу озера Кызыл-Таш, а жилого массива — на полуострове на южном берегу озера Иртяш.

На месте выбранной строительной площадки со временем был возведён целый комплекс промышленных предприятий, зданий и сооружений, соединённых между собой сетью автомобильных и железных дорог, системой теплоэнергоснабжения, промышленного водоснабжения и канализации. В разное время секретный город назывался по-разному, но наиболее известное название — Челябинск-40 или «Сороковка». В настоящее время промышленный комплекс, который первоначально именовался комбинатом № 817, называется производственным объединением «Маяк», а город на берегу озера Иртяш, в котором живут работники ПО «Маяк» и члены их семей, получил название Озёрск.

В ноябре 1945 года на выбранной площадке приступили к геологическим изысканиям, а с начала декабря стали прибывать первые строители.

Первым начальником строительства (1946—1947 гг.) был Я. Д. Раппопорт, впоследствии его сменил генерал-майор М. М. Царевский. Главным инженером строительства был В. А. Сапрыкин, первым директором будущего предприятия — П. Т. Быстров (с 17 апреля 1946 г.), которого сменил Е. П. Славский (с 10 июля 1947 г.), а затем Б. Г. Музруков (с 1 декабря 1947 г.). Научным руководителем комбината был назначен И. В. Курчатов.

Строительство Арзамаса-16. С конца 1945 года был начат поиск места для размещения секретного объекта, который позже будет назван КБ-11. Ванников поручил обследовать завод № 550, расположенный в посёлке Саров и 1 апреля 1946 года посёлок был выбран как место расположения первого советского ядерного центра, впоследствии известного как Арзамас-16. Ю. Б. Харитон рассказывал, что лично облетал на самолёте и осматривал площадки, предложенные для размещения секретного объекта, и местоположение Сарова ему понравилось — достаточно безлюдный район, имеется инфраструктура (жел.дорога, производство) и не очень далеко от Москвы.

9 апреля 1946 года Совет Министров СССР принял важные решения, касающиеся организации работ над атомным проектом СССР.

Постановление СМ СССР № 803-325сс «Вопросы Первого главного управления при СМ СССР» предусматривало изменение структуры ПГУ и объединение Технического и Инженерно-технического

советов Специального комитета в единый Научно-технический совет в составе ПГУ. Председателем НТС ПГУ был назначен Б. Л. Ванников, заместителями председателя НТС - И. В. Курчатов и М. Г. Первухин. С 1 декабря 1949 г. председателем НТС ПГУ стал И. В. Курчатов.

Постановлением СМ СССР № 805—327сс «Вопросы Лаборатории № 2» сектор № 6 этой Лаборатории был преобразован в Конструкторское бюро № 11 при Лаборатории № 2 АН СССР по разработке конструкции и изготовлению опытных образцов реактивных двигателей (условное наименование атомных бомб).

Постановление предусматривало размещение КБ-11 в районе посёлка Сарова на границе Горьковской области и Мордовской АССР (теперь г. Саров Нижегородской области, ранее известный как Арзамас-16). Начальником КБ-11 был назначен П. М. Зернов, а главным конструктором был назначен Ю. Б. Харитон. Строительство КБ-11 на базе завода № 550 в посёлке Саров возлагалось на Народный комиссариат внутренних дел. Для проведения всех строительных работ была создана специальная строительная организация — Стройуправление № 880 НКВД СССР. С апреля 1946 года весь личный состав завода № 550 был зачислен рабочими и служащими Стройуправления № 880.

Строительство производства гексафторида урана в Кирово-Чепецке. В 1946 году в рабочем посёлке Кирово-Чепецком на заводе 752 Наркомата химической промышленности СССР началось создание промышленного производства гексафторида урана, необходимого для последующего обогащения урана. Первая промышленная партия продукта была предъявлена 19 декабря 1949 года.

2.8 Разработка конструкции атомных бомб

Постановлением СМ СССР № 1286—525сс «О плане развёртывания работ КБ-11 при Лаборатории № 2 АН СССР» были определены первые задачи КБ-11: создание под научным руководством Лаборатории № 2 (академика И. В. Курчатова) атомных бомб, условно названных в постановлении «реактивными двигателями С», в двух вариантах: РДС-1 — импlosionного типа с плутонием и атомной бомбы РДС-2 пушечного типа с ураном-235.

Тактико-технические задания на конструкции РДС-1 и РДС-2 должны были быть разработаны уже к 1 июля 1946 г., а конструкции их главных узлов — к 1 июля 1947 г. Полностью изготовленная бомба РДС-1 должна была быть предъявлена к государственным испытаниям для взрыва при установке на земле к 1 января 1948 г., в авиационном исполнении — к 1 марта 1948 г., а бомба РДС-2 — соответственно к 1 июня 1948 г. и к 1 января 1949 г. Работы по созданию конструкций должны были проводиться параллельно с организацией в КБ-11 специальных лабораторий и развёртыванием работ этих лабораторий. Такие сжатые сроки и организация параллельных работ

стали возможными также благодаря поступлению в СССР подробнейших разведывательных данных об американских атомных бомбах, включая чертежи отдельных узлов и описание технологии их изготовления. РДС-1 конструктивно была точной копией американского образца, с некоторыми улучшениями.

Научно-исследовательские лаборатории и конструкторские подразделения КБ-11 начали разворачивать свою деятельность непосредственно в Арзамасе-16 весной 1947 года. Параллельно создавались первые производственные цеха опытных заводов № 1 и № 2.

В Заречном, на базе ПО «Старт», работает один из трех российских музеев ядерного оружия. Два других музея открыты в Сарове и Снежинске (дублер «Арзамаса-16» был построен под Челябинском в 1957 г.). Испытания «РДС-1» (кодовое название наземного устройства без авиационной оболочки) были проведены на Семипалатинском полигоне в 1949 г. К утру 29 августа устройство было собрано. В 7 утра с пульта руководства была отдана команда на подрыв заряда в 20 килотонн.



Рисунок 11 - Макет авиабомбы «РДС-2» в музее Заречного

На полигоне (в 170 километрах от областного центра) была построена сорокаметровая стальная вышка, По территории полигона концентрическими окружностями разместили несколько тысяч приборов и датчиков излучения. На десятикилометровом круге были построены военные фортификации, гражданские объекты (жилые дома, бетонные производственные цеха). На позициях разместили технику — танки, самолеты, орудия. В войсковых укрытиях (окопах и блиндажах) были привязаны овцы и козы. На дальнем

диаметре разместились вольеры с подопытными животными (кроликами, свиньями, крысами). Все дома, мосты были разрушены или сгорели, так же как грузовики. Ударной волной перевернуло пушки и танки. Уцелели только монолитные каркасы зданий из железобетона.



Рисунок 12 - Подлинный пульт запуска ядерного устройства на первых испытаниях демонстрируется в музее Сарова

2.9 Атомные реакторы

Первый в СССР опытный ядерный реактор Ф-1, строительство которого было осуществлено в Лаборатории № 2 АН СССР, был успешно запущен 25 декабря 1946 года.

6 ноября 1947 года министр иностранных дел СССР В. М. Молотов сделал заявление относительно секрета атомной бомбы, сказав, что «этого секрета давно уже не существует». Это заявление означало, что Советский Союз уже открыл секрет атомного оружия, и он имеет в своём распоряжении это оружие. Научные круги США расценили это заявление В. М. Молотова как блеф, считая, что русские могут овладеть атомным оружием не ранее 1952 года.

Менее чем за два года, здание первого атомного промышленного реактора «А» комбината № 817 было готово, и были начаты работы по монтажу самого реактора. Физический пуск реактора «А» состоялся в 00:30 18 июня 1948 года, а 19 июня реактор был выведен на проектную мощность.

22 декабря 1948 года на радиохимический завод «Б» поступила первая продукция с атомного реактора. На заводе «Б» наработанный в реакторе плутоний отделялся от урана и радиоактивных продуктов деления. Все

радиохимические процессы для завода «Б» были разработаны в Радиовом институте под руководством академика В. Г. Хлопина. Генеральным проектировщиком и главным инженером проекта завода «Б» был А. З. Ротшильд, а главным технологом - Я. И. Зильберман. Научным руководителем пуска завода «Б» был член-корреспондент АН СССР Б. А. Никитин.

Первая партия готовой продукции (концентрат плутония, состоявший в основном из фторидов плутония и лантана) в афинажном отделении завода «Б» была получена в феврале 1949 года.

2.10 Получение оружейного плутония

Концентрат плутония был передан на завод «В», который предназначался для получения высокочистого металлического плутония и изделий из него.

Основной вклад в разработку технологии и проектирование завода «В» внесли: А. А. Бочвар, И. И. Черняев, А. С. Займовский, А. Н. Вольский, А. Д. Гельман, В. Д. Никольский, Н. П. Алексахин, П. Я. Беляев, Л. Р. Дулин, А. Л. Тараканов и др.

В августе 1949 года на заводе «В» были изготовлены детали из высокочистого металлического плутония для первой атомной бомбы.

Успешное испытание первой советской атомной бомбы было проведено 29 августа 1949 года на построенном полигоне в Семипалатинской области Казахстана. Оно держалось в тайне.

3 сентября 1949 года самолёт специальной метеорологической разведывательной службы США взял пробы воздуха в районе Камчатки, и затем американские специалисты обнаружили в них изотопы, которые указывали на то, что в СССР был произведён ядерный взрыв. Президент США Г. Трумэн публично заявил об этом 23 сентября, однако это заявление было достаточно невнятным: «Мы располагаем данными о том, что в течение последних недель в Советском Союзе произошел атомный взрыв. С тех пор, как атомная энергия была высвобождена человеком, следовало ожидать эвентуального развития этой новой силы другими нациями. Такая вероятность всегда принималась во внимание. Почти четыре года тому назад я указал, что учёные фактически единодушно считали, что существенно важные теоретические сведения, на которых основывается открытие, уже широко известны...»

После этого последовало следующее заявление ТАСС:

23 сентября президент Трумэн объявил, что, по данным правительства США, в одну из последних недель произведен атомный взрыв. Одновременно аналогичное заявление было сделано английским и канадским правительствами и вслед за опубликованием этих заявлений в американской, английской и канадской печати, а также в печати других стран появились многочисленные высказывания, сеющие тревогу в широких общественных кругах. В связи с этим ТАСС уполномочен заявить следующее.

В Советском Союзе, как известно, ведутся строительные работы больших масштабов - строительство гидростанций, шахт, каналов, дорог, которые вызывают необходимость больших взрывных работ с применением новейших технических средств. Поскольку эти взрывные работы происходили и происходят довольно часто в разных районах страны, то возможно, что это могло привлечь к себе внимание за пределами Советского Союза. Что же касается производства атомной энергии, то ТАСС считает необходимым напомнить о том, что ещё 6 ноября 1947 года министр иностранных дел СССР В. М. Молотов сделал заявление относительно секрета атомной бомбы, сказав, что «этого секрета давно уже не существует».

8 марта 1950 года заместитель председателя Совета Министров СССР Климент Ворошилов официально заявил о наличии в СССР атомной бомбы.

2.11 Следующие этапы советской программы

По наращиванию мощности ядерного заряда СССР перегнал США уже через 7 лет. В конструкции термоядерной бомбы советские физики применили бомбардировку оболочки из урана-238 быстрыми нейтронами. Номинальная мощность трехоболочечного заряда могла составить полторы мегатонны. Но для испытаний изготовили заряд с одной оболочкой. Тем не менее, взрыв над полигоном «Сухой Нос» (Новая Земля, октябрь 1961 г.) зафиксировал мощность 58,6 килотонны.



Рисунок 13 - Макет рекордной «Царь-бомбы» в натуральную величину

Раньше об этом испытании было известно только из официальных сообщений. Теперь вы можете посмотреть видео на основе архивных

киносъемок, который «Росатом» рассекретил к 75-летию юбилею создания атомной отрасли.

Бомба спускалась на 5 парашютах, чтобы бомбардировщик успел улететь до срабатывания заряда (через 188 секунд) на безопасное расстояние. При взрыве зафиксирован огненный шар (до 5 километров в диаметре), грибовидное облако, поднявшееся на 67 км (с шириной 95 км). Сейсмологи зарегистрировали пятибалльное землетрясение, ударная волна обогнула Землю трижды.

Для сброса рекордного ядерного боеприпаса серийный бомбардировщик Ту-95В был модернизирован. Но машина вышла трудноуправляемой, со слишком большим взлетным весом. В серию модернизированная модель не пошла. Для новых военных доктрин использовались тактические и стратегические ракеты.

2.12 Совершенствование ядерного оружия и гонка вооружений

Реальные примеры создания ядерного оружия заставили технически развитые страны Европы, Азии запустить собственные атомные программы. До нынешнего времени ядерные испытания провели:

- Великобритания (1952 г., 25 килотонн);
- Франция (1960 г., 60 килотонн);
- Китай (1964 г., 22 килотонны);
- Индия (1974 г., 12 килотонн);
- Пакистан (1998 г., 9 килотонн);
- КНДР (2006 г. 2 килотонны).

Следующим типом ядерного оружия стала нейтронная бомба. В основе нейтронного устройства используется маломощный термоядерный заряд. При взрыве нейтронный выброс опережает ударную волну, увеличивая радиус поражения и действуя избирательно. При взрыве нет радиационной опасности, нейтронный поток быстро рассеивается. Нейтронные заряды (включая артиллерийские) предназначены для поражения войск и населения, не разрушают технику, инфраструктурные объекты.

Топ интересных фактов

Из интересных фактов процесса изобретения и совершенствования атомного оружия можно выделить такие:

1. Несмотря на высший уровень секретности, чертежи и технологии оружия неоднократно похищали. По соблюдению секретности на первом месте стоит Израиль. О том, что Израиль владеет ядерным оружием есть только предположения.
2. Сложность процесса расчета импловивной схемы подрыва плутониевой бомбы стала мощным толчком к развитию кибернетики. Идея использования для расчета электронных устройств подтолкнула изобретение компьютеров.

3. Самое большое количество боеголовок установлено в стационарные баллистические ракеты наземного базирования. Но опаснее всего разделяющиеся боеголовки подводных ракет, которые можно запустить от морских побережий Европы, Америки с минимальным подлетным временем.

2.13 Эволюция средств доставки

Дальнейшая эволюция ядерного оружия шла по линии совершенствования средств доставки. Подлетное время высотных стратегических бомбардировщиков исчислялось часами полета. К тому же они быстро стали доступными высотным перехватчикам и зенитным ракетам. Советские оружейники оказались и от ядерного артиллерийского снаряда.

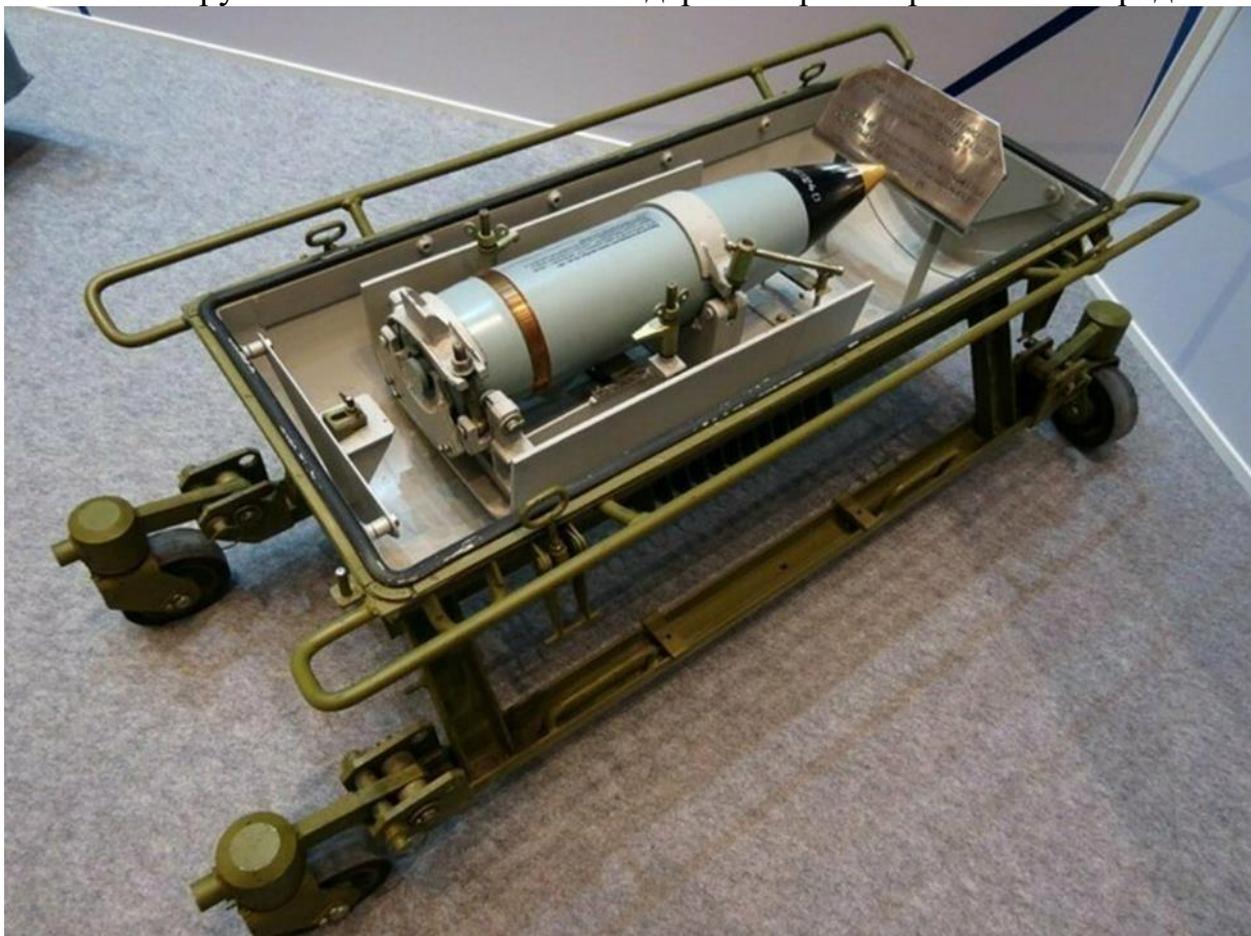


Рисунок 14 - Макет тяжёлого снаряда, из экспозиции ядерного вооружения на выставке в Манеже

Тактический снаряд не был принят на вооружение из-за большой опасности несанкционированного применения. Метод запуска из «черного чемоданчика» высших инстанций (верховного главнокомандующего) работает и поныне. Основными средствами доставки ядерных боеголовок стали наземные и подводные баллистические ракеты.

В результате эволюции средств доставки ядерными боеголовками современные армии оснащают:

- баллистические межконтинентальные ракеты;
- зенитные ракеты;
- наземные и морские «крылатые» ракеты;
- ракеты подводного пуска (с разделяющимися боеприпасами).



Рисунок 15 - Макеты боеголовок баллистической и подводной ракет

Средством доставки ядерного боеприпаса к цели может быть практически любое тяжёлое вооружение. В частности, тактическое ядерное оружие с 1950-х годов существует в форме артиллерийских снарядов и мин - боеприпасов для ядерной артиллерии. Носителями тактического ядерного оружия могут быть реактивные снаряды РСЗО, но пока ядерные снаряды для РСЗО даже не созданы^[5]. Однако габариты многих современных ракет тяжелых РСЗО позволяют разместить в них ядерную боевую часть, аналогичный применяемому ствольной артиллерией, в то время как некоторые РСЗО, например, российский «Смерч», по дальности практически сравнялись с тактическими ракетами, другие же (например, американская система MLRS) способны запускать со своих установок тактические ракеты. Тактические ракеты и ракеты большей дальности являются носителями ядерного оружия. В Договорах по ограничению вооружений в качестве средств доставки ядерного оружия рассматриваются баллистические и крылатые ракеты и самолёты. Исторически самолёты были

первыми средствами доставки ядерного оружия, и именно с помощью самолётов было выполнено единственное в истории боевое ядерное бомбометание:

1. На японский город **Хиросима 6 августа 1945 года. В 08:15** местного времени самолёт В-29 «Enola Gay» под командованием полковника Пола Тиббетса, находясь на высоте более 9 км, произвёл сброс атомной бомбы «Малыш» («Little Boy») на центр Хиросимы. Взрыватель был установлен на высоту 600 метров над поверхностью. Взрыв, эквивалентом от 13 до 18 килотонн тротила, произошёл через 45 секунд после сброса. Несмотря на такие «скромные» параметры, можно с уверенностью утверждать, что «примитивная» ядерная бомба «Малыш» являлась самой смертоносной (из двух применённых), унеся более пяти десятков тысяч человеческих жизней и став символом ядерной войны.
2. На японский город **Нагасаки 9 августа 1945 года. В 10:56** самолёт В-29 «Bockscar» под командованием пилота Чарльза Суини сбросил бомбу «Толстяк» («Fat man»). Взрыв произошёл в 11:02 местного времени на высоте около 500 метров. Мощность взрыва составила 21 килотонну в тротилового эквивалента.

Развитие систем ПВО и ракетного оружия выдвинуло на первый план именно ракеты как средство доставки ядерного оружия. В частности баллистические и создаваемые гиперзвуковые крылатые ракеты обладают наибольшей скоростью доставки ядерного оружия к цели.

Договор СНВ-1^[6] делил все баллистические ракеты по дальности на:

- Межконтинентальные (МБР) с дальностью более 5500 км;
- Ракеты средней дальности — от 1000 до 5500 км;
- Ракеты малой дальности — от 500 до 1000 км.

Договор РСМД, ликвидируя ракеты средней и меньшей (от 500 до 1000 км) дальности, вообще исключил из регулирования ракеты с дальностью до 500 км. В этот класс попали все тактические ракеты, и в настоящий момент такие средства доставки активно развиваются (особенно в Российской Федерации).

И баллистические, и крылатые ракеты могут быть размещены на подводных (обычно атомных) и надводных кораблях. Если это подлодка, то она называется, соответственно, ПЛАРБ и ПЛАРК. Кроме того, многоцелевые подводные лодки могут вооружаться торпедами и крылатыми ракетами с ядерными боевыми частями.

Ядерные торпеды могут использоваться как для атаки морских целей, так и побережья противника. Так, академиком Сахаровым был предложен проект торпеды Т-15 с зарядом около 100 мегатонн. Практически современной реализацией этой проектной идеи является торпеда «Посейдон».

Кроме ядерных зарядов, доставляемых техническими носителями, существуют ранцевые боеприпасы небольшой мощности, переносимые человеком, и предназначенные для использования диверсионными группами.

По назначению средства доставки ядерного оружия делятся на:

- тактическое, предназначенное для поражения живой силы и боевой техники противника на фронте и в тактических тылах. К тактическому ядерному оружию обычно относят и ядерные средства поражения морских, воздушных, и космических целей;
- оперативно-тактическое — для уничтожения объектов противника в пределах оперативной глубины;
- стратегическое — для уничтожения административных, промышленных центров и иных стратегических целей в глубоком тылу противника.



Рисунок 16 - Запуск БРПЛ «Трайдент II» из подводного положения. Ракета может быть оснащена 8 боеголовками W88



Рисунок 17 - Боевой железнодорожный ракетный комплекс БЖРК 15П961 «Молодец» с межконтинентальной ракетой с ядерной боевой частью



Рисунок 18 - АПУ 15У175М комплекса РС-24 «Ярс»

3 Ядерные взрывные устройства

Существует ряд веществ, способных привести к цепной реакции деления. В ядерном оружии используются уран-235 или плутоний-239. Уран в природе встречается в виде смеси трёх изотопов: ^{238}U (99,2745 % природного урана), ^{235}U (0,72 %) и ^{234}U (0,0055%). Цепную ядерную реакцию поддерживает только изотоп ^{235}U . Для обеспечения максимальной энергоёмкости уранового взрывного устройства (урановой ядерной бомбы) содержание ^{235}U в нём должно быть не менее 80%. Поэтому при производстве оружейного урана для повышения доли ^{235}U выполняют обогащение урана. Обычно в ядерном оружии используют ^{235}U с обогащением выше 90%, либо ^{239}Pu с обогащением 94%. Также были созданы экспериментальные ядерные заряды на базе ^{233}U , но ^{233}U не нашел применения в ядерном оружии, несмотря на меньшую критическую массу урана-233 по сравнению с ураном-235, из-за примеси ^{232}U , продукты распада которого создают жёсткое проникающее излучение для персонала обслуживающего такое ядерное оружие.

Альтернативой процессу обогащения урана служит создание плутониевых ядерных взрывных устройств на основе изотопа плутоний-239 в качестве основного ядерного взрывчатого вещества. Плутоний не встречается в природе, и этот элемент получают искусственно, облучая нейтронами ^{238}U . Технологически такое облучение осуществляют в ядерных реакторах. После облучения уран с полученным плутонием отправляют на радиохимический завод, где химическим способом извлекают наработанный плутоний. Регулируя параметры облучения в реакторе, добиваются преимущественной наработки нужного изотопа плутония.

3.1 Термоядерные взрывные устройства

В термоядерном взрывном устройстве высвобождение энергии происходит в процессе сверхбыстрой (взрывной) реакции термоядерного

синтеза дейтерия и трития в более тяжёлые элементы. При этом реакции термоядерного синтеза есть основной источник энергии взрыва. Основное рабочее вещество большинства современных термоядерных взрывных устройств - дейтерид лития. Подрыв основного боевого заряда - заряда дейтерида лития - выполняется маломощным встроенным ядерным взрывным устройством, выполняющим функцию детонатора (при взрыве ядерного взрывного устройства-детонатора выделяется энергия, более чем достаточная для запуска взрывной термоядерной реакции). Реакции термоядерного синтеза - намного более эффективный источник энергии, и, кроме того, возможно конструктивным усовершенствованием делать термоядерное взрывное устройство сколь угодно мощным, то есть отсутствуют принципиальные физические ограничения мощности термоядерного взрывного устройства.

3.2 Ядерные взрывные устройства с усилением

Особый подкласс ядерных взрывных устройств, - ядерные устройства с усиливающим зарядом. Усиливающий заряд используется в качестве дополнительного источника энергии, увеличивая таким образом общее энерговыделение такого ядерного взрывного устройства. Применяются две схемы усиления: бустинговое и термоядерное. В ядерных взрывных устройствах с бустинговым в качестве усиливающего заряда используется добавочный заряд ^{238}U . Дело в том, что в процессе цепной реакции деления ядер основного делящегося вещества испускается очень много быстрых нейтронов. Эти быстрые нейтроны, естественно, инициируют деление ядер усиливающего заряда ^{238}U , в процессе которого также выделяется много энергии.

В ядерных взрывных устройствах с термоядерным усилением в качестве усиливающего заряда используется дейтерид лития. Естественно, реакции термоядерного синтеза, начинающие протекать в дейтериде лития под воздействием энергии, выделяющийся в процессе деления основного заряда, выдают немалую дополнительную энергию. Основное физическое отличие ядерного устройства с термоядерным усилением от термоядерного устройства, — большая часть от общего энерговыделения в таком ядерном взрывном устройстве приходится на основной заряд делящегося вещества. Общей особенностью ядерных взрывных устройств с усилением - как с бустинговым так и с термоядерным - является намного большая (на десятки процентов) мощность, чем у ядерного взрывного устройства без такового.

3.3 Виды ядерных взрывов и поражающие факторы

Ядерные взрывы могут быть следующих видов:

- воздушный — в тропосфере;

- высотный — в верхних слоях атмосферы и в ближнем околопланетном космосе;
- космический — в дальнем околопланетном космосе и далее;
- наземный взрыв — у самой земли;
- подземный взрыв (под поверхностью земли);
- надводный (у самой поверхности воды);
- подводный (под водой).

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

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

Ударная волна ядерного взрыва – один из его основных поражающих факторов. В зависимости от того, в какой среде возникает и распространяется ударная волна – в воздухе, воде или грунте, ее называют соответственно: воздушной, подводной, сейсмозрывной.

Воздушной ударной волной называют область резкого сжатия воздуха, распространяющегося во все стороны от центра взрыва со сверхзвуковой скоростью. Обладая большим запасом энергии, ударная волна ядерного взрыва способна наносить поражения людям, разрушать различные сооружения, вооружение и военную технику и другие объекты на значительных расстояниях от места взрыва.

При наземном взрыве фронт ударной волны представляет собой полусферу, при воздушном взрыве в первый момент – сферу, затем полусферу. Кроме того, при наземном и воздушном взрыве часть энергии расходуется на образование сейсмозрывных волн в грунте, а также на испарение грунта и образование воронки.

Для объектов большой прочности, например, убежищ тяжелого типа, радиус зоны разрушающего действия ударной волны будет наибольшим при наземном взрыве. Для таких малопрочных объектов, как жилые здания, наибольшим радиус разрушения будет при воздушном взрыве.

Поражение людей воздушной ударной волной может возникать в результате непосредственного и косвенного воздействия (летающими обломками сооружений, падающими деревьями, осколками стекла, камнями грунтом).

В зоне, где избыточное давление во фронте ударной волны превышает 1 кгс/см^2 , имеют место крайне тяжелые и смертельные поражения открыто расположенного личного состава, в зоне с давлением $0,6 \dots 1 \text{ кгс/см}^2$ – тяжелые поражения, при $0,4 \dots 0,5 \text{ кгс/см}^2$ – поражения средней тяжести и при $0,2 \dots 0,4 \text{ кгс/см}^2$ – легкие поражения.

Радиусы зон поражения личного состава в положении лежа в значительно меньше, чем в положении стоя. При расположении людей в траншеях, щелях радиусы зон поражения уменьшаются примерно в 1,5 — 2 раза.

Лучшими защитными свойствами обладают закрытые помещения подземного и котлованного типа (блиндажи, убежища), уменьшая радиус поражения ударной волной не менее, чем в 3 — 5 раз.

Таким образом, надежной защитой личного состава от ударной волны являются инженерные сооружения.

Ударная волна выводит из строя и вооружение. Так, слабые повреждения ЗУР наблюдаются при избыточном давлении ударной волны 0,25 — 0,3 кгс/см². При слабых повреждениях у ракет происходит местное обжатие корпуса, могут выйти из строя отдельные приборы и агрегаты. К примеру, при взрыве боеприпаса мощностью 1 Мт ракеты выходят из строя на расстоянии 5...6 км, автомобили и подобная им техника — 4...5 км.

Световое излучение ядерного взрыва представляет собой электромагнитное излучение оптического диапазона, включающее ультрафиолетовую (0,01 — 0,38 мк), видимую (0,38 — 0,77 мк) и инфракрасную (0,77-340 мк) области спектра.

Источником светового излучения является светящаяся область ядерного взрыва, температура которой вначале достигает нескольких десятков миллионов градусов, а затем остывает и в своем развитии проходит три фазы: начальную, первую и вторую.

В зависимости от мощности взрыва длительность начальной фазы светящейся области составляет доли миллисекунды, первой — от нескольких миллисекунд до десятков и сотен миллисекунд, а второй — от десятых долей секунды до десятков секунд. За время существования светящейся области температура внутри ее изменяется от миллионов до нескольких тысяч градусов. Основная доля энергии светового излучения (до 90%) приходится на вторую фазу. Время существования светящейся области возрастает с увеличением мощности взрыва. При взрывах боеприпасов сверхмалого калибра (до 1 кг) свечение продолжается десятые доли секунды; малого (от 1 до 10 кг) — 1 ... 2 с; среднего (от 10 до 100 кг) — 2...5 с; крупного (от 100 кг до 1 Мт) — 5 ... 10 с; сверхкрупного (свыше 1 Мт) — несколько десятков секунд. Размеры светящейся области также возрастают с увеличением мощности взрыва. При взрывах боеприпасов сверхмалого калибра максимальный диаметр светящейся области составляет — 20 ... 200 м, малого — 200 ... 500, среднего — 500 ... 1000 м, крупного — 1000 ... 2000 м и сверхкрупного — несколько километров.

Основным параметром, определяющим поражающую способность светового излучения ядерного взрыва, является световой импульс.

Световой импульс — количество энергии светового излучения, падающей за все время излучения на единицу площади неподвижной неэкранированной поверхности, расположенной перпендикулярно к направлению прямого излучения, без учета отраженного излучения. Световой импульс измеряется в

джоулях на квадратный метр ($\text{Дж}/\text{м}^2$) или в калориях на квадратный сантиметр ($\text{кал}/\text{см}^2$); $1 \text{ кал}/\text{см}^2 = 4,2 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{м}^2$.

Световой импульс уменьшается с увеличением расстояния до эпицентра взрыва и зависит от вида взрыва и состояния атмосферы.

Поражение людей световым излучением выражается в появлении ожогов различных степеней открытых и защищенных обмундированием участков кожи, а также в поражении глаз. Например, при взрыве мощностью 1 Мт ($U = 9 \text{ кал}/\text{см}^2$) поражаются открытые участки кожи человека, вызывая ожог 2-ой степени.

Под воздействием светового излучения возможно возгорание различных материалов и возникновение пожаров. Световое излучение в значительной степени ослабляется облачностью, зданиями населенных пунктов, лесом. Однако, в последних случаях поражение личного состава может быть вызвано за счет образования обширных зон пожаров.

Надежной защитой от светового излучения личного состава и боевой техники являются подземные инженерные сооружения (блиндажи, убежища, перекрытые щели, котлованы, капониры).

Защита от светового излучения в подразделениях включает выполнение следующих мероприятий:

повышение коэффициента отражения светового излучения поверхностью объекта (применение материалов, красок, обмазок светлых тонов, различных металлических отражателей);

повышение стойкости и защитных свойств объектов к действию светового излучения (применение увлажнения, снежных обсыпок, использование огнестойких материалов, покрытие глиной и известью, пропиткой чехлов и тентов огнестойкими составами);

проведение противопожарных мероприятий (расчистка районов расположения личного состава и боевой техники от легко воспламеняющихся материалов, подготовка сил и средств для тушения пожаров);

использование индивидуальных средств защиты, таких как общевойсковой комплексный защитный костюм (ОКЗК), общевойсковой защитный комплект (ОЗК), импрегнированное обмундирование, защитные очки и т.п.

Таким образом, ударная волна и световое излучение ядерного взрыва являются его основными поражающими факторами. Своевременное и умелое использование простейших укрытий, рельефа местности, инженерных фортификационных сооружений, индивидуальных средств защиты, профилактических мероприятий позволит ослабить, а в ряде случаев исключить воздействие ударной волны и светового излучения на личный состав, вооружение и военную технику.

Проникающая радиация ядерного взрыва представляет собой поток γ -излучения и нейтронов. Нейтронное и γ -излучение различны по своим физическим свойствам, а общим для них является то, что они могут распространяться в воздухе во все стороны на расстояния до 2,5 – 3 км.

Проходя через биологическую ткань, γ -кванты и нейтроны ионизируют атомы и молекулы, входящие в состав живых клеток, в результате чего нарушается нормальный обмен веществ и изменяется характер жизнедеятельности клеток, отдельных органов и систем организма, что приводит к возникновению заболевания – лучевой болезни. Схема распространения гамма-излучения ядерного взрыва показана на рисунке 19.



Рисунок 19 - Схема распространения гамма-излучения ядерного взрыва

Источником проникающей радиации являются ядерные реакции деления и синтеза, протекающие в боеприпасах в момент взрыва, а также радиоактивный распад осколков деления.

Поражающее действие проникающей радиации характеризуется дозой излучения, т.е. количеством энергии ионизирующих излучений, поглощенной единицей массы облучаемой среды, измеряемой в *радах* (*рад*). Нейтроны и γ -излучение ядерного взрыва действуют на любой объект практически одновременно. Поэтому общее поражающее действие проникающей радиации определяется суммированием доз γ -излучения и нейтроно, где:

- суммарная доза излучения, рад;
- доза γ - излучения, рад;
- доза нейтронов, рад (ноль у символов доз показывает, что они определяются перед защитной преградой).

Доза излучения зависит от типа ядерного заряда, мощности и вида взрыва, а также от расстояния до центра взрыва.

Проникающая радиация является одним из основных поражающих факторов при взрывах нейтронных боеприпасов и боеприпасов деления сверхмалой и малой мощности. Для взрывов большой мощности радиус поражения проникающей радиацией значительно меньше радиусов поражения ударной волной и световым излучением. Особо важное значение проникающая радиация приобретает в случае взрывов нейтронных боеприпасов, когда основная доля дозы излучения образуется быстрыми нейтронами.

Поражающее воздействие проникающей радиации на личный состав и на состояние его боеспособности зависит от полученной дозы излучения и времени, прошедшего после взрыва, что вызывает лучевую болезнь. В зависимости от полученной дозы излучения различают **четыре степени лучевой болезни.**

Лучевая болезнь I степени (легкая) возникает при суммарной дозе излучения 150 – 250 рад. Скрытый период продолжается 2 – 3 недели, после чего появляется недомогание, общая слабость, тошнота, головокружение, периодическое повышение температуры. В крови уменьшается содержание лейкоцитов и тромбоцитов. Лучевая болезнь I степени излечивается в течение 1,5 – 2 месяцев в стационаре.

Лучевая болезнь II степени (средняя) возникает при суммарной дозе излучения 250 – 400 рад. Скрытый период длится около 2 – 3 недель, затем признаки заболевания выражаются более ярко: наблюдается выпадение волос, меняется состав крови. При активном лечении наступает выздоровление через 2 — 2,5 месяца.

Лучевая болезнь III степени (тяжелая) наступает при дозе излучения 400 – 700 рад. Скрытый период составляет от несколько часов до 3 недель.

Болезнь протекает интенсивно и тяжело. В случае благоприятного исхода выздоровление может наступить через 6 – 8 месяцев, но остаточные явления наблюдаются значительно дольше.

Лучевая болезнь IV степени (крайне тяжелая) наступает при дозе излучения свыше 700 рад, которая является наиболее опасной. Смерть наступает через 5 – 12 дней, а при дозах, превышающих 5000 рад, личный состав утрачивает боеспособность через несколько минут.

Тяжесть поражения в известной мере зависит от состояния организма до облучения и его индивидуальных особенностей. Сильное переутомление, голодание, болезнь, травмы, ожоги повышают чувствительность организма к воздействию проникающей радиации. Сначала человек теряет физическую работоспособность, а затем – умственную.

При больших дозах излучения и потоках быстрых нейтронов утрачивают работоспособность комплектующие элементы систем радиоэлектроники. При дозах более 2000 рад стекла оптических приборов темнеют, окрашиваясь в фиолетово – бурый цвет, что снижает или полностью исключает возможность их использования для наблюдения. Дозы излучения 2 – 3 рад приводят в негодность фотоматериалы, находящиеся в светонепроницаемой упаковке.

Защитой от проникающей радиации служат различные материалы, ослабляющие γ -излучение и нейтроны. При решении вопросов защиты следует учитывать разницу в механизмах взаимодействия γ -излучения и нейтронов со средой, что определяет выбор защитных материалов. Излучение сильнее всего ослабляется тяжелыми материалами, имеющими высокую электронную плотность (свинец, сталь, бетон). Поток нейтронов лучше ослабляется легкими материалами, содержащими ядра легких элементов, например водорода (вода, полиэтилен).

В подвижных объектах для защиты от проникающей радиации необходима комбинированная защита, состоящая из легких водородосодержащих веществ и материалов с высокой плотностью. Средний танк, например, без специальных противорадиационных экранов имеет кратность ослабления

проникающей радиации равную примерно 4, что недостаточно для обеспечения надежной защиты экипажа. Поэтому вопросы защиты личного состава должны решаться выполнением комплекса различных мероприятий. Наибольшей кратностью ослабления от проникающей радиации обладают фортификационные сооружения (перекрытые траншеи – до 100, убежища – до 1500).

В качестве средств, ослабляющих действие ионизирующих излучений на организм человека, могут быть использованы различные противорадиационные препараты (радиопротекторы).

Ядерные взрывы в атмосфере и в более высоких слоях приводят к возникновению мощных электромагнитных полей с длинами волн от 1 до 1000 м и более. Эти поля ввиду их кратковременного существования принято называть **электромагнитным импульсом (ЭМИ)**.

Поражающее действие ЭМИ обусловлено возникновением напряжений и токов в проводниках различной протяженности, расположенных в воздухе, земле, на вооружении и военной технике и других объектах.

Основной причиной генерации ЭМИ длительностью менее 1с считают взаимодействие γ -квантов и нейтронов с газом во фронте ударной волны и вокруг него. Важное значение имеет также возникновение асимметрии в распределении пространственных электрических зарядов, связанных с особенностями распространения излучения и образования электронов.

При наземном или низком воздушном взрыве γ -кванты, испускаемые из зоны протекания ядерных реакций, выбивают из атомов воздуха быстрые электроны, которые летят в направлении движения квантов со скоростью, близкой к скорости света, а положительные ионы (остатки атомов) остаются на месте. В результате такого разделения электрических зарядов в пространстве образуются элементарные и результирующие электрические и магнитные поля, которые и представляют собой ЭМИ.

При наземном и низком воздушном взрывах поражающее воздействие ЭМИ наблюдается на расстоянии порядка нескольких километров от центра взрыва.

При высотном ядерном взрыве ($H > 10$ км) могут возникать поля ЭМИ в зоне взрыва и на высотах 20 – 40 км от поверхности земли. ЭМИ в зоне такого взрыва возникает за счет быстрых электронов, которые образуются в результате взаимодействия квантов ядерного взрыва с материалом оболочки боеприпаса и рентгеновского излучения с атомами окружающего разреженного воздушного пространства.

Испускаемое из зоны взрыва излучение в направлении поверхности земли начинает поглощаться в более плотных слоях атмосферы на высотах 20 – 40 км, выбивая из атомов воздуха быстрые электроны. В результате разделения и перемещения положительных и отрицательных зарядов в этой области и в зоне взрыва, а также при взаимодействии зарядов с геомагнитным полем земли возникает электромагнитное излучение, которое достигает

поверхности земли в зоне радиусом до нескольких сот километров. Продолжительность ЭМИ – несколько десятых долей секунды.

Поражающее действие ЭМИ проявляется, прежде всего, по отношению к радиоэлектронной и электротехнической аппаратуре, находящейся на вооружении и военной технике и других объектах. Под действием ЭМИ в указанной аппаратуре наводятся электрические токи и напряжения, которые могут вызвать пробой изоляции, повреждение трансформаторов, сгорание разрядников, порчу полупроводниковых приборов, перегорание плавких вставок и других элементов радиотехнических устройств.

Наиболее подвержены воздействию ЭМИ линии связи, сигнализации и управления. Когда амплитуда ЭМИ не слишком большая, то возможно срабатывание средств защиты (плавких вставок, грозозащитных устройств) и нарушение работоспособности линий.

Кроме того, высотный взрыв способен создать помехи в работе средств связи на очень больших площадях.

Защита от ЭМИ достигается экранированием как линий энергоснабжения и управления, так и собственно аппаратуры, а также созданием такой элементной базы радиотехнических средств, которая устойчива к воздействию ЭМИ. Все наружные линии, например, должны быть двухпроводными, хорошо изолированными от земли, с малоинерционными разрядниками и плавкими вставками. Для защиты чувствительного электронного оборудования целесообразно использовать разрядники с небольшим порогом зажигания. Важное значение имеют правильная эксплуатация линий, контроль исправности средств защиты, а также организация обслуживания линий в процессе эксплуатации.

Радиоактивное заражение местности, приземного слоя атмосферы, воздушного пространства, воды и других объектов возникает в результате выпадения радиоактивных веществ из облака ядерного взрыва при его перемещении под воздействием ветра.

Значение радиоактивного заражения как поражающего фактора определяется тем, что высокие уровни радиации могут наблюдаться не только в районе, прилегающем к месту взрыва, но и на расстоянии десятков и даже сотен километров от него. В отличие от других поражающих факторов, действие которых проявляется в течение относительно короткого времени после ядерного взрыва, радиоактивное заражение местности может быть опасным на протяжении нескольких лет и десятков лет после взрыва.

Наиболее сильное заражение местности происходит от наземных ядерных взрывов, когда площади заражения с опасными уровнями радиации во много раз превышают размеры зон поражения ударной волной, световым излучением и проникающей радиацией. Сами радиоактивные вещества и испускаемые ими ионизирующие излучения не имеют цвета, запаха, а скорость их распада не может быть измерена какими – либо физическими или химическими методами.

Зараженную местность по пути движения облака, где выпадают радиоактивные частицы диаметром более 30 – 50 мкм, принято называть ближним следом заражения. На больших расстояниях – дальний след – небольшое заражение местности, которое в течение длительного времени не влияет на боеспособность личного состава. Схема формирования следа радиоактивного облака наземного ядерного взрыва представлена на рисунке 20.

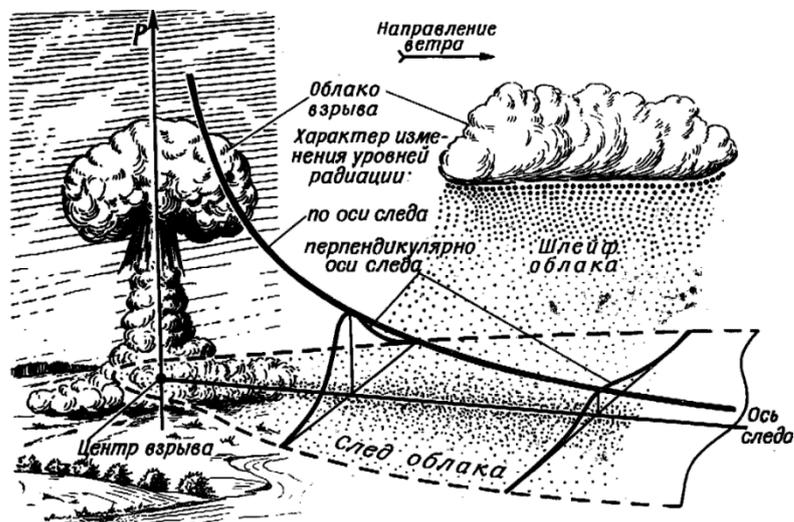


Рисунок 20 - Схема формирования следа радиоактивного облака наземного ядерного взрыва

Источниками радиоактивного заражения при ядерном взрыве являются:

- продукты деления (осколки деления) ядерных взрывчатых веществ;
- радиоактивные изотопы (радионуклиды), образующиеся в грунте и др. материалах под воздействием нейтронов – наведенная активность;
- не разделившаяся часть ядерного заряда.

При наземном ядерном взрыве светящаяся область касается поверхности земли и образуется воронка выброса. Значительное количество грунта, попавшего в светящуюся область, плавится, испаряется и перемешивается с радиоактивными веществами.

По мере остывания светящейся области и ее подъема пары конденсируются, образуя радиоактивные частицы разных размеров. Сильный прогрев грунта и приземного слоя воздуха способствует образованию в районе взрыва восходящих потоков воздуха, которые формируют пылевой столб («ножку» облака). Когда плотность воздуха в облаке взрыва станет равной плотности окружающего воздуха, подъем облака прекращается. При этом, в среднем за 7 – 10 мин. облако достигает максимальной высоты подъема, которую иногда называют высотой стабилизации облака.

Границы зон радиоактивного заражения с разной степенью опасности для личного состава можно характеризовать как мощностью дозы излучения (уровнем радиации) на определенное время после взрыва, так и дозой до полного распада радиоактивных веществ.

По степени опасности зараженную местность по следу облака взрыва принято делить на 4 зоны.

Зона А (умеренного заражения), площадь которой составляет 70 – 80% площади всего следа.

Зона Б (сильного заражения). Дозы излучения на внешней границе этой зоны $D_{\text{внешн}} = 400$ рад, а на внутренней — $D_{\text{внутр}} = 1200$ рад. На долю этой зоны приходится примерно 10% площади радиоактивного следа.

Зона В (опасного заражения). Дозы излучения на ее внешней границе $D_{\text{внешн}} = 1200$ рад, а на внутренней — $D_{\text{внутр}} = 4000$ рад. Эта зона занимает примерно 8 – 10% площади следа облака взрыва.

Зона Г (чрезвычайно опасного заражения). Дозы излучения на ее внешней границе более 4000 рад.

На рисунке 18 показана схема нанесения прогнозируемых зон заражения при одиночном наземном ядерном взрыве. Синим цветом наносится зона Г, зеленым – Б, коричневым – В, черным – А.

Потери людей, вызванные действием поражающих факторов ядерного взрыва, принято делить на **безвозвратные** и **санитарные**.

К безвозвратным потерям относят погибших до оказания медицинской помощи, а к санитарным – пораженных, поступивших для лечения в медицинские подразделения и учреждения.

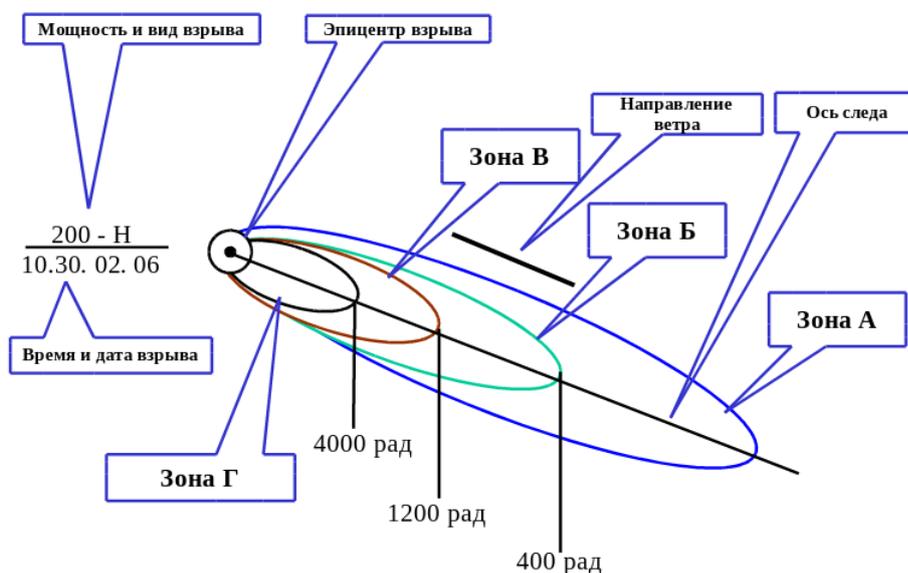


Рисунок 21 - Схема нанесения прогнозируемых зон заражения при одиночном ядерном взрыве

Электромагнитный импульс - это кратковременное электромагнитное поле, возникающее при взрыве ядерного боеприпаса в результате взаимодействия гамма-лучей и нейтронов, испускаемых при ядерном взрыве, с атомами окружающей среды. Следствием его воздействия может быть перегорание или пробой отдельных элементов радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры. Поражение людей возможно только в тех

случаях, когда они в момент взрыва соприкасаются с протяженными проводными линиями.

Наиболее надежным средством защиты от всех поражающих факторов ядерного взрыва являются защитные сооружения. В поле следует укрываться за прочными местными предметами, обратными скатами высот, в складках местности.

При действиях в зонах заражения для защиты органов дыхания, глаз и открытых участков тела от радиоактивных веществ используются средства защиты органов дыхания (противогазы, респираторы, противопыльные тканевые маски и ватно-марлевые повязки), а также средства защиты кожи.

Соотношение мощности воздействия различных поражающих факторов зависит от конкретной физики ядерного взрыва. Например, для термоядерного взрыва характерны более сильные, чем у так называемого атомного взрыва, световое излучение, гамма-лучевой компонент проникающей радиации, но значительно более слабые корпускулярный компонент проникающей радиации и радиоактивное заражение местности.

Люди, непосредственно подвергшиеся воздействию поражающих факторов ядерного взрыва, кроме физических повреждений, которые зачастую смертельны для человека, испытывают мощное психологическое воздействие от ужасающей картины взрыва и разрушений. Электромагнитный импульс (ЭМИ) непосредственного влияния на живые организмы не оказывает, но может нарушить работу электронной аппаратуры (ламповая электроника и фотонная аппаратура сравнительно нечувствительны к воздействию ЭМИ).

3.4 Классификация ядерных боеприпасов

Все ядерные боеприпасы могут быть разделены на две основные категории:

- «атомные» — однофазные или одноступенчатые взрывные устройства, в которых основной выход энергии происходит от ядерной реакции деления тяжёлых ядер (урана-235 или плутония) с образованием более лёгких элементов;
- однофазные с бустинговым или термоядерным, в коих в качестве дополнительного источника энергии используется добавочный (усиливающий) заряд ^{238}U или дейтерида лития соответственно.
- термоядерные (также «водородные») - двухфазные или двухступенчатые взрывные устройства, в которых последовательно развиваются два физических процесса, локализованных в различных областях пространства: на первой стадии основным источником энергии является реакция деления тяжёлых ядер, а на второй реакции деления и термоядерного синтеза используются в различных пропорциях, в зависимости от типа и настройки боеприпаса.

Реакция термоядерного синтеза, как правило, развивается внутри делящейся сборки и служит мощным источником дополнительных нейтронов. Только ранние ядерные устройства в 1940-х годах,

немногочисленные бомбы пушечной сборки в 1950-х, некоторые ядерные артиллерийские снаряды, а также изделия слабо развитых в плане ядерных технологий государств (ЮАР, Пакистан, КНДР) не используют термоядерный синтез в качестве усилителя мощности ядерного взрыва или главного источника энергии взрыва.

Вторая ступень любого термоядерного взрывного устройства может быть оснащена тампером - отражателем нейтронов. Тампер изготавливается из ^{238}U , который эффективно делится от быстрых нейтронов реакции синтеза. Так достигается многократное увеличение общей мощности взрыва и чудовищный рост количества радиоактивных осадков. После знаменитой книги «Ярче тысячи солнц», написанной Р. Юнгом в 1958 году по «горячим следам» Манхэттенского проекта, такого рода «грязные» термоядерные боеприпасы принято называть FFF (fusion-fission-fusion) или трёхфазными. Однако этот термин не вполне корректен. Почти все «FFF» относятся к двухфазным и различаются только материалом тампера, который в «чистом» боеприпасе может быть выполнен из свинца, вольфрама и т. д. Исключением являются устройства типа «Слойки» Сахарова, которые следует отнести к однофазным, хотя они имеют слоистую структуру взрывного заряда (ядро из плутония - слой дейтерида лития-6 - слой урана-238). В США такое устройство получило название «Alarm Clock» («Часы с будильником»). Схема последовательного чередования реакций деления и синтеза реализована в двухфазных боеприпасах, в которых можно насчитать до 6 слоёв при весьма «умеренной» мощности. Примером служит относительно современная ракетная боеголовка W88, в которой первая секция (primary) содержит два слоя, вторая секция (secondary) имеет три слоя, и ещё одним слоем является общая для двух секций оболочка из урана-238.

Иногда в отдельную категорию выделяется нейтронное оружие - двухфазный боеприпас малой мощности (от 1 кт до 25 кт), в котором 50 - 75% энергии получается за счёт термоядерного синтеза. Поскольку основным переносчиком энергии при синтезе являются быстрые нейтроны, то при взрыве такого боеприпаса выход нейтронов может в несколько раз превышать выход нейтронов при взрывах однофазных ядерных взрывных устройств сравнимой мощности. За счёт этого достигается существенно больший вес таких поражающих факторов, как нейтронное излучение и наведённая радиоактивность (до 30% от общего энерговыхода), что может быть важным с точки зрения задачи уменьшения радиоактивных осадков и снижения разрушений на местности при высокой эффективности применения против танковых войск и живой силы. Существуют мифические представления о том, что нейтронное оружие поражает исключительно людей и оставляет в сохранности строения. По разрушительному воздействию взрыв нейтронного боеприпаса в сотни раз превосходит любой неядерный боеприпас.

3.5 Мощность ядерного заряда

Мощность ядерного заряда измеряется в тротиловом эквиваленте - количестве тринитротолуола, которое нужно взорвать для получения той же энергии. Обычно его выражают в килотоннах (кт) и мегатоннах (Мт). (1 кт = 1000 т, 1 Мт = 1000000 т.) Тротиловый эквивалент условен: во-первых, распределение энергии ядерного взрыва по различным поражающим факторам существенно зависит от типа боеприпаса, и, в любом случае, сильно отличается от химического взрыва. Во-вторых, просто невозможно добиться полного сгорания соответствующего количества химического взрывчатого вещества.

Принято делить ядерные боеприпасы по мощности на пять групп:

- сверхмалые — менее 1 кт;
- малые (1—10 кт);
- средние (10 — 100 кт);
- крупные (большой мощности) — от 100 кт до 1 Мт;
- сверхкрупные (сверхбольшой мощности) — свыше 1 Мт.

Варианты детонации ядерных боеприпасов. Существуют две основные схемы детонации: пушечная, иначе называемая баллистической, и имплозивная. Отметим, что практически во всех современных «зарядах» используются оба принципа в их комбинации. «Пушечная» схема представляет собой метод набора надкритической массы делящегося вещества сборки (либо других вариантов управления, например «глушения» аварийного) путём введения в неё различных регулировочных элементов (как в абсолютно любом реакторе). Имплозивная схема — это метод достижения и превышения критической заряда делящегося вещества посредством сжатия заряда делящегося вещества, ударными волнами взрывов неядерных взрывных зарядов, направленными на его центр.

Пушечная схема. «Пушечная схема» использовалась в некоторых моделях ядерных боеприпасах первого поколения. Суть пушечной схемы заключается в выстреливании зарядом пороха одного блока делящегося материала докритической массы («пулей») в другой - неподвижный («мишень»). Блоки рассчитаны так, что при соединении с некоторой расчётной скоростью их общая масса становится надкритической, массивная оболочка заряда обеспечивает выделение значительной энергии (десятки килотонн Т. Э.) раньше, чем блоки испарятся. Конструкция заряда также обеспечивала предотвращение испарения «снаряда и мишени» до момента развития необходимой скорости, также в ней были приняты меры по снижению этой скорости с 800 м/с до 200—300 м/с, что позволило значительно облегчить конструкцию. Также были приняты специальные меры по предотвращению разрушения «снаряда» в момент «выстрела», так как перегрузки при его разгоне по столь короткому «стволу» были значительными.

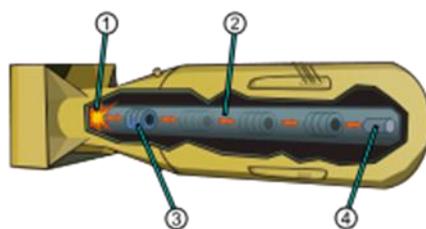


Рисунок 22 - Боеприпас пушечной схемы:
1 — пороховой заряд, **2** — орудийный ствол, **3** — урановый снаряд, **4** — урановая мишень

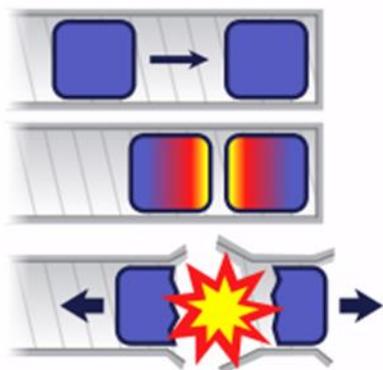


Рисунок 23 - Возможность преждевременного развития цепной реакции до полного соединения блоков

Данный способ детонации возможен только в урановых боеприпасах, так как плутоний имеет на два порядка более высокий нейтронный фон, что резко повышает вероятность преждевременного развития цепной реакции до соединения блоков, приводя к неполному выходу энергии - т.н. «шипучке», англ. *fizzle*). В случае использования плутония в боеприпасах пушечной схемы требуемая скорость соединения частей заряда была технически недостижимой. Кроме того, уран лучше, чем плутоний выдерживает механические перегрузки. Поэтому плутониевые бомбы используют импловзивную схему подрыва, которая технически значительно более сложна и требует большого объёма инженерных расчётов.

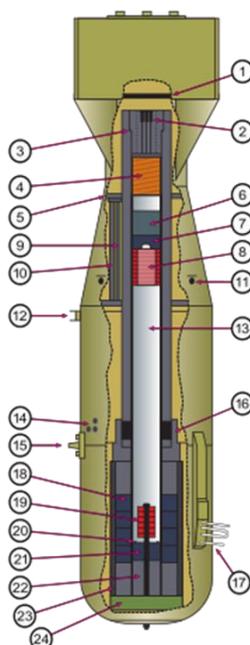


Рисунок 24 - Устройство боеприпаса L-11 «Little Boy»:

1 - броневая плита, **2** - электрозапалы Марк-15, **3** - казённая часть орудийного ствола с заглушкой, **4** - мешочки с кордитом, **5** - труба усиления ствола, **6** - стальной задник снаряда, **7** - поддон снаряда из карбида вольфрама, **8** - кольца из урана-235, **9** - выравнивающий стержень, **10** - бронированная труба с электропроводкой, **11** - порты барометрических датчиков, **12** - электроразъёмы, **13** - орудийный ствол калибра 6,5 дюймов, **14** - разъёмы предохранителя, **15** - такелажная серьга, **16** - адаптер мишени, **17** - антенны, **18** - рукав из карбида вольфрама, **19** - мишень из урана-235, **20** - полониево-бериллиевые инициаторы, **21** - заглушка из карбида вольфрама, **22** - наковальня, **23** - рукав мишени из стали К-46, **24** - носовая заглушка диаметром 15 дюймов

Классическим примером пушечной схемы является бомба «Малыш» («Little Boy»), сброшенная на Хиросиму 6 августа 1945 г. Уран для её производства был добыт в Бельгийском Конго (ныне Демократическая Республика Конго), в Канаде (Большое Медвежье озеро) и в США (штат Колорадо). Этот уран, напрямую добытый из шахт, использовать в столь простой и технологичной бомбе было нельзя. В действительности, природный уран требовал операции обогащения. Для получения обогащённого урана по технологиям тех лет потребовалось возвести огромные производственные здания протяжённостью до километров и стоимостью в миллиарды долларов (в ценах того времени). Выход же высокообогащённого урана был довольно невелик, а процесс его получения был невероятно энергозатратным, что и определяло огромную стоимость каждого боеприпаса. Тем не менее, конструкция первой «пушечной» бомбы по существу представляла собой некоторую доработку серийного артиллерийского орудия. Так, в бомбе «Little Boy» использовался укороченный до 1,8 м ствол морского орудия калибра предположительно 164 мм. При этом урановая «мишень»

представляла собой цилиндр диаметром 100 мм и массой 25,6 кг, на который при «выстреле» надвигалась цилиндрическая «пуля» массой 38,5 кг с соответствующим внутренним каналом. Такая, на первый взгляд, странная конструкция была выбрана для снижения нейтронного фона мишени: в нём она находилась не вплотную, а на расстоянии 59 мм от нейтронного отражателя (тампера). В результате риск преждевременного начала т. н. «шипучки» снижался до нескольких процентов.

Позднее на основе этой схемы американцы изготовили 240 артиллерийских снарядов в трёх производственных сериях. Снаряды эти выстреливались из обычной пушки. К концу 1960-х все эти снаряды были ликвидированы из-за большой опасности ядерного самоподрыва.

Имплозивная схема. Принцип действия имплозивной схемы подрыва - по периметру делящегося вещества взрываются заряды конвенционального ВВ, которые создают взрывную волну, «сжимающую» вещество в центре и инициирующую цепную реакцию. Имплозивная схема детонации использует обжатие делящегося материала сфокусированной ударной волной, создаваемой взрывом химических взрывных зарядов. Для фокусировки ударной волны используются так называемые взрывные линзы. Подрыв производится одновременно во многих точках с высокой точностью. Это достигается при помощи детонационной разводки: от одного взрывателя по поверхности сферы расходится сеть канавок, заполненных взрывчатым веществом. Форма сети и её топология подбираются таким образом, чтобы в конечных точках взрывная волна через отверстия в сфере достигала центров взрывных линз одновременно (на первых зарядах каждая линза подрывалась собственным детонатором, для чего управляющее устройство должно было подать на все синхронный импульс).

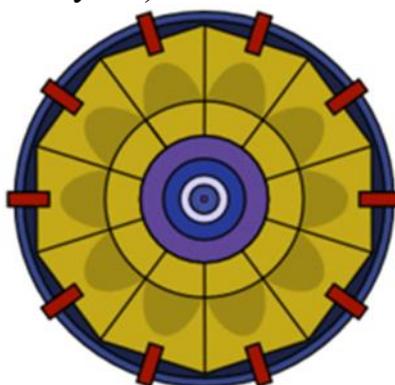


Рисунок 25 – Имплозивная схема

Формирование сходящейся ударной волны обеспечивалось использованием взрывных линз из «быстрой» и «медленной» взрывчаток — ТАТВ (триаминотринитробензол) и боратола (смесь тринитротолуола с нитратом бария), и некоторыми добавками (см. анимацию). Создание подобной системы расположения взрывчатки и подрыва являлось в своё время одной из наиболее сложных и трудоёмких задач. Для её решения потребовалась выполнить гигантский объём сложных вычислений по гидро-

и газодинамике. По такой схеме было исполнено первое ядерное взрывное устройство «Gadget» (англ. *gadget* — приспособление), взорванное на башне с целью проверки на практике работы имплозивной схемы в ходе испытаний «Trinity» («Троица») 16 июля 1945 года на полигоне неподалёку от местечка Аламогордо в штате Нью-Мексико. Вторая из применённых атомных авиабомб — «Толстяк» («Fat Man»), — сброшенная на Нагасаки 9 августа 1945 года, была исполнена по такой же схеме. Фактически, «Gadget» был лишённым внешней оболочки прототипом «Толстяка». В этой атомной бомбе в качестве нейтронного инициатора был использован так называемый «ёжик» (англ. *urchin*) (технические подробности см. в статье «Толстяк»). Впоследствии эта схема была признана малоэффективной, и неуправляемый тип нейтронного инициирования почти не применялся в дальнейшем.

3.6 Бустеризация ядерного взрыва

Так называемая *бустеризация ядерного взрыва дейтериево-тритиевой смесью* была задумана американскими ядерщиками ещё в 1947-49 годах. Но применение этой схемы стало возможным только в 50-х годах. Так, ядерная бомба Orange Herald мощностью в 720 кт из 17 кг ^{235}U , была испытана британскими специалистами 31 мая 1957 года и имела в центре сборки гидриды лития-6, но с дейтерием (дейтерид лития) и тритием (тритид лития) (LiD/LiT).

В современных ядерных боеприпасах (на основе реакции деления) в центре полой сборки обычно размещается (закачивается перед детонацией) небольшое количество (граммы (порядка 3-6 грамм)) термоядерного топлива (дейтерия и трития) в виде газа (из-за распада трития его в ядерных боеприпасах надо обновлять раз в несколько лет).

Этот дейтериево-тритиевый газ при ядерном взрыве неизбежно нагревается, сжимается ещё в самом начале процесса деления до такого состояния, что в нём начинается мизерная по объёму термоядерная реакция синтеза, которая даёт незначительный прирост общего выхода энергии — для примера: 5 граммов такого газа в ходе реакции синтеза дают лишь в 1,73% от общей мощности взрыва в 24 кт для небольшой ядерной бомбы из 4,5 кг плутония. Но нейтроны при бустеризации позволяют полностью прореагировать в реакции деления 1,338 кг плутония или 29,7% от всей массы плутония — в бомбах без бустеризации доля полностью прореагировавшего плутония ещё меньше (около 13% — как у бомбы «Fat Man»). Выделяющиеся от этой небольшой по объёму реакции синтеза (прямо в центре сборки) многочисленные высокоэнергичные (быстрые) нейтроны иницируют новые цепные реакции во всем объёме сборки и тем самым возмещают убыль нейтронов, покидающих активную зону реакции во внешних частях сборки. Потому это устройство часто именуется на схемах как *дейтерий-тритиевый инициатор нейтронов*.^{[2][3]}

Нейтроны при бустеризации имеют энергию около 14 МэВ, что в 14 раз больше энергии «обычных» нейтронов от реакции деления. Поэтому они дают при столкновении с ядром делящегося материала больше вторичных нейтронов (4,6 против 2,9 для случая плутония Pu-239).^[4] Кроме дейтерия и трития ранее также применялись и другие инициаторы нейтронов, например полоний-бериллиевый (Po-Be) нейтронный источник.

Применение подобных инициаторов приводит к многократному росту энергетического выхода от реакции деления и более эффективному использованию основного делящегося вещества, уменьшению радиоактивного загрязнения непрореагировавшим остатком основного делящегося вещества.

Варьируя содержание газовой смеси в заряде, получают боеприпасы с регулируемой в широких пределах мощностью взрыва (см. Ядерная боеголовка изменяемой мощности).

Конструкция типа «Swan». Описанная схема сферической имплозии архаична и с середины 1950-х годов почти не применяется. Принцип действия конструкции типа «Swan» ([англ. swan](#) - лебедь), основан на использовании делящейся сборки особой формы, которая в процессе инициированной в одной точке одним взрывателем имплозии, сжимается в продольном направлении и превращается в надкритическую сферу. Сама оболочка состоит из нескольких слоёв взрывчатого вещества с разной скоростью детонации, которую изготавливают на основе сплава октогена и пластика в нужной пропорции и наполнителя - пенополистирола, так что между ним и находящейся внутри ядерной сборкой остаётся заполненное пенополистиролом пространство. Это пространство вносит нужную задержку за счёт того, что скорость детонации взрывчатки превышает скорость движения ударной волны в пенополистироле. Форма заряда сильно зависит от скоростей детонации слоёв оболочки и скоростью распространения ударной волны в полистироле, которая в данных условиях гиперзвуковая. Ударная волна от внешнего слоя взрывчатки достигает внутреннего сферического слоя одновременно по всей поверхности. Существенно более лёгкий тампер выполняется не из ^{238}U , а из хорошо отражающего нейтроны бериллия. Можно предположить, что необычное название данной конструкции - «Лебедь» (первое испытание - Inca в 1956 г.) было подсказано формой шеи лебедя. Таким образом оказалось возможным отказаться от сферической имплозии и, тем самым, решить крайне сложную проблему субмикросекундной синхронизации взрывателей на сферической сборке и таким образом упростить и уменьшить диаметр имплозивного ядерного боеприпаса с 2 м у «[Голстяка](#)» до 30 см и менее в современных ядерных боеприпасах. На случай нештатного срабатывания детонатора существует несколько предохранительных мер, предотвращающих равномерное обжатие сборки и обеспечивающих её разрушение без ядерного взрыва. Меры основаны на том, что конструкцию в режиме хранения стремятся делать

«полуразобранной». «Досборка» производится автоматически, по команде - такая операция называется операцией взведения.

Термоядерные боеприпасы. Мощность ядерного заряда, работающего исключительно на принципе деления тяжёлых элементов, ограничивается десятками килотонн. Энерговыход (англ. *yield*) однофазного ядерного взрывного устройства, усиленного термоядерным топливом внутри делящейся сборки (Boosted fission weapon (англ.)рус.), может достигать сотен килотонн. Создать однофазное ядерное взрывное устройство мегатонной и выше мощности практически невозможно, - увеличение массы делящегося вещества проблему не решает. Дело в том, что энергия, выделяющаяся в результате цепной реакции, раздувает сборку со скоростью порядка 1000 км/с, поэтому она быстро становится докритической и большая часть делящегося вещества не успевает прореагировать и просто разбрасывается ядерным взрывом. Например, в сброшенном на город Нагасаки «Толстяке» прореагировало не более 20% из 6,2 кг заряда плутония, а в уничтожившем Хиросиму «Малыше» с пушечной сборкой распалось только 1,4% из 64 кг обогащённого примерно до 80 % урана. Самый мощный в истории однофазный боеприпас - британский, взорванный в ходе испытаний Orange Herald в 1957 году, достиг мощности 720кт. Многоугольная схема однофазного ядерного взрывного устройства, представляющая собой сборку из нескольких ядерных взрывных устройств-модулей, могла бы преодолеть этот барьер, но это её достоинство полностью нивелируется вполне возможной неприемлемой сложностью конструкции, и как следствие ненадежностью срабатывания.

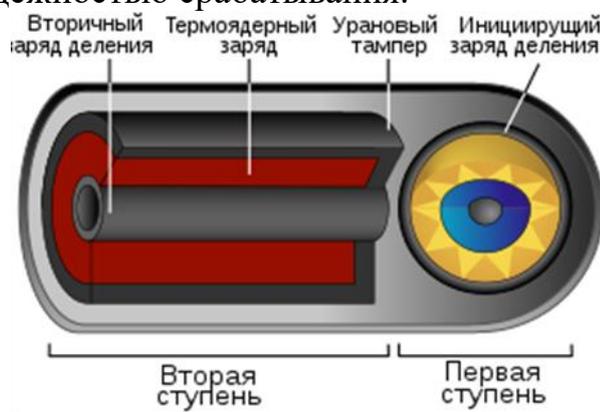


Рисунок 26 - Конструкция Теллера — Улама для двухфазного боеприпаса («термоядерная бомба»)

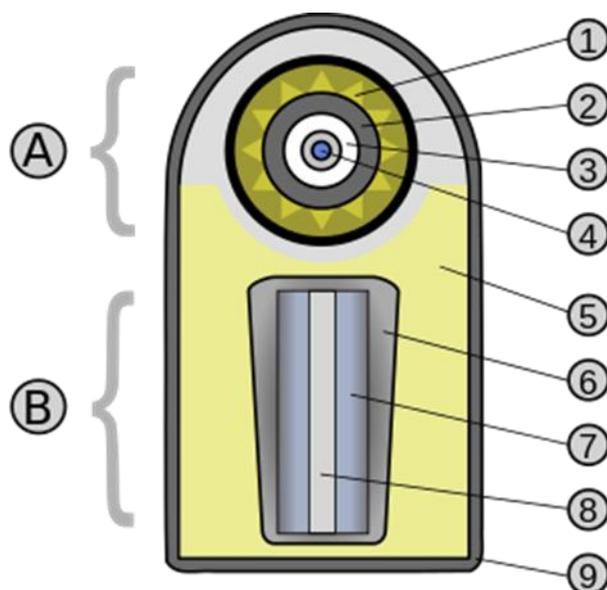


Рисунок 27 - Конструкция термоядерного боеприпаса образца 1950-х годов с цилиндрическим зарядом термоядерного синтеза (в современных конструкциях используются сферические вторичные ступени):

А- первичная ступень деления; В- вторичная ступень термоядерного синтеза; 1- линзы, фокусирующие ударную волну от взрыва химического ВВ; 2- уран-238 (тампер) покрытый слоем бериллиевого отражателя нейтронов; 3- вакуум вокруг подвешенного плутониевого ядра; 4- тритий внутри полого плутониевого или уранового ядра; 5- полость, заполненная полистироловой пеной; 6- урановый (обжимающий) тампер; 7- дейтерид лития-6 (термоядерное топливо); 8- плутониевый стержень зажигания; 9- корпус для отражения рентгеновского излучения

Двухфазные боеприпасы позволяют повысить мощность ядерных взрывов до десятков мегатонн. Однако ракеты с разделяющимися боеголовками, высокая точность современных средств доставки и спутниковая разведка сделали устройства мегатонного класса практически ненужными в подавляющем большинстве ситуаций. Тем более, что носители сверхмощных боеприпасов более уязвимы для систем ПРО и ПВО. (Правда в настоящее время проблема сравнительно высокой уязвимости средств доставки ядерных боеприпасов большой и сверхбольшой мощности уже практически решена разработчиками ракетного комплекса «Авангард», подводного аппарата «Посейдон», и крылатой ракеты «Буревестник».)

В двухфазном ядерном взрывном устройстве первая стадия физического процесса (**primary**) используется для запуска второй стадии (**secondary**), в ходе которой и выделяется наибольшая часть энергии. Такую схему принято называть конструкцией Теллера — Улама.

Энергия от детонации первичного заряда передаётся через специальный канал («*interstage*») в процессе радиационной диффузии квантов рентгеновского и гамма-излучения и обеспечивает детонацию вторичного заряда посредством радиационной импlosionи запального плутониевого или

уранового заряда. Последний также служит дополнительным источником энергии вместе с нейтронным отражателем из ^{235}U или ^{238}U , причём совместно они могут давать до 85% от общего энерговыхода ядерного взрыва. При этом термоядерный синтез служит в большей мере источником нейтронов для деления тяжёлых ядер, а под воздействием нейтронов деления на ядра лития в составе дейтерида лития образуется тритий, который сразу вступает в реакцию термоядерного синтеза с дейтерием.

В первом двухфазном экспериментальном устройстве Иви Майк (Ivy Mike) (10,5 Мт в испытании 1952 году) вместо дейтерида лития использовались сжиженная дейтерий-третиевая смесь, но в последующем крайне дорогой чистый тритий непосредственно в термоядерной реакции второй стадии не применялся. Только термоядерный синтез обеспечил 97% основного энерговыхода в экспериментальной советской «Царь-бомбе» (она же «Кузькина мать»), взорванной в 1961 году с абсолютно рекордным выходом энергии на уровне 58 Мт ТЭкв. Наиболее эффективным по отношению мощность/вес двухфазным боеприпасом считается американский Mark 41 с мощностью 25 Мт, который выпускался серийно для развёртывания на бомбардировщиках В-47, В-52 и в варианте моноблока для МБР Титан-2. Нейтронный отражатель этой бомбы был изготовлен из ^{238}U , поэтому она никогда не испытывалась в полном масштабе, во избежание масштабного радиационного загрязнения. При его замене на свинцовый мощность данного устройства снижалась до 3 Мт.

3.7 Ядерный клуб

«Ядерный клуб» - неофициальное название группы стран, обладающих ядерным оружием.

В неё входят США (с 1945), Россия (изначально Советский Союз: с 1949), Великобритания (1952), Франция (1960), КНР (1964), Индия (1974), Пакистан (1998) и КНДР (2006). Также имеющим ядерное оружие считается Израиль.

«Старые» ядерные державы США, Россия, Великобритания, Франция и Китай являются т. н. ядерной пятёркой - то есть государствами, которые считаются «легитимными» ядерными державами согласно Договору о нераспространении ядерного оружия. Остальные страны, обладающие ядерным оружием, называются «молодыми» ядерными державами.

Кроме того, на территории нескольких государств, которые являются членами НАТО и другими союзниками, находится или может находиться ядерное оружие США. Некоторые эксперты считают, что в определённых обстоятельствах эти страны могут им воспользоваться.



Рисунок 28 - Испытание термоядерной бомбы на атолле Бикини, 1954 г. Мощность взрыва 11 Мт, из которых 7 Мт выделилось от деления тампера из урана-238

США осуществили первый в истории ядерный взрыв мощностью 20 килотонн 16 июля 1945 года. 6 и 9 августа 1945 ядерные бомбы были сброшены, соответственно, на японские города Хиросима и Нагасаки. Первое в истории испытание термоядерного устройства было проведено 1 ноября 1952 года на атолле Эндиветок.

СССР испытал своё первое ядерное устройство мощностью 22 килотонны 29 августа 1949 года на Семипалатинском полигоне. Испытание первой в СССР термоядерной бомбы — там же 12 августа 1953 года. Россия стала единственным международно-признанным наследником ядерного арсенала Советского Союза.

Великобритания произвела первый надводный ядерный взрыв мощностью около 25 килотонн 3 октября 1952 года в районе островов Монте-Белло (северо-западнее Австралии). Термоядерное испытание — 15 мая 1957 года на острове Рождества в Полинезии.

Франция провела наземные испытания (фр.) рус. ядерного заряда мощностью 20 килотонн 13 февраля 1960 года в оазисе

Регган в Алжире. Термоядерное испытание - 24 августа 1968 года на атолле Муруроа.

Китай взорвал ядерную бомбу мощностью 20 килотонн 16 октября 1964 года в районе озера Лобнор. Там же была испытана термоядерная бомба 17 июня 1967 года.

Индия произвела первое испытание ядерного заряда мощностью 20 килотонн 18 мая 1974 года на полигоне Покхаран в штате Раджастхан, но официально не признала себя обладателем ядерного оружия. Это было сделано лишь после подземных испытаний пяти ядерных взрывных устройств, включая 32-килотонную термоядерную бомбу, которые прошли на полигоне Покхаран 11-13 мая 1998 года.

Пакистан провёл подземные испытания шести ядерных зарядов 28 и 30 мая 1998 года на полигоне Чагай-Хиллз в провинции Белуджистан в качестве симметричного ответа на индийские ядерные испытания 1974 и 1998 годов.

КНДР заявила о создании ядерного оружия в середине 2005 года и провела первое подземное испытание ядерной бомбы предположительной мощностью около 1 килотонны 9 октября 2006 года (по-видимому, взрыв с неполным энерговыделением) и второе мощностью примерно 12 килотонн 25 мая 2009 года. 12 февраля 2013 года была испытана бомба мощностью 6-7 килотонн. 6 января 2016 года испытана, по официальным сообщениям КНДР, термоядерная бомба. 3 сентября 2017 года проведены испытания, как заявлено, заряда для МБР, зарегистрированная мощность взрыва составила около 100 килотонн.

Израиль не комментирует информацию о наличии у него ядерного оружия, однако, по единодушному мнению всех экспертов, владеет ядерными боезарядами собственной разработки с конца 1960-х — начала 1970-х гг.

Небольшой ядерный арсенал был у ЮАР, но все шесть собранных ядерных зарядов были добровольно уничтожены при демонтаже режима апартеида в начале 1990-х годов. Полагают, что ЮАР проводила собственные или совместно с Израилем ядерные испытания в районе острова Буве в 1979 году. ЮАР — единственная страна, которая самостоятельно разработала ядерное оружие и добровольно от него отказалась.

Украина, Белоруссия и Казахстан, на территории которых находилась часть ядерного вооружения СССР, после подписания в 1992 году Лиссабонского протокола были объявлены странами, не имеющими ядерного оружия, и в 1994—1996 годах передали все ядерные боеприпасы Российской Федерации.

По различным причинам добровольно отказались от своих ядерных программ Швеция, Бразилия, Аргентина, Испания, Италия, Ливия (на разных стадиях; ни одна из этих программ не была доведена до конца). Недобровольно (военной силой со стороны Израиля) была прекращена ядерная программа Ирака. В разные годы подозревалось, что ядерное оружие могут разрабатывать ещё несколько стран. В настоящее время предполагается, что наиболее близок к созданию собственного

ядерного оружия Иран (однако ядерного оружия у него до сих пор нет). Также по мнению многих специалистов, некоторые страны (например, Япония и Германия), не обладающие ядерным оружием, по своим научно-производственным возможностям способны создать его в течение короткого времени после принятия политического решения и финансирования. У Японии есть значительные запасы оружейного плутония. Исторически потенциальную возможность создать ядерное оружие второй или даже первой имела нацистская Германия. Однако Урановый проект до разгрома нацистской Германии по ряду причин завершён не был.

3.8 Принцип нераспространения

Физические принципы построения ядерного оружия общедоступны. Также не являются секретом общие принципы конструирования различных типов зарядов. Однако конкретные технологические решения повышения эффективности зарядов, конструкция боеприпасов, методы получения материалов с требуемыми свойствами чаще всего публично недоступны. Основой принципа нераспространения ядерного оружия является трудоёмкость и затратность разработки, проистекающая из масштабности научных и промышленных задач: приобретение делящихся материалов; разработка, постройка и эксплуатация заводов по обогащению урана и реакторов для наработки оружейного плутония; испытания зарядов; масштабная подготовка учёных и специалистов; разработка и постройка средств доставки боеприпасов и т. п. Скрыть такие работы, ведущиеся на протяжении значительного времени, практически невозможно. Поэтому страны, обладающие ядерными технологиями, договорились о запрете бесконтрольного распространения материалов и оборудования для создания оружия, компонентов оружия и самого оружия. Учитывая, что подлетное время позволяет засечь время старта ракет (наземных и подводных) и запустить собственные в ответ, теория первого безнаказанного удара отошла к нереальным стратегиям. Любой ядерный конфликт может закончиться полноценной войной. По прогнозам экспертов, подрыв нескольких тысяч боеголовок уничтожит человечество. Теория «ядерного сдерживания» пока работает. Но было уже немало кризисных ситуаций, в которых атомная война могла начаться случайно, вплоть до сбоя радиолокационных станций. Разборка устаревших атомных зарядов не менее опасна, чем сборка. Так, в одном из цехов Заречного при разборке списанных боеприпасов произошло самовозгорание урана (2003 г.). От горения уран не взрывается, но крупный пожар может привести в действие взрыватели исправных боеголовок на утилизационных складах.

Здравомыслящие политики, ученые, военные эксперты понимают, что ракеты с ядерными боеголовками потеряли свое значение, как оружие «первого удара». Но заявления о возможности применения ядерного оружия

по-прежнему звучат от лидеров авторитарных государств, таких как КНДР. Опасность «ядерной зимы» продолжает угрожать миру.

В рамках принципа нераспространения был принят договор о запрещении испытаний ядерного оружия.

С целью ограничения наращивания вооружений, уменьшения угрозы случайного их применения и поддержания ядерного паритета СССР и США выработали ряд соглашений, оформленных в виде договоров:

- Договоры об ограничении стратегических вооружений в 1972 и 1979 годах (ОСВ-I и ОСВ-II).
- Договор об ограничении систем противоракетной обороны (1972).
- Договор о ликвидации ракет средней и меньшей дальности (1987).
- Ряд договоров об ограничении стратегических наступательных вооружений (СНВ-I (1991) и Лиссабонский протокол к нему (1992), СНВ-II (1993), СНП (2002) и СНВ-III (2010)).

4 Основные принципы защиты от поражающих факторов ядерного взрыва

1) Защитой от ударной волны могут служить углубления на местности, убежища, подвальные и иные прочные сооружения;

2) От прямого действия светового излучения может защитить любая преграда, способная создать тень. Ослабляет его запыленный (задымленный) воздух, туман, дождь, снегопад;

3) От воздействия проникающей радиации практически полностью защищают человека убежища и противорадиационные укрытия, а открытые и особенно перекрытые щели уменьшают это воздействие. В два раза ослабляют интенсивность гамма – лучей сталь толщиной 2,8 см, бетон – 10 см, грунт – 14 см, древесина – 30 см;

4) Очень важно первое время после ядерного взрыва, особенно первые сутки, пересидеть в убежищах, противорадиационных укрытиях или в подвалах.

Список литературы

1. Давыдов, В. Ф. Нераспространение ядерного оружия и политика США / В.Ф. Давыдов. - М.: Наука, 2012. - 280 с.
2. Давыдов, Валерий Журналисты и ядерное оружие / Валерий Давыдов. - Москва: Высшая школа, 2013. - 192 с.
3. Действие ядерного оружия. - М.: Воениздат, 2001. - 680 с.
4. Детлаф, А.А. Курс физики (том 3). Волновые процессы. Оптика. Атомная и ядерная физика / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. - М.: [не указано], 2012. - 726с.
5. Есин, Е. Невидимое оружие / Е. Есин. - М.: Нижегородское книжное издательство, 2002. - 320 с.
6. Кованов, П. И слово - оружие / П. Кованов. - М.: Советская Россия; Издание 2-е, доп., 2008. - 208 с.
7. Козырев Необычное оружие Третьего рейха / Козырев, Козырев Михаил; , Вячеслав. - М.: Центрполиграф, 2007. - 480 с.
8. Лавриков, Г.П. Оружие без оружия / Г.П. Лавриков. - М.: Самара: Г.П. Лавриков, 2004. - 176 с.
9. Линдер, И.Б. Останови оружие / И.Б. Линдер, И.В. Оранский. - М.: Просвещение, 2005. - 118 с.
10. Максимов, М.Т. Нейтронное оружие и защита от него / М.Т. Максимов. - М.: ДОСААФ, 2017. - 133 с.
11. Меч России. Оружие ракетно-ядерного удара. - М.: Манускрипт, 2010. - 496 с.
12. Млечин, Леонид Михайлович В поисках утраченного величия. Иран, ядерное оружие и Ближний Восток / Млечин Леонид Михайлович. - М.: БХВ-Петербург, 2014. - 869 с.
13. Мураховский, В.И. Оружие пехоты / В.И. Мураховский, С.Л. Федосеев. - М.: Арсенал-Пресс, 2009. - 391 с.
14. Рассел, Джесси Договор о нераспространении ядерного оружия: моногр. / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2012. - 779 с.
15. Руденко, Ф.А. Оружие и боеприпасы / Ф.А. Руденко. - М.: АСТ, 2003. - 255 с.
16. Сивухин, Д.В. Общий курс физики (том 5, часть 2). Ядерная физика / Д.В. Сивухин. - М.: [не указано], 2009. - 749 с.
17. Тедеев, Д.Ю. Айкидо и оружие / Д.Ю. Тедеев. - М.: Харвест, 2006. - 752 с.
18. Тетсутака Айкидо и китайские боевые искусства. Том 2. Айкидо и тренировки с оружием / Тетсутака и др.-М.: Ростов н/Д: Феникс, 2000.- 416 с.
19. Трухановский, В. Г. Английское ядерное оружие (историко-политический аспект) / В.Г. Трухановский. - М.: Международные отношения, 2009. - 228 с.
20. Фуллер, Джон Фредерик Чарльз Оружие в истории. От пращи до ядерной бомбы / Чарльз Фуллер Джон Фредерик. - М.: Центрполиграф, 2012. - 954 с.