

Ф. Р Э Н



Атомная
ПРОБЛЕМА

И * Л

*Издательство
иностранной
литературы*

PHILIPPE REINE

LE PROBLÈME ATOMIQUE

Paris

1956

Ф. РЭН

Атомная
ПРОБЛЕМА

Перевод с французского

А. Г. БУБНОВСКОГО

*

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва, 1958

АННОТАЦИЯ

В брошюре профессора французской Национальной школы гражданской обороны Ф. Рэна в популярной форме рассматриваются вопросы военного и мирного применения атомной энергии. Автор рассказывает об устройстве ядерного оружия, его поражающих факторах и достижениях различных стран в этой области, а также приводит интересные данные о мировых энергетических потребностях, использовании радиоизотопов и т. д. Особый раздел брошюры посвящен состоянию атомной промышленности во Франции.

Русское издание брошюры рассчитано на широкий круг читателей.

Редакция литературы по военным вопросам
Начальник — И. Г. ФРОЛОВ.

ОТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

Брошюра «Атомная проблема», вышедшая в 1956 году во Франции, написана профессором Национальной школы гражданской обороны Ф. Рэном в качестве учебного пособия для слушателей школы. Она состоит из двух частей: первая часть посвящена вопросам использования ядерной энергии для военных целей, а во второй разбираются различные аспекты мирного применения этой энергии и экономические и социальные последствия ее открытия.

В первой части брошюры автор приводит некоторые элементарные сведения из ядерной физики, рассказывает об устройстве ядерного оружия и его поражающих факторах, а также касается вопросов противоатомной защиты. Поскольку во Франции испытания атомного оружия не производились, для написания этой главы были использованы, по-видимому, открытые материалы, опубликованные в иностранной, и прежде всего в американской, печати. Следует отметить, что автор, не являясь специалистом-атомником, подчас излагает материал без должной научной строгости. Так, он пишет, что «механическое действие взрыва, или действие ударной волны, пропорционально корню кубическому из мощности бомбы», хотя следовало бы говорить о том, что расстояния, на которых отмечается одно и то же избыточное давление во фронте ударной волны, относятся как корни кубические из тротиловых эквивалентов атомных зарядов. Вряд ли можно согласиться и с таким утверждением автора, что «бомбы мощностью в 2000—3000 номинальных бомб представляют собой предел, так как ударная волна может в конце концов стать своеобразным препятствием, каким является забойка в шпуре, и основное действие взрыва будет

проявляться только в верхних, более разреженных слоях атмосферы».

Раздел, где освещаются достижения различных стран в области ядерного оружия, изложен в брошюре необъективно и тенденциозно. Ф. Рэн черпает сведения об СССР из реакционной буржуазной прессы, и не удивительно, что целый ряд его заявлений не имеет ничего общего с действительностью (к ним относятся, например, заявления о месте и результатах испытаний Советским Союзом ядерного оружия, о последствиях этих испытаний для Японии и др.). Особо следует отметить такой факт: с целью доказать отставание СССР от США в области ядерного оружия Ф. Рэн пишет, что США будто бы взорвали водородную бомбу 1 ноября 1952 года, а СССР — только в августе 1953 года. Но ведь каждому ясно, что взорванное американцами опытное устройство, представляющее собой куб с ребром 6—7 м и весом 65 т, нельзя назвать бомбой. Следовательно, скорее можно говорить об опережении Советским Союзом США, чем о его отставании. А последующие события — такие, как пуск первой в мире атомной электростанции, успешное испытание межконтинентальной баллистической ракеты, запуск двух искусственных спутников земли и спуск на воду атомного ледокола, — наглядно доказали несостоятельность мнения о научно-техническом отставании СССР.

Во второй части брошюры, как уже говорилось, рассматриваются преимущественно социально-экономические вопросы, связанные с мирным использованием атомной энергии. Здесь содержатся интересные сведения об энергетических потребностях и расходе энергии в масштабе Франции и всего мира, о росте народонаселения и т. д. Однако автор излагает все эти вопросы с неомальтузианской точки зрения. По его мнению, рост населения земного шара неизбежно ведет к обнищанию, голоду и периодическим войнам с массовым уничтожением людей. При этом он умышленно не отделяет социалистические страны от капиталистических, так как это сразу опровергло бы его взгляды: известно, что в странах социализма рост производства идет быстрее, чем рост народонаселения, и жизненный уровень населения неуклонно повышается. Таким образом, изменения социального строя общества как самого верного пути к улучшению условий жизни

народов капиталистических стран Рэн не видит. Он говорит лишь о том, что атомная энергия будет способствовать повышению экономического потенциала не только развитых, но и отсталых стран и содействовать процветанию народов, но это заявление тонет в общем потоке мальтузианских идей.

Специальный раздел брошюры посвящен энергоресурсам Франции и состоянию французской атомной промышленности. Из приведенных здесь материалов складывается впечатление о сильном техническом отставании этой страны в области атомной энергии и ее полной зависимости от иностранного капитала. Однако небезынтересно отметить, что, по сообщениям иностранной печати (например, итальянской газеты «Пополо» от 8 ноября 1957 года), Франция, желая поддержать свой престиж, подорванный событиями в Тунисе, Марокко и Алжире, готовится произвести испытания ядерного оружия.

Автор, безусловно, отлично понимает, какими бедствиями грозит человечеству атомная война. Тем не менее он не решается поставить вопрос о запрещении ядерного оружия как средства массового уничтожения людей — вместо этого он пишет о необходимости пересмотра взглядов на формы и способы ведения войны с учетом новых условий и требует усиления обороны.

В этой связи нельзя не отметить, что в своей брошюре Ф. Рэн попросту обходит проблемы борьбы за мир и за запрещение ядерного оружия и ничего не говорит об усилиях СССР в этой области.

Советский Союз всегда стоял на позициях мира, последовательно выступал за запрещение ядерного оружия, сокращение вооруженных сил и разрядку международной напряженности и делами подкреплял свои мирные предложения. Так, 31 марта 1958 года Верховный Совет СССР принял решение об одностороннем прекращении испытаний ядерного оружия. Этот высокогуманный акт по достоинству оценен всем прогрессивным человечеством.

Но поскольку капиталистические страны продолжают гонку вооружений и ведут подготовку к войне, мы вынуждены крепить оборону нашей Родины. Надо согласиться с автором, что население должно знать, какой опасности оно подвергается при атомном взрыве, и уметь защититься от его поражающих факторов.

Несмотря на указанные недостатки брошюры, издательство считает, что советскому читателю будет полезно ознакомиться с этой работой, содержащей целый ряд интересных сведений. Она поможет получить некоторое представление о существующих на Западе взглядах на проблемы, возникшие в связи с открытием атомной энергии, а также на перспективы ее использования. Безусловно, к высказываниям автора, особенно по социально-экономическим и политическим вопросам, следует относиться в высшей степени критически.

ЯДЕРНЫЕ БОМБЫ

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В этой главе мы напомним некоторые элементарные сведения о строении вещества, необходимые для понимания принципа действия ядерных бомб.

I. Химические элементы

1. Количество элементов. Периодическая система элементов Менделеева.

В отличие от химических соединений, которых в природе существует очень много (3,5 тыс. соединений из общего количества 300 тыс., известных нам на сегодняшний день), количество простых веществ, или элементов, в природе ограничено. Последние принято классифицировать по их атомному весу, который при обозначении элемента стоит обычно рядом с его символом. Наиболее известной классификацией элементов является периодическая система элементов Менделеева, где за основу принят кислород, обозначаемый латинской буквой O, с атомным весом 16. Атом кислорода по этой системе обозначается O₁₆. В таблице Менделеева в клетке № 1 стоит самый легкий элемент — водород, а в клетке № 92 — уран.

В 1869 году, когда Менделеев предложил свою классификацию, было известно всего 63 элемента. Менделеев утверждал, что большинство принятых в то время атомных весов были неверными и что всего в природе должно существовать 92 элемента. И действительно, в 1871 году Лекок де Буабодран открыл галлий (№ 31), в 1879 году Нильсон выделил скандий (№ 21), а в 1887 году

Винклер открыл германий (№ 32). В дальнейшем открытие новых элементов пошло более быстрыми темпами, и в 1939 году все пустые клетки таблицы Менделеева были заполнены, за исключением клеток под номерами 41, 63, 85 и 87.

К началу 1956 года был известен 101 элемент. Элемент № 100 — фермий — впервые был получен искусственным путем в конце 1953 года, а в конце 1954 года ученым удалось обнаружить 17 атомов 101-го элемента периодической системы Менделеева. В настоящее время говорят уже о существовании 108 элементов, причем элементы от № 102 до № 105 являются довольно устойчивыми, и их можно обнаружить обычным химическим путем, а три последних элемента неустойчивы, и для их исследования приходится прибегать к помощи ядерной химии.

В каждой клетке периодической системы Менделеева могут стоять несколько разновидностей одного и того же элемента, называемых изотопами. Так, в клетке № 1, кроме обычного (легкого) водорода, можно обнаружить еще два его изотопа: дейтерий и тритий, а в клетке № 92 находятся 11 изотопов урана.

2. Обозначение элементов. Число Авогадро.

Каждый элемент обозначается определенным символом, например, кислород — О, водород — Н, уран — U. У этого символа в виде индексов указываются:

а) атомный номер, обозначаемый буквой Z. Атомный номер соответствует номеру клетки, которую занимает данный элемент в таблице Менделеева. Например, водород имеет атомный номер 1, гелий — 2, литий — 3, кислород — 8, уран — 92, плутоний — 94;

б) массовое число A, представляющее собой округленный до целых единиц атомный вес того или иного элемента. Так, массовое число водорода будет равно 1, а урана — 238.

Поэтому в ядерной физике каждый элемент обозначается следующим образом: ${}_Z X^A$.

В ядерной физике встречается также понятие грамм-атома. Грамм-атом какого-либо элемента — это число граммов этого элемента, соответствующее его атомному весу. Таким образом, 1 грамм-атом водорода равен 1,008 г, а 1 грамм-атом урана — 238,07 г. Необходимо

отметить, что в грамм-атоме любого элемента содержится всегда одно и то же количество атомов. Это количество, называемое числом Авогадро, равно примерно $6 \cdot 10^{23}$ (то есть 6 с 23 нулями).

Теперь необходимо хотя бы коротко остановиться на строении атома.

II. Строение атома

Каждое химическое вещество состоит из однородных частиц, называемых молекулами. Если разложить молекулу на более элементарные составные части, мы получим атомы.

Атом принято схематически изображать в виде ядра с вращающимися вокруг него электронами. Ядро состоит из двух видов элементарных частиц (нуклонов): протонов, несущих положительный электрический заряд, и нейтронов, не имеющих никакого электрического заряда. Вокруг ядра вращается целый рой отрицательно заряженных электронов, расположенных в несколько слоев.

1. Атомный номер Z и массовое число A .

Количество протонов, содержащихся в ядре того или иного элемента, равно атомному номеру Z этого элемента. Например, в ядре водорода и его изотопов содержится всего один протон, а в ядре урана — 92 протона. Поэтому водород имеет атомный номер 1, а уран — 92.

Атом электрически нейтрален. Поскольку величина электрического заряда протона равна величине заряда электрона, который называется элементарным зарядом, можно сделать вывод, что число протонов в ядре равно числу электронов, вращающихся вокруг ядра. Следовательно, атомный номер элемента дает возможность судить как о количестве протонов, так и о количестве электронов, содержащихся в атоме этого элемента.

Массовое число A соответствует количеству нуклонов или общему числу протонов и нейтронов в ядре того или иного элемента.

В ядре легкого водорода содержится всего один протон, вокруг которого вращается один электрон. В ядре дейтерия, кроме протона, имеется 1 нейтрон, что в сумме составляет 2 частицы, а в ядре трития — 2 нейтрона, то есть всего 3 частицы. Поэтому мы обозначаем эти

изотопы так: легкий водород — ${}_1\text{H}^1$, дейтерий — ${}_1\text{H}^2$, тритий — ${}_1\text{H}^3$.

Из 11 изотопов урана 3 изотопа (с атомным весом 234, 235 и 238) являются естественными.

Содержание урана 235 в природном уране составляет $1/140$, а урана 238 — $139/140$. Это означает, что на каждые 140 ядер природного урана приходится всего одно ядро урана 235, а остальную массу его составляет уран 238. Что касается урана 234, то в природном уране можно обнаружить лишь его следы.

В ядре урана 235 насчитывается 235 нуклонов. Поскольку число протонов в ядре урана равно 92, простым вычитанием можно определить количество нейтронов, которое в ядре урана 235 будет равно 143. Уран 238 отличается от урана 235 тем, что в его ядре на 3 нейтрона больше. Эти 3 естественных изотопа урана можно обозначить следующим образом: ${}_{92}\text{U}^{234}$, ${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{92}\text{U}^{238}$.

Плутоний, который в таблице Менделеева стоит в 94-й клетке, имеет массовое число 239. Это означает, что ядро плутония содержит 94 протона и 145 нейтронов.

Следовательно, количество нейтронов любого элемента равно разности $A - Z$.

Число нейтронов в ядрах легких элементов, как правило, примерно равно числу протонов. Что касается тяжелых элементов, то в их ядрах нейтронов больше, чем протонов.

2. Размеры атома и ядра.

Радиус атома выражается числом порядка 10^{-8} см, что соответствует десяти тысячным микрона (микрон равен тысячной доле миллиметра), радиус ядра равен примерно 10^{-13} см, или одной миллиардной доле микрона. Иными словами, атом в 100 тыс. раз больше его ядра. Из этих цифр можно сделать вывод, что между ядром и электронной оболочкой ничего нет — «вещество заполнено пустотой»¹.

Необходимо сделать еще одно важное замечание: почти вся масса атома сосредоточена в ядре. Чтобы проиллюстрировать необычайную плотность ядра, скажем, что 1 см^3 ядер урана весит более 100 млн. т!

¹ Положительно заряженное ядро и электроны связаны между собой силами электрического притяжения. — *Прим. ред.*

Конечно, представить себе такую громадную плотность очень трудно.

3. Сложное строение атома.

Схема атома, которую мы дали выше, очень упрощена. На самом же деле, кроме тех частиц, о которых мы уже говорили, существуют еще положительно заряженные электроны, называемые позитронами, а также отрицательно заряженные протоны, или антипротоны. Сейчас ученые говорят даже об антинейтронах. Действительно, в некоторых случаях протоны передают свой заряд нейтронам. Следовательно, эти две частицы могут в определенных условиях превращаться из одной в другую. Кроме того, они связаны между собой особыми силами, носящими название ядерных сил, природа которых мало изучена. Не подлежит сомнению, что все эти понятия со временем будут уточнены и, может быть, ученым удастся обнаружить новые частицы, более элементарные, чем известные нам сегодня.

Все так называемые «классические» свойства элементов (химические, электрические, магнитные) обуславливаются числом электронов и структурой электронной оболочки. Лишь явления радиоактивности и превращения элементов связаны с изменениями внутри ядра. Электроны должны рассматриваться одновременно и как материальные частицы, и как волны; эта их двойственная природа легла в основу квантовой механики, принципы которой были сформулированы в 1924 году Луи де Бройлем.

III. Закон взаимосвязи массы и энергии

1. Формула Эйнштейна.

Мы знаем, что существует закон сохранения массы: «Ничто в природе не пропадает бесследно и не создается из ничего, все превращается». С другой стороны, известно, что есть закон сохранения энергии. Энергия проявляется в различных формах, причем тепловая энергия является самой последней из них. Это было доказано Джоулем еще лет сто тому назад.

В 1905 году Эйнштейн, который в то время служил в Федеральном бюро патентов в Берне, опубликовал три статьи, имевшие огромное значение не только для развития физики, но и для всей современной науки. Рассматри-

вая в одной из своих статей специальную теорию относительности, Эйнштейн доказал эквивалентность массы и энергии. Масса и энергия, по Эйнштейну, являются выражением одной и той же сущности, и это дает основание говорить, что энергия = массе.

Но, чтобы получить действительное равенство, необходимо ввести поправочный коэффициент, а именно квадрат скорости света, обозначаемой буквой c . Тогда формула Эйнштейна примет следующий вид: $E = m \cdot c^2$, где m — масса покоя. Эта формула, кстати, близка формуле кинетической энергии $E = m \cdot v^2$ (c примерно постоянным коэффициентом).

2. Объяснение формулы Эйнштейна.

При пользовании формулой Эйнштейна необходимо особенно внимательно следить за правильностью единиц измерения. В системе CGS, где длина выражается в сантиметрах, масса — в граммах, а время — в секундах, E измеряется в эргах, иногда в джоулях (1 дж == 10^7 эрг), m — в граммах, а c — в сантиметрах в секунду. Тогда получится, что $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек, а $c^2 = 9 \cdot 10^{20}$, или $c^2 \approx 10^{21}$.

Следовательно, в системе единиц CGS формула Эйнштейна принимает следующий вид: $E = 10^{21} \cdot m$. Необходимо особо подчеркнуть громадную абсолютную величину коэффициента 10^{21} .

Закон сохранения массы остается действительным и в том случае, если мы имеем дело не только с одной массой, а с массой и энергией в их совокупности. Можно сказать, что вся энергия ядра соответствует его массе, а высвобождение ядерной энергии, которое в основном происходит в виде излучений, выражается разностью массы.

а) Следовательно, для того чтобы «получить» некоторое количество энергии, нужно «затратить» какое-то количество массы. Иначе говоря, необходимо, чтобы реакция сопровождалась «дефектом» (убылью) массы.

Учитывая громадную абсолютную величину коэффициента c^2 , нетрудно видеть, что при незначительном дефекте массы достигается получение большого количества энергии.

Возьмем для примера Солнце. Ежесекундно на Солнце 570 млн. t водорода превращаются в 566 млн. t гелия. Следовательно, это превращение происходит с дефектом

массы в 4 млн. т, которые выделяются в виде энергии и являются «горючим» Солнца. Такой дефект массы по нашим понятиям является огромным, но, принимая во внимание то обстоятельство, что масса Солнца равна $2 \cdot 10^{27}$ т, можно сделать вывод, что запасов солнечного «горючего» хватит на несколько миллиардов лет.

б) Если дефект массы сопровождается выделением энергии, то и наоборот, расходуя энергию в какой-либо форме, можно увеличивать массу и, следовательно, создавать искусственным путем вещество. Однако для получения незначительного количества вещества потребуется огромное количество энергии.

В ядерной физике энергия измеряется в электроновольтах (*эв*). Энергия в 1 *эв* соответствует кинетической энергии частицы, обладающей одним элементарным зарядом и проходящей в электрическом поле разность потенциалов в 1 в. Эта энергия очень мала: 600 млрд. *эв* составляют 1 *эрг*. Для получения искусственным путем пары электронов нужно затратить энергию в 1 *Мэв* (1 млн. *эв*); такой опыт был проделан в 1933 году. Как было установлено в 1948 году, для получения пары мезонов (частиц, обнаруженных в космических излучениях) необходима энергия в 400 *Мэв*, а для получения пары протон — антипротон нужна энергия в 2000 *Мэв*.

Такие огромные энергии могут быть получены лишь на мощных ускорителях частиц. Берклейский ускоритель в США позволяет получать частицы с энергией в 6000 *Мэв*. На нем в конце 1955 года впервые был получен антипротон. Установки, где получают такие громадные энергии, называются беватронами (1 *бэв* = 10^9 *эв*), или космотронами, так как они позволяют получать энергии, которые до сих пор наблюдались лишь в космических излучениях.

Глава II

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЯДЕРНЫХ БОМБ

Напомнив некоторые общие сведения из области ядерной физики, мы можем перейти к изложению принципа действия ядерных бомб.

Все ядерные бомбы делятся на две большие группы: бомбы, основанные на реакции деления, называемые иногда «малыми бомбами», и бомбы, основанные на реакции синтеза, или термоядерные бомбы, называемые иногда «большими бомбами».

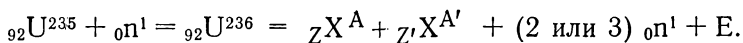
Действие как «малых», так и «больших» бомб основано на законе взаимосвязи массы и энергии. Хотя исходным материалом для обеих групп служат различные вещества, при взрыве и тех и других бомб происходят реакции, характеризующиеся значительным дефектом массы.

I. Бомбы, основанные на делении ядер

1. Сущность явления.

В бомбах, основанных на делении ядер, исходным материалом служат тяжелые элементы: уран 235 или плутоний 239.

Ядра этих элементов в определенных условиях могут делиться или расщепляться под действием различных частиц, преимущественно нейтронов, поскольку, будучи электрически нейтральными, нейтроны не испытывают на себе воздействия сил отталкивания протонов ядра. Эту реакцию можно записать так:



Образовавшееся ядро урана 236 моментально расщеп-

ляется на два осколка с примерно равными массами. При этом происходят:

а) образование продуктов распада ${}_Z\text{X}^A + {}_{Z'}\text{X}^{A'}$. Про-

дуктами распада могут быть самые различные элементы — от цинка ($Z=30$) до европия ($Z=63$).

Так как $Z+Z'=92$, то может образоваться пара: барий ($Z=56$) и криптон ($Z'=36$). Каждый из этих двух продуктов распада в свою очередь распадается на три или четыре радиоактивных элемента, которые в конечном счете превращаются в устойчивые элементы;

б) испускание нейтронов. При делении ядра тяжелого элемента образуется в среднем 2—3 свободных нейтрона, которые не участвуют в образовании новых элементов, находящихся в средней части таблицы Менделеева. Эти нейтроны в свою очередь вызывают деление других ядер, и начинается цепная реакция при условии, что потеря нейтронов в результате их поглощения ядрами или вылета в атмосферу будет минимальной. Очень большая потеря нейтронов происходит, например, в уране 238, ядра которого делятся только в результате их бомбардировки «быстрыми» нейтронами, тогда как для деления урана 235 достаточно «медленных» нейтронов;

в) высвобождение огромного количества энергии порядка 200 Мэв на деление ядра. Это высвобождение энергии происходит за счет дефекта массы, который в реакциях деления составляет 0,1% всей участвовавшей в реакции массы.

Для того чтобы цепная реакция приняла характер взрыва, необходимо наличие определенного количества массы расщепляющихся материалов, называемой критической массой. Размеры критической массы должны превышать расстояние, называемое в физике средним свободным пробегом нейтронов, так как в противном случае нейтроны могут вылетать за пределы массы, не производя деления новых ядер, и в этих условиях цепная реакция начаться не может. Для урана 235 критическая масса соответствует примерно 20 кг, для плутония — всего 5—6 кг. Впрочем, размеры критической массы можно значительно сократить, используя так называемые отражатели нейтронов, не допускающие вылета нейтронов за пределы этой массы.

2. Самопроизвольное деление.

Реакция деления ядер не вызывается искусственным путем, а начинается самопроизвольно. Поэтому совершенно безразлично, откуда берется первый нейтрон, возбуждающий реакцию. Ядра рассматриваемых нами тяжелых элементов обладают определенной способностью к самопроизвольному делению. Учитывая то обстоятельство, что количество атомов в 1 г вещества чрезвычайно велико (в 238,07 г урана содержится $6 \cdot 10^{23}$ атомов), можно с уверенностью сказать, что всегда найдется достаточное количество свободных нейтронов для возбуждения реакции. Поэтому для того, чтобы произошел взрыв, необходимо лишь наличие критической массы. Исходя из вышесказанного, устройство атомной бомбы можно представить себе по следующим двум схемам:

а) в нужный момент на заданной высоте происходит соединение двух масс делящегося вещества, каждая из которых меньше критической;

б) внутри критической массы помещается поглотитель нейтронов, мешающий последним возбудить реакцию. Взрыв вызывается внезапным удалением поглотителя. В качестве поглотителя в таких бомбах может использоваться металл, из которого изготавливаются аварийные стержни в ядерных реакторах.

II. Бомбы, основанные на реакции синтеза, или термоядерные бомбы

1. Трудности осуществления термоядерных реакций.

В бомбах, основанных на делении ядер, исходным материалом служит тяжелый элемент, ядра которого расщепляются под действием нейтронов. В бомбах, основанных на реакции синтеза, исходным материалом являются легкие элементы — водород или его изотопы дейтерий и тритий, ядра которых в ходе реакции соединяются или синтезируются. Однако здесь возникает одна трудность: при соединении двух протонов, то есть двух положительно заряженных частиц, необходимо преодолеть громадные силы взаимного отталкивания.

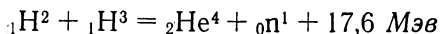
Принцип деления ядер известен с 1939 года. Деление ядер урана 235, которое наблюдали еще Жан Перрен и супруги Жолио-Кюри, было впервые окончательно объяснено накануне второй мировой войны немецкими уче-

ными Ганом и Штрассманом. Принцип синтеза элементов был открыт в 1936 году австрийцем Бете и французом Рокаром, однако в то время ученые еще не знали, как преодолеть силы взаимного отталкивания, ибо для этого необходимо сообщить частицам громадную кинетическую энергию. Этого можно добиться путем создания очень высоких температур, измеряемых сотнями тысяч градусов. Максимальные температуры, которые можно получить в промышленных условиях, не превышают 3500—4000°, а в момент взрыва атомной бомбы в центре огненного шара возникают температуры порядка сотен миллионов градусов. Следовательно, для того чтобы бомба, основанная на реакции синтеза, подействовала, ее нужно снабдить специальным детонатором в виде атомной бомбы, которая обеспечит особые термические условия, необходимые для протекания процесса синтеза. Поэтому такие бомбы называются термоядерными.

Следует отметить, что высокие температуры порядка 300—500 тыс. градусов, требующиеся для соединения ядер легких элементов, можно получить и другими способами, например путем применения кумулятивных зарядов (этот способ, по-видимому, применяется русскими), посредством разряда в редких газах или при помощи устройства, использующего силу ударной волны (этот способ рекомендуют англичане).

2. Объяснение явления.

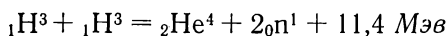
В первых термоядерных бомбах в качестве ядерного взрывчатого вещества применялись изотопы водорода. Поэтому такие бомбы были названы водородными, и это название сохранилось за ними до настоящего времени. Существует несколько возможных реакций синтеза, однако при выборе той или иной из них необходимо учитывать не только температурные условия, но и продолжительность реакции. В термоядерных бомбах, по-видимому, наиболее эффективными являются реакции, основанные на соединении между собой ядер дейтерия или ядер трития. Они могут быть записаны следующим образом: при $t = 300\ 000^\circ$



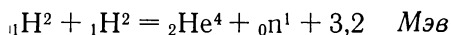
дейтерий + тритий = гелий + нейтрон

(продолжительность реакции — $12 \cdot 10^{-7}$ сек.);

при $t = 500\,000^\circ$



тритий + тритий = гелий + нейтроны
(продолжительность реакции не определена);



дейтерий + дейтерий = гелий + нейтрон
(продолжительность реакции — $3 \cdot 10^{-5}$ сек.).

Дефект массы в термоядерных реакциях равен примерно 0,7%.

Глава III

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ПЕРВЫХ АТОМНЫХ БОМБ

Две первые ядерные бомбы, основанные на делении ядер, были сброшены в конце второй мировой войны на японские города Хиросиму (6 августа 1945 года) и Нагасаки (три дня спустя).

I. Жертвы и разрушения

В результате взрыва бомбы над Хиросимой из 240 тыс. жителей города 70 тыс. погибло и 70 тыс. было ранено, что в общей сложности составляло около 60% населения. Что касается материального ущерба, то из имевшихся в городе 90 тыс. зданий 60 тыс., или примерно 66%, были приведены в негодное состояние. Площадь зоны разрушений составила 12 км² (площадь города была равна 25 км²).

Вторая атомная бомба, сброшенная на Нагасаки 9 августа 1945 года, причинила не такой большой ущерб, что объясняется, с одной стороны, особенностями рельефа (в отличие от Хиросимы, которая лежит на равнине, город Нагасаки расположен на холмах), а с другой — временем бомбардировки (в Хиросиме атомная бомба взорвалась в 8 час. утра, когда большинство жителей находилось на улицах, направляясь к месту работы, в то время как в Нагасаки атомный взрыв произошел в 11 часов, и часть населения, заблаговременно оповещенная сигналом тревоги, успела укрыться в убежищах).

По официальным данным, в Нагасаки из общего числа жителей 265 тыс. человек было убито 35 тыс. и ранено 45 тыс., то есть пострадало 20% населения. Было разрушено 20 тыс. зданий из 57 тыс., или более третьей части города.

Однако как бы огромны ни были эти цифры, они не являются рекордными в области разрушений.

Так, например, в результате ночного воздушного налета на Токио 7 марта 1945 года, в котором участвовало 280 американских самолетов, сбросивших 1670 т фугасных и зажигательных бомб, погибло около 80 тыс. человек, около 100 тыс. человек было ранено и все жилые постройки на площади 40 км² оказались совершенно уничтоженными.

Для правильной оценки ущерба, причиненного атомными бомбами в Хиросиме и Нагасаки, следует, пожалуй, сравнить вышеприведенные цифры с потерями гражданского населения во второй мировой войне 1939—1945 годов. Эти потери составили: во Франции — 60 тыс. человек, в Англии — примерно столько же, в Германии — 500 тыс. человек. Из сравнения этих цифр видно, какие огромные потери причинили две первые атомные бомбардировки.

II. Основные данные атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму.

Эта бомба весила 4 т. Она была сброшена бомбардировщиком Б-29 «Энола-Гей», имевшим на борту 11 человек экипажа, в девятом часу утра с высоты 6000 м. В течение 60 сек. бомба падала, после чего на высоте 600 м (некоторые называют цифру 300 м) произошел взрыв. Бомба была снабжена парашютом.

Сборка бомбы была произведена на острове Тиниан (Марианские острова), куда ее доставили в разобранном на четыре части виде (одна часть была доставлена по морю на крейсере, а три остальные — по воздуху).

Заряд бомбы состоял из урана 235 и весил около 20 кг. Дефект массы по подсчетам составил 1 г, что в переводе на энергию по формуле Эйнштейна дает 10^{21} эрг, или 25 млн. квт-ч. Эта энергия примерно равна той, которая высвобождается при взрыве 20 тыс. т тринитротолуола (тротила), употребляемого в качестве взрывчатого вещества в бомбах и снарядах обычного типа. Поэтому можно сказать, что сброшенная на Хиросиму бомба, называемая иногда номинальной, имеет тротиловый эквивалент, равный 20 тыс. т.

Сравнение мощности ядерных бомб производится по их тротиловому эквиваленту. Он является всего лишь ме-

рой, к которой привыкли специалисты и которую они применяют из-за отсутствия другой, более удобной единицы. Это вовсе не означает, что бомба с тротильным эквивалентом в 20 тыс. т оказывает такое же действие, как 20 тыс. т тротила. Подсчитано, что такой же эффект дадут всего 2 тыс. т обычных тротильных бомб или 200 десятитонных бомб.

Мы видели, что дефект массы в реакциях деления ядер составляет 0,1%, следовательно, поскольку мы допускали, что в энергию превратился 1 г урана, расщеплению должен был подвергнуться 1 кг ядерного вещества. Принимая во внимание то обстоятельство, что критическая масса составляет 20 кг, можно сделать вывод, что 19 кг урана испарилось под действием высоких температур, возникших в момент взрыва. Значит, коэффициент использования ядерного взрывчатого вещества в бомбе, сброшенной на Хиросиму, не превышал 5%, откуда можно сделать вывод, что она была плохой и «нерентабельной».

В момент взрыва высвободилась энергия, равная 25 млн. квт-ч; ее хватило бы, чтобы поднять трансатлантический пароход типа «Куин Мэри» на высоту более 110 км! Но если эта цифра кажется нам огромной, то в масштабах природных явлений она незначительна и соответствует количеству солнечной энергии, падающей в «средний солнечный день» на 5 км² земной поверхности. А для того чтобы получить энергию, равную той, которую затратила природа во время землетрясения в Орлеанвиле (сентябрь 1954 года), потребовался бы миллион таких бомб.

Ущерб, причиненный атомным взрывом в Хиросиме, явился следствием трех поражающих факторов атомной бомбы: светового излучения (30% всей энергии взрыва), ударной волны (60%) и радиоактивного излучения (10%)¹

Радиусы поражающего действия атомной бомбы принято отсчитывать от эпицентра взрыва — точки пересечения с поверхностью земли перпендикуляра, опущенного из центра взрыва.

¹ Обычно говорят о другом распределении энергии атомного взрыва: 50% — ударная волна, 35% — световое излучение, 5% — проникающая радиация, 10% — радиоактивное излучение продуктов деления. — *Прим. ред.*

Теперь мы перейдем к рассмотрению результатов взрыва атомной бомбы в Хиросиме и сравним эти результаты с теми, которые наблюдались бы, если бы взрыв (при прочих равных условиях) произошел у поверхности земли, под землей или под водой.

III. Световое излучение

В момент воздушного атомного взрыва в небе в течение нескольких секунд наблюдается ослепительная вспышка, или «огненный шар», состоящий из газов, которые обладают громадным давлением и высокой температурой. Спустя секунду после взрыва радиус огненного шара достигает 300 м. Путем сравнительно несложных подсчетов специалисты установили, что температура в центре огненного шара достигает 200—300 млн. градусов, в то время как температура в центре Солнца, определенная по тем же формулам, не превышает 20 млн. градусов. Увеличиваясь в размерах и уменьшая интенсивность своего свечения, огненный шар поднимается вверх; при этом он увлекает за собой столб пыли и образует гигантское, высотой в несколько километров, грибовидное облако, характерное для каждого атомного взрыва.

Разумеется, человек не может позволить себе роскошь любоваться этим зрелищем, так как он рискует временно лишиться зрения.

Световое излучение при атомном взрыве по своей природе не отличается от обычного света: это электромагнитные волны, представляющие собой инфракрасные, видимые и ультрафиолетовые излучения.

Эти излучения распространяются прямолинейно со скоростью света и действуют в течение очень короткого отрезка времени (порядка секунды). Излучение световой энергии огненным шаром происходит, так сказать, двумя волнами: вначале оно идет исключительно интенсивно, но это продолжается в течение очень малого промежутка времени; затем интенсивность излучения уменьшается, а его продолжительность увеличивается. В результате световое излучение оказывает двойное поражающее действие, к рассмотрению которого мы и переходим.

1. Действие светового излучения на людей (ожоги).

Ожоги вызываются испускаемыми в течение сотых долей секунды излучениями первой волны, которые очень

насыщены ультрафиолетовыми лучами. Это явление протекает настолько быстро, что тело не успевает даже глубоко прогреться. Следует отметить, что поражаются только участки, лежащие на пути распространения светового излучения, поэтому вызываемые им ожоги имеют «профильную» форму.

Вот результаты действия светового излучения на находившихся вне укрытий людей (по данным взрыва в Хиросиме):

— в радиусе 1200 м от эпицентра взрыва (световой импульс¹ 9—10 кал/см²) — ожоги третьей степени, то есть такие, которые могут привести к смерти;

— в радиусе от 1200 до 2400 м (световой импульс 3 кал/см²) — ожоги второй степени, то есть сильные ожоги;

— на удалении более 2400 м (световой импульс 1—2 кал/см²) — ожоги первой степени, то есть легкие ожоги.

Судя по этим данным, температура в эпицентре взрыва достигала нескольких тысяч градусов.

Люди, находившиеся на расстоянии десятка километров от эпицентра взрыва, испытывали такое ощущение, как будто перед ними открыли дверцу топки.

Нужно отметить, что, кроме степени ожога, большую роль играют размеры обожженной поверхности. Доказано, что если человек получит ожоги третьей степени, причем площадь ожогов будет превышать третью часть поверхности его тела (последняя составляет около 1,8 м²), то он не выживет.

Все эти данные относятся к атомному взрыву, происходящему в абсолютно ясный день. В дождь или туман поражающее действие светового излучения уменьшается, поэтому невозможно точно рассчитать, какое воздействие оно окажет на тот или иной объект, например на город. Это можно сделать лишь приблизительно.

Следует также отметить, что в промышленном городе нормальная видимость не превышает 6 км, в то время как за городом в абсолютно ясный день она в 10 раз больше.

¹ Световой импульс — количество световой энергии, падающей на 1 см² поверхности тела, перпендикулярной к направлению распространения лучей, за все время свечения огненного шара. Выражается в кал/см². — Прим. ред.

2. Действие светового излучения на различные материалы (пожары).

Пожары могут быть результатом либо прямого действия светового излучения, либо косвенного действия ударной волны.

а) В результате вспышки происходит самовозгорание легковоспламеняющихся материалов (бумаги, соломы, сухого дерева и т. д.), от которых огонь передается способным гореть предметам.

Если даже световое излучение не вызывает самовоспламенения, оно высушивает различные предметы, что в дальнейшем облегчает их возгорание; поэтому при атомном взрыве воспламеняются даже такие предметы, которые обычно не горят. Так, в Хиросиме телеграфные столбы обуглились в радиусе около 4 км от эпицентра взрыва.

б) Под действием ударной волны рушатся здания, во все стороны разлетаются искры и горящие обломки, лопаются газовые трубы, происходят короткие замыкания. Загоревшиеся от светового излучения предметы могут отбрасываться ударной волной на большое расстояние и вызывать новые пожары.

В конечном счете независимо от того, возникают пожары в результате прямого действия светового излучения или косвенного действия ударной волны, они быстро распространяются, охватывая обширные пространства.

В некоторых случаях может даже возникнуть огненная буря, как это произошло в Хиросиме (и в Токио 7 марта 1945 года). Огненная буря начинается обычно спустя 15—20 мин. после начала пожара. Для ее возникновения требуются следующие условия:

- большое количество очагов пожара;
- значительная площадь, охваченная пожарами (минимум 2—3 км²);
- определенная плотность застройки (40%);
- благоприятные метеорологические условия, например направление ветра.

Во время таких огненных бурь и даже очень сильных пожаров большое количество населения подвергается опасности задохнуться в угарном газе СО.

Все сказанное выше относится к бомбе с тротильным эквивалентом 20 тыс. т, взорванной на высоте 600 м от поверхности земли.

Каково же будет поражающее действие атомной бомбы при наземном, подземном и подводном взрывах?

При наземном взрыве в результате чрезвычайно высоких температур все вблизи от места взрыва превратится в пепел, хотя общая площадь, охваченная пожарами, как правило, будет меньшей, чем при воздушном взрыве.

При подземном взрыве действие светового излучения будет значительно меньше. Не исключена возможность, что прямое действие, то есть зажигательное действие огненного шара, при взрыве на большой глубине сведется к нулю. Это произойдет в том случае, если огненный шар не сможет «пробить» слой земли, под которым произошел взрыв. Тогда пожары будут возникать лишь в результате косвенного действия ударной волны.

И, наконец, при подводном взрыве действие светового излучения на находящихся на берегу людей и постройки будет практически ничтожным, поскольку вся тепловая энергия уйдет на превращение в пар значительной массы воды.

IV. Ударная волна

Атомная бомба, сброшенная на Хиросиму, относилась к оружию взрывного действия, так как больше половины всей энергии взрыва (точнее, 60%) выделилось в форме ударной волны. Нужно отметить, что ударная волна атомного взрыва действует в течение сравнительно продолжительного времени порядка одной или даже нескольких секунд, в то время как ударная волна обычного взрыва — лишь в течение миллионных долей секунды.

В месте взрыва создается область сверхвысокого давления, измеряемого, по-видимому, миллиардами атмосфер. Эта область распространяется во всех направлениях в форме ударной волны, образующейся в результате сжатия воздуха взрывными газами.

1. Действие ударной волны на людей.

Следует различать прямое и косвенное действие ударной волны на людей.

а) При условии, разумеется, что человек не погибнет под обломками зданий, высокое избыточное давление во фронте ударной волны причинит ему увечье.

Так, в Хиросиме в радиусе 1500 м от эпицентра взрыва наблюдалось избыточное давление в 1 кг/см^2 , при котором у незащищенных людей обычно лопаются барабанные перепонки. В радиусе 700 м от эпицентра взрыва избыточное давление составляло 7—8 кг/см^2 , что вызывает кровоизлияние в легкие. Наконец, в радиусе 300 м избыточное давление достигало 30 кг/см^2 , что приводит к серьезному общему поражению организма, в 50% случаев со смертельным исходом¹.

б) Так называемое косвенное действие ударной волны гораздо опаснее. Распространяясь с колоссальной скоростью, ударная волна превращает все предметы в настоящие метательные снаряды, так что находящиеся вне укрытий люди подвергаются смертельной опасности. Поэтому защищаться в основном следует от косвенного действия ударной волны.

2. Действие ударной волны на различные сооружения.

Ударная волна представляет собой сложное явление, в котором следует хорошо разобраться.

а) Действие падающей ударной волны.

На фотографиях, сделанных на месте атомных взрывов в Японии, видно, что после взрывов там ничего не осталось; как будто какие-то гигантские машины все сравняли с землей. Американцы считают, что при ядерном взрыве избыточное давление в эпицентре взрыва должно составлять 3—5 кг/см^2 , или 30—50 т/м^2 . Наши постройки неспособны выдерживать таких давлений. Максимальная нагрузка, которую в состоянии выдержать обычные здания, не превышает 300—500 кг и лишь в исключительных случаях одну или несколько тонн на квадратный метр. поэтому давления порядка нескольких десятков тонн на квадратный метр оказываются им не под силу. Избыточное давление 0,2 кг/см^2 причиняет зданиям (особенно окнам и дверям) значительные повреждения; при избыточном давлении 0,3—0,4 кг/см^2 гнутся металлические каркасы зданий и трескаются кирпичные стены; наконец, при избыточном давлении 1,6 кг/см^2 разрушаются обычные железобетонные постройки. Вышеприведенные цифры по-

¹ Приводимые данные о величинах избыточного давления расходятся с данными других источников, в том числе и американского пособия «Действие атомного оружия», которым, очевидно, пользовался сам автор. — *Прим. ред.*

казывают, что при атомном взрыве могут уцелеть лишь такие особо прочные сооружения, как мосты, здания из монолитного железобетона и т. п., все остальное будет разрушено. Этим громадным избыточным давлением объясняется и то обстоятельство, что на месте атомного взрыва отсутствует характерная для обычной бомбардировки картина разрушений.

Избыточное давление в эпицентре взрыва является исходной величиной, зная которую, а также учитывая характер цели и мощность бомбы, можно заранее рассчитать оптимальную высоту взрыва. Само собой разумеется, что с увеличением мощности бомбы должна возрасти и высота взрыва.

б) Эффект Маха.

Когда падающая ударная волна достигает поверхности земли, образуется отраженная волна. Последняя, распространяясь в среде, обладающей высокой температурой, перемещается с большей скоростью, чем первая, и догоняет её. Происходит интерференция, подобная той, которую можно наблюдать, бросив в воду камень. В результате этой интерференции падающей и отраженной волн возникает явление, называемое эффектом Маха¹. Кажется, будто огромная стена, перемещаясь с колоссальной скоростью (порядка 3000 м/сек у самого эпицентра и около 340 м/сек на расстоянии 50 м от эпицентра), сметает все на своем пути. Можно сказать, что ударная волна движется в среднем со скоростью звука (340 м/сек). Следовательно, за 3 сек. она проходит 1600 м, за следующие 4 сек. — еще 1600 м и, наконец, за следующие 5 сек. — примерно столько же. Поражающее действие головной волны может быть в 6 раз сильнее, чем действие падающей ударной волны, и если здания в районе эпицентра рушатся вследствие большого избыточного давления, действующего сверху, то на значительном удалении от эпицентра они опрокидываются в результате воздействия головной ударной волны, распространяющейся параллельно поверхности земли. При взрыве каждая точка пространства в течение очень короткого времени испытывает чрезвычайно высокое давление, которое постепенно уменьшается и становится даже ниже

¹ Образуется так называемая головная ударная волна. — *Прим. ред.*

атмосферного, причем время действия пониженного давления больше, чем избыточного. Этим объясняется то обстоятельство, что оконные стекла в домах после атомного взрыва оказываются иногда выбитыми в направлении, обратном движению ударной волны.

в) В зависимости от удаления от эпицентра взрыва в Хиросиме наблюдалось следующее действие ударной волны на сооружения:

— в радиусе 800 м были разрушены все строения, за исключением нескольких железобетонных административных зданий антисейсмической конструкции (зона А);

— в радиусе 800—1600 м металлические каркасы домов уцелели, но сами здания были сильно повреждены (зона Б);

— в радиусе 1600—2400 м были серьезно повреждены деревянные каркасы и кровля зданий. Здесь необходимо было провести полную эвакуацию населения (зона В);

— в радиусе 2400—3200 м наблюдалось повреждение окон, стен, кровли. Эвакуация населения из этой зоны не была обязательной (зона Г);

— наконец, в радиусе от 3200 м и больше (примерно до 10 км) были выбиты стекла, с крыш сорвана черепица, потрескались стены.

Выше мы рассмотрели действие ударной волны при воздушном взрыве. Каково же будет ее действие при взрыве другого вида?

В результате наземного взрыва атомной бомбы образуется воронка радиусом до 100 м (для номинальной бомбы). Как правило, она имеет небольшую глубину и по своей форме отличается от воронок, образующихся в результате взрыва обычных бомб. Одновременно со взрывом ощущается довольно сильный сейсмический толчок. Разрушения в этом случае вызываются в основном ударной волной; площадь их вдвое меньше, чем при воздушном взрыве.

Незащищенные люди, находящиеся вблизи от места взрыва, получают серьезные ранения, однако радиус зоны поражения будет меньше, чем при воздушном взрыве.

При подземном взрыве образуется воронка радиусом более 100 м и глубиной до 30 м; ощущается сейсмический толчок, как при землетрясении. В результате этого толчка происходит перекося здания, образуются трещины в стенах и фундаменте на довольно большом удалении от ме-

ста взрыва в зависимости от характера грунта. Если взрыв произошел в песчаном грунте, серьезные повреждения фундамента и стен наблюдаются в радиусе до 500 м, тогда как при взрыве в глинистой почве они отмечаются в радиусе до 1500 м.

Наконец, при *подводном взрыве* находящиеся на берегу здания могут быть разрушены на таком же расстоянии, как и при подземном взрыве. Корабли, пирсы и молы получают серьезные повреждения в радиусе 800 м от места взрыва. Образующиеся в результате взрыва мощные волны могут затопить портовые сооружения и причинить им серьезные повреждения.

V. Радиоактивное излучение

Как тепловая, так и механическая энергия, выделяющиеся при взрыве ядерной бомбы, огромны, но их выделение происходит и при взрыве обычных бомб. Радиоактивное же излучение представляет собой явление совершенно новое и характерно лишь для ядерных взрывов.

В силу новизны и до некоторой степени загадочности этого явления о нем говорилось много такого, что не имеет ничего общего с действительностью. Количество погибших от радиоактивного излучения составило всего лишь 15% общего числа жертв двух атомных взрывов в Японии, в то время как количество погибших от ударной волны составило одну треть общего числа жертв, а количество погибших в результате ожогов — больше половины. На сооружения радиоактивные излучения не оказывают никакого разрушающего действия, поэтому в дальнейшем мы будем говорить лишь о действии на людей.

1. Радиоактивное излучение при взрыве.

а) Радиоактивность проявляется во многих формах. В момент взрыва в течение очень короткого времени происходит испускание различных излучений, из которых при воздушном взрыве опасность представляют лишь гамма-лучи; это электромагнитное излучение, подобное рентгеновским лучам, но обладающее большей проникающей способностью. Гамма-лучи распространяются со скоростью света. Период, в течение которого испускается гамма-излучение, при атомном взрыве не больше минуты,

причем половина общего количества излучения испускается уже в течение первой секунды.

б) Полученная организмом доза радиоактивных излучений измеряется в специальных единицах, названных в честь немецкого ученого, открывшего в конце прошлого века лучи, носящие также его имя, рентгенами. Для измерения радиоактивности применяются приборы двух типов. рентгенометры, которые служат для определения уровня радиации в данном месте, в данный момент в рентгенах в час, и дозиметры, измеряющие суммарную дозу радиации в рентгенах (начиная с момента помещения прибора в зараженную зону). Для большей наглядности рентгенометры можно сравнить с автомобильным спидометром, а дозиметры со счетчиком, измеряющим пройденный километраж.

Вот некоторые цифры, которые следует запомнить:

— доза свыше 600 рентгенов является смертельной (иногда ее называют летальной). Человек, получивший эту дозу, не имеет никаких шансов остаться в живых;

— доза в 400 рентгенов называется полулетальной¹, так как 50% людей, получивших эту дозу, погибают;

— при дозе радиации от 200 до 400 рентгенов требуется госпитализация.

Теперь приведем некоторые данные о степени радиоактивного заражения в зависимости от расстояния от эпицентра взрыва (по данным взрыва в Хиросиме):

до 1000 м — 600 рентгенов;

от 1000 до 1200 м — 600—400 рентгенов;

свыше 1200 м — менее 400 рентгенов.

в) Радиоактивное излучение в момент взрыва (проникающая радиация) вызывает наружное облучение. Кроме того, имеется опасность внутреннего облучения в результате попадания в организм радиоактивной пыли через пищевод и дыхательные органы, а также через раны или обожженные участки тела. Опасность внутреннего облучения особенно велика, если атомный взрыв произошел на небольшой высоте или у поверхности земли. В этих условиях создается довольно сильное радиоактивное заражение местности, источниками которой являются:

¹ Этот термин в советской научной литературе не принят. — *Прим. ред.*

— разбрасываемые на небольшие расстояния, но обладающие высокой радиоактивностью продукты деления;

— вещества, ставшие радиоактивными под действием потока нейтронов; последние обладают способностью делать многие вещества радиоактивными, что используется в ядерных реакторах для получения радиоактивных изотопов;

— непрореагировавшая часть заряда бомбы.

Все эти вещества при взрыве разбрасываются во все стороны и заражают местность в радиусе 1—2 км в зависимости от скорости и направления ветра.

Излучения, испускаемые этими радиоактивными веществами, представляют собой поток бета-частиц (электронов) или альфа-частиц (ядер гелия), а также гамма-лучи, подобные тем, которые испускаются в момент взрыва. В отличие от гамма-лучей, пробег которых в воздухе достигает нескольких сотен метров, бета-частицы имеют пробег порядка нескольких метров, а альфа-частицы проходят в воздухе расстояние, равное всего лишь нескольким сантиметрам. В живую ткань гамма-лучи проникают на глубину нескольких сантиметров, бета-частицы — нескольких миллиметров, а альфа-частицы — на глубину всего лишь долей миллиметра.

Радиоактивные элементы характеризуются своим периодом полураспада — временем, необходимым для того, чтобы радиоактивный элемент потерял половину своей активности. Период полураспада различен для разных элементов: от миллионных долей секунды у тория C' до миллионов лет у урана 235 (770 млн. лет) и даже миллиардов лет у урана 238 (4,4 млрд. лет). Активность источников радиоактивности измеряется в единицах, называемых кюри (и соответственно милликюри). Активность в 1 кюри соответствует активности 1 г радия (это такое количество радиоактивного вещества, в котором происходит 37 млрд., или $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду). Следует запомнить, что если в течение часа находиться на расстоянии 1 м от 1 г радия, то принятая доза будет равна 1 рентгену.

При подземном взрыве выбрасываемый из воронки грунт также сильно заражен радиоактивными веществами. Частицы грунта разбрасываются на довольно большое расстояние — до 2 км. Радиоактивное заражение в непосредственной близости от воронки настолько велико,

что к ней нельзя приближаться в течение нескольких недель и даже месяцев.

Наконец, при подводном взрыве проникающая радиация весьма незначительна, однако нейтронный поток и оставшиеся в воде продукты деления вызывают радиоактивное заражение воды. Тысячи тонн воды в результате взрыва поднимаются на большую высоту и, падая, заражают обширные площади. Кроме того, в некоторых случаях в результате подводного взрыва образуется густой туман, который также может заразить значительные пространства и частично выпасть в виде радиоактивного дождя.

2. Действие различных видов излучений на человеческий организм.

Действуя на живую ткань, радиоактивные излучения отнимают у ее атомов электроны, в результате чего происходит ионизация и возбуждение этих атомов. Результат облучения ощущается не сразу, а через несколько часов и даже дней в зависимости от дозы радиации. Наиболее уязвимыми, как правило, оказываются те клетки человеческого организма, которые обладают наибольшей способностью к размножению. Поэтому в первую очередь поражаются кроветворные органы, желудочно-кишечный тракт, кожа и половые железы.

Кроветворные органы, к которым относится костный мозг и лимфатические узлы, выполняют функцию обновления красных и белых кровяных телец и кровяных пластинок, поэтому поражение этих органов либо приводит к анемии в результате недостатка красных кровяных телец, либо понижает сопротивляемость организма различным инфекционным заболеваниям вследствие недостатка белых кровяных телец, либо вызывает кровоточивость.

Признаками поражения желудочно-кишечного тракта являются тошнота, рвота, кровавый понос. Многочисленные изъязвления, образующиеся на слизистых оболочках, облегчают проникновение инфекции в организм.

Кожный покров также легко поражается радиоактивными излучениями, что приводит к выпадению волос. Выпадение волос начинается через 15 дней после облучения и продолжается в течение нескольких недель. Затем волосы вновь отрастают, иногда даже более густые, чем до выпадения.

Поражение половых желез у мужчин вызывает бесплодие, но не половое бессилие. У женщин облучение половых желез сопровождается временной потерей способности к деторождению. Если в момент облучения женщина была беременна, то, как правило, происходит выкидыш. В том случае, если роды происходят своевременно, большинство рождающихся детей оказываются микроцефалами (7 случаев из 11). Очень чувствительны к нейтронному облучению также ткани глаз (происходит помутнение хрусталика глаза).

Симптомы поражения радиоактивными излучениями, называемого иногда лучевой болезнью, всегда одни и те же: больной периодически испытывает то ухудшение, то временное улучшение состояния здоровья, причем это чередование происходит тем чаще, чем больше полученная доза радиации. Если рвота начинается уже через час или два после взрыва, то есть основание опасаться, что доза радиации была выше 600 рентгенов. Во всяком случае, пострадавшему немедленно должен быть предоставлен покой и оказана медицинская помощь.

В последней главе этой работы мы коротко остановимся на вопросе о генетических последствиях радиоактивного облучения, который пока еще мало изучен.

Для большего удобства изложения мы рассматривали различные поражающие факторы атомной бомбы изолированно друг от друга. Однако очевидно, что их зоны поражения будут в какой-то степени совпадать друг с другом. Находящиеся в районе атомного взрыва люди чаще всего будут испытывать комбинированное воздействие всех поражающих факторов, что затруднит их лечение. Так, например, если человек подвергся радиоактивному воздействию, то это затрудняет излечение ожогов и ран и может вызвать различные осложнения.

В заключение необходимо отметить, что вышеприведенные цифры характеризуют поражающее действие номинальной атомной бомбы, которое она оказывает на город азиатского типа. Чтобы получить соответствующие данные применительно к городу европейского типа, нужно внести в эти цифры некоторые поправки.

Глава IV

МОЩНОСТЬ И ТИПЫ ЯДЕРНЫХ БОМБ

I. Увеличение мощности ядерных бомб

Как уже говорилось выше, первые ядерные бомбы были сброшены в августе 1945 года. В каких же размерах увеличилась с того времени их мощность?

1. Даты основных ядерных взрывов.

Истекшие десять лет можно разделить на несколько периодов:

а) 1945—1949 годы.

Все бомбы, которые испытывались в этот период, были типа сброшенной на Хиросиму, то есть имели тротиловый эквивалент порядка 20 тыс. т. Следует отметить, что в этот период, точнее в сентябре 1949 года, была испытана первая русская атомная бомба. Следовательно, чтобы догнать Соединенные Штаты и изготовить атомную бомбу, России потребовалось четыре года.

б) 1950—1952 годы.

Этот период ознаменовался:

— увеличением мощности атомных бомб;

— испытанием первой английской атомной бомбы в Монтебелло в октябре 1952 года;

— испытанием первой американской термоядерной бомбы¹ в ноябре 1952 года (операция «Айви»). Эта бомба с тротиловым эквивалентом в 5 млн. т (или 5 мегатонн) была в 250 раз мощнее атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму.

в) 1953—1955 годы.

¹ Первые образцы термоядерного оружия, испытывавшиеся американцами, представляли собой, по существу, не бомбы, а термоядерные устройства, которые подрывались на специальных стальных башнях. — *Прим. ред.*

В этот период наблюдается внушающий тревогу рост мощности термоядерных бомб.

— 1 марта 1954 года было проведено испытание термоядерной бомбы, получившее печальную известность тем, что в результате этого взрыва пострадала группа японских рыбаков. Эта бомба, к которой мы вернемся ниже, имела тротильный эквивалент 12 млн. т, то есть была в 600 раз мощнее номинальной.

— 26 марта 1954 года был произведен взрыв термоядерной бомбы с тротильным эквивалентом 20 млн. т, то есть в 1000 раз мощнее номинальной.

— 7 апреля 1954 года была испытана термоядерная бомба с тротильным эквивалентом 40 млн. т, то есть в 2000 раз более мощная, чем номинальная.

Впрочем, эти цифры опровергались. Жюль Мок в своей книге «Безумие людей» пишет, что бомба, испытанная 7 апреля 1954 года, была всего в 1000 раз мощнее сброшенной на Хиросиму, а взрыв, произведенный 26 марта 1954 года, был меньшей мощности, чем взрыв 1 марта.

На этот период падает и первое испытание термоядерной бомбы, проведенное русскими в августе 1953 года. Следовательно, им потребовалось всего девять месяцев, чтобы догнать Соединенные Штаты и изготовить термоядерную бомбу.

г) Период после 1955 года.

В конце 1954 и в 1955 годах было произведено несколько взрывов, которые были, по-видимому, менее мощными, чем взрывы в марте и апреле 1954 года.

В конце ноября 1955 года стало известно, что русские провели испытание очень мощной ядерной бомбы. Это событие наделало на Западе много шума. О мощности испытанной бомбы высказывались самые различные мнения. И действительно, мощность взрыва, вероятно, была огромной, так как взрыв сопровождался выпадением радиоактивного дождя и значительным повышением радиоактивности атмосферы. В ночь с 26 на 27 ноября приборы в Парижской лаборатории гигиены показали увеличение радиоактивности атмосферы в десять раз. 28 ноября эта радиоактивность понизилась вдвое.

2. Количество атомных взрывов.

Можно считать, что до начала 1956 года американцы произвели 70—75 атомных взрывов, русские — 15 — 20

и англичане — 3 взрыва, что в сумме составляет около 100 взрывов.

Американцы испытывают бомбы малой мощности на своей территории, а наиболее мощные — в Тихом океане.

Первое испытание атомной бомбы было проведено в пустынном районе штата Нью-Мексико в одном из секторов бывшей воздушной базы в Аламогордо, расположенной в 200 км от Альбукерке. Большое количество бомб было испытано в пустыне Невада, где вырос новый большой город Лас-Вегас.

Подводные взрывы и испытания термоядерных бомб американцы проводили у атоллов Бикини и Эниветок (Маршалловы острова).

Русские, по-видимому, испытывают свои ядерные бомбы в районе Берингова пролива.

По вопросу о том, в какой мере эти испытания влияют на повышение уровня радиоактивности атмосферы, существуют самые противоречивые точки зрения. По мнению директора английского научно-исследовательского атомного центра в Харуэлле — доктора Коккрофта, повышение радиоактивности атмосферы к настоящему времени составляет не более одной тысячной ее естественного уровня.

II. Обнаружение ядерных взрывов

Такие страны, как Соединенные Штаты Америки, Советский Союз и Великобритания, без сомнения, имеют большое количество ядерных бомб самой различной мощности. Иногда количество существующих ядерных бомб оценивается в несколько десятков тысяч.

Как же установить, что в том или ином месте произведен ядерный взрыв?

Вследствие своего неблагоприятного географического положения Япония больше, чем другие страны, испытывает последствия проводимых американцами и русскими атомных взрывов. Поэтому там, так же, впрочем, как и в Америке, осуществляется целая система контроля, позволяющая с довольно большой точностью определять время и место взрыва, а также тип испытанных бомб и их мощность.

Японские ученые осуществляют наблюдения за следующими пятью явлениями:

1) изменением атмосферного давления;
2) изменением количества электричества в атмосфере;
3) изменением уровня морских приливов (он изменяется при подводных взрывах, таких, например, как в Бикини);

4) выпадением радиоактивного пепла. Японские эксперты, расследовавшие случай поражения 23 японских рыбаков «смертоносным пеплом» в результате взрыва, произведенного американцами 1 марта 1954 года, заявляли, что каждый раз, когда русские испытывают атомные бомбы в Сибири, в Японии на третий день после испытания выпадает радиоактивный пепел;

5) наконец, за увеличением уровня радиоактивности дождевой воды. Наличие радиоактивности в дождевой воде и снеге — это явление естественное, которое объясняется присутствием в дождевой воде прития. Следовательно, речь идет об измерении увеличения естественной радиоактивности дождевой воды.

Наличие в водороде дейтерия было доказано в 1932 году американцем Юри. Тритий был открыт в 1950 году учеными Либби и Гроссом.

Легкий водород в соединении с кислородом образует воду H_2O , дейтерий — тяжелую воду D_2O , тритий — сверхтяжелую воду T_2O .

Содержание тяжелой воды в обычной равно 1 : 60 000. Сверхтяжелая вода в природном состоянии встречается очень редко: на 1 млрд. молекул обычной воды приходится всего 1 молекула сверхтяжелой воды. Другими словами, чтобы получить 1 л сверхтяжелой воды, нужно было бы переработать всю воду в Сене, протекающую за сутки через Париж при среднем расходе $300 \text{ м}^3/\text{сек}$!

Известно, что Франция не имеет атомных бомб. Должна ли наша страна производить их?

Некоторые отвечают на этот вопрос утвердительно, ссылаясь на необходимость сохранения независимости. Те страны, говорят они, которые не имеют этого нового вида оружия, не могут рассчитывать на то, что они останутся или станут великими державами.

Другие придерживаются противоположного мнения и утверждают, что Франция все равно будет отставать в военных вопросах, в то время как в вопросах мирного

использования ядерной энергии мы можем претендовать на почетное место. Кроме того, серьезный недостаток энергетических ресурсов, который испытывает Франция, не позволяет ей ориентироваться на производство ядерного оружия.

Собственно говоря, такая постановка вопроса является неправильной. Нельзя заявлять, что мы будем или не будем делать ту или иную вещь. В каждом отдельном случае нужно учитывать наши возможности в новой области и принимать решения в зависимости от конкретных обстоятельств, которые заранее очень трудно предусмотреть.

В заключение нужно добавить, что Швеция и Норвегия также намереваются начать производство ядерных бомб.

III. Типы и мощность ядерных бомб

Устройство ядерных бомб постоянно совершенствовалось, а их мощность возрастала.

1. Атомные бомбы.

а) Типы бомб.

Как мы уже говорили, бомба, сброшенная на Хиросиму, в качестве заряда имела уран 235. Во всех остальных бомбах, основанных на делении ядер, насколько нам известно, применялся плутоний, получаемый из урана 238.

В сообщении, сделанном русскими в апреле 1956 года, говорилось об атомной бомбе с зарядом тория. По всей вероятности, речь шла об уране 233, получаемом из тория искусственным путем.

б) Мощность бомб.

Мощность бомб, основанных на делении ядер, может быть самой различной: их тротиловый эквивалент может достигать до 500 тыс. т включительно. Иначе говоря, самые крупные бомбы этого типа соответствуют по мощности примерно 25 номинальным бомбам.

Такое ограничение объясняется двумя факторами, о которых мы говорили выше: критической массой и коэффициентом использования ядерного «горючего». Как мы видели, этот коэффициент у бомбы, сброшенной на Хиросиму, не превышал 5%, что означает, что 19 кг урана из 20 не участвовало в реакции. Следовательно, для увели-

чения мощности атомных бомб нужно добиться такого положения, чтобы в реакции деления активно участвовала как можно большая часть расщепляющегося материала. По-видимому, этого можно достигнуть путем увеличения толщины оболочки заряда.

С точки зрения эффективности бомба типа сброшенной на Хиросиму с успехом заменяет 200 обычных десятитонных бомб. Для достижения того же эффекта с помощью 1000 артиллерийских орудий калибра 155 мм пришлось бы непрерывно вести огонь 1,5 часа и выпустить сотню тысяч снарядов.

Но, кроме таких крупных бомб, производятся бомбы и меньшей мощности с тротильным эквивалентом порядка 1000 т, а возможно, и ниже. В марте 1954 года американцы произвели подземный взрыв атомной бомбы с тротильным эквивалентом 1000 т. Эта бомба, умещающаяся в обыкновенном портфеле, делает воронку радиусом 50 м и глубиной 15 м.

Наконец, ни для кого теперь не является секретом, что существует атомная артиллерия. Вот основные тактико-технические данные американской 280-мм атомной пушки: максимальная скорость передвижения 50 км/час, вес всей системы в походном положении 85 т, длина в походном положении 26 м, ширина лафета 3,35 м, практическая дальность стрельбы порядка 20 км, вес снаряда — 450 кг (тротильный эквивалент составляет 14—15 тыс. т).

У русских также есть атомные пушки различных моделей. Необходимо отметить, что если тактико-технические данные самих атомных орудий хорошо известны, то об атомных снарядах известно очень мало. Интересно, что американская 280-мм атомная пушка имеет практическую дальность стрельбы порядка 20 км, в то время как в 1918 году «Большая Берта», имевшая такой же калибр, вела огонь по Парижу из Комьенского леса, расположенного в 70 км от французской столицы.

2. Термоядерные бомбы.

а) Типы бомб.

В первых термоядерных бомбах, как мы видели, в качестве ядерного взрывчатого вещества использовались изотопы водорода. Бомба, испытанная американцами 1 ноября 1952 года, имела огромные размеры. Она была выполнена в форме куба с ребром 7—8 м и весила 65 т,

В связи с чем одно время высказывались сомнения относительно того, сможет ли ее поднять тяжелый бомбардировщик.

Действительно, применявшиеся в этих бомбах жидкие дейтерий и тритий нужно было поместить в сосуд с очень толстыми стенками, способными выдержать давление, образующееся в результате испарения этих жидкостей при очень низких температурах. Этот сосуд в свою очередь нужно было окружить теплоизоляцией, чтобы замедлить испарение сжиженных газов.

Позднее, в 1954 году, стало известно, что водородные бомбы, испытанные 26 марта и 7 апреля, были сброшены обычными американскими бомбардировщиками. Очевидно, изменилось устройство бомб. Действительно, на этот раз речь шла о бомбах, использующих в качестве ядерного заряда литий. Литий является третьим элементом периодической системы элементов Менделеева. Он представляет собой чрезвычайно легкий одновалентный металл с удельным весом 0,5. Основную массу заряда в этих бомбах составлял, по всей вероятности, дейтерид лития. Под действием нейтронного потока, возникающего в момент взрыва атомного детонатора, литий, входящий в состав дейтерида лития, превращается в тритий, а затем происходит соединение ядер дейтерия и трития.

Потом появились водородные бомбы типа U (Ultimate Bomb), у которых оболочка заряда делалась не из урана 235, а из урана 238.

Взрыв в таких бомбах происходит в три приема. Сначала взрывается детонатор, представляющий собой обычную атомную бомбу, и создает высокую температуру, необходимую для реакции синтеза. Затем происходит реакция соединения ядер легких элементов, входящих в состав гидрида лития. Эта реакция сопровождается образованием большого количества нейтронов, обладающих высокой энергией; они вызывают деление урана 238, из которого сделана оболочка заряда. Поэтому такие бомбы называют иногда бомбами, основанными на принципе «деление—синтез—деление», а также бомбами типа «Fi-Fu-Fi» или «3F»¹.

В водородной бомбе, испытанной американцами в марте 1954 года в Бикини, 80% всей энергии взрыва выдели-

¹ От английского fission (деление), fusion (синтез), fission (деление). — *Прим. ред.*

лось за счет деления урана 238, из которого состояла оболочка, и только 20% — за счет реакции синтеза легких элементов.

Иногда говорят и о так называемой кобальтовой бомбе. В этой бомбе корпус якобы сделан не из стали, а из кобальта, который под действием нейтронного потока становится радиоактивным и, испаряясь, очень сильно повышает радиоактивность облака взрыва. О степени радиоактивности этого облака приводились самые различные цифры. По тем данным, которыми мы располагаем, кобальтовые бомбы не испытывались.

Наконец, по имеющимся сведениям, испытанная русскими в ноябре 1955 года водородная бомба была смонтирована в головку ракеты. Ракета, запущенная в Восточной Сибири, взорвалась на расстоянии 4 тыс. км от места запуска, в Северном Ледовитом океане, на высоте около 40 км, причем не исключена возможность, что взрыв произошел преждевременно, так как оптимальная высота взрыва должна была быть порядка не нескольких десятков километров, а всего нескольких километров.

б) Мощность термоядерных бомб.

Теоретически мощность термоядерных бомб ничем не ограничена. Как американцы, так и русские создали водородные бомбы в 1000—2000 раз мощнее номинальной. Однако, как нам кажется, бомбы мощностью в 2000—3000 номинальных бомб представляют собой предел, так как у более мощных бомб ударная волна может в конце концов стать своеобразным препятствием, каким является забойка в шпуре, и основное действие взрыва будет проявляться только в верхних, более разреженных слоях атмосферы.

Американцы заявляли, что они проведут в 1956 году испытания еще более мощных бомб.

Атомное оружие, бывшее вначале оружием стратегического значения, стало теперь тактическим оружием, так как артиллерия имеет уже на вооружении атомные пушки, и не исключена возможность, что в скором времени пехота также получит на вооружение легкие атомные пушки, минометы и даже атомные ручные гранаты.

Подсчитано, что во время второй мировой войны союзники сбросили на Германию 1350 тыс. т бомб. Полагают, что этих же самых результатов можно было бы добиться 50 номинальными атомными бомбами или 7 бом-

бами с тротильным эквивалентом 150 тыс. т. А одна водородная бомба с тротильным эквивалентом 12 млн. т в 10 раз мощнее всех сброшенных на Германию бомб!

Возможность применения ядерных бомб значительно возросла благодаря использованию современной ракетной техники. Один самолет-снаряд типа F-86Н может брать шесть атомных бомб с общим тротильным эквивалентом 500 тыс. т, что соответствует более чем 600 тыс. т обычных бомб. Впрочем, сведения в этой области поступают к нам с опозданием, поэтому приведенные выше данные к настоящему времени (лето 1956 года) наверняка уже превзойдены.

В последние годы некоторыми людьми овладела идея гонки вооружений. Не ведет ли эта гонка вооружений мир к пропасти?

Глава V

ПОРАЖАЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ТЕРМОЯДЕРНЫХ БОМБ

Атомные взрывы в Хиросиме и Нагасаки были реальным фактом, поэтому, говоря о размерах разрушений, причиненных этими взрывами, мы имеем дело с точными цифрами.

И наоборот, когда речь идет о действии более мощных бомб, например термоядерных, приводятся лишь приближенные цифры, к которым следует относиться совсем иначе. В первом случае данные являются математически точными, во втором — грубо приближенными, иногда фантастическими.

Адмирал Страусс, ведающий испытаниями американских ядерных бомб, часто ошибался в своих расчетах вдвое, а то и больше. Это лишний раз доказывает, что подход к реальным результатам атомных взрывов в Японии должен быть совсем иным, чем к результатам, полученным путем экстраполяции.

Образующийся в результате взрыва термоядерной бомбы огненный шар имеет гораздо большие размеры, чем при взрыве атомной бомбы. Радиус огненного шара термоядерной бомбы (в 2000 раз мощнее номинальной) спустя несколько секунд после взрыва достигает нескольких километров. Грибовидное облако, возникшее в результате взрыва 1 марта 1954 года, имело высоту порядка 40 км и максимальную ширину в верхней части около 160 км. Температура в центре шара, по мнению специалистов, была порядка миллиарда градусов.

Вопрос о распределении энергии термоядерного взрыва по поражающим факторам пока еще мало изучен.

Возьмем для примера термоядерную бомбу, равную по мощности 2 тыс. номинальных бомб (то есть имеющую

тротиловый эквивалент 40 млн. т), и попробуем определить ее поражающее действие на основе данных о взрыве номинальной бомбы. При этом нужно учитывать, что поражающее действие ядерных бомб не возрастает прямо пропорционально увеличению их мощности.

I. Ударная волна

При определении действия ударной волны обычно руководствуются следующей формулой: механическое действие взрыва, или действие ударной волны, пропорционально корню кубическому из мощности бомбы.

Как надо понимать эту формулу?

Кубический корень из 2000 равен примерно 13. Тогда из сказанного выше вытекает, что нужно взять числа, характеризующие действие ударной волны сброшенной в Хиросиме бомбы, и умножить их на 13. Получаются следующие данные:

— в радиусе 10 км все будет сметено с лица земли, за исключением некоторых особо прочных зданий;

— в радиусе от 10 до 20 км будут частично или полностью разрушены внутренние части зданий, и во всей этой зоне нужно будет эвакуировать все оставшееся в живых население;

— в радиусе от 20 до 30 км будут наблюдаться значительные разрушения. Не исключено, что в целях безопасности окажется целесообразным эвакуировать население.

Ущерб, наносимый такой бомбой, настолько велик, что его даже трудно себе представить.

Вышеприведенная формула, по-видимому, была подтверждена результатами проведенных испытаний ядерных бомб, причем иногда они даже превосходили расчетные данные. Это объясняется тем, что трудно заранее определить с достаточной точностью мощность новых бомб, и здесь скорее нужно идти обратным путем: по фактическому действию бомбы определять ее мощность.

II. Световое излучение

Для расчета действия светового излучения также существует формула: действие светового излучения пропорционально корню квадратному из мощности бомбы.

Квадратный корень из 2000 равен примерно 45. Если считать, что эта формула правильна, то для расчета поражающего действия светового излучения бомбы в 2000 раз мощнее номинальной нужно соответствующие данные номинальной бомбы умножить на 45. Тогда получится, что все незащищенные люди получат смертельные ожоги в радиусе 60 км.

К счастью, эта цифра слишком преувеличена. Мы уже говорили, что данные о поражении световым излучением по результатам взрыва в Хиросиме действительны только при очень хорошей видимости. Определяя воздействие светового излучения на объекты, расположенные на большом удалении от эпицентра взрыва, следует учитывать поглощение световой энергии молекулами входящих в состав воздуха газов и вводить соответствующий поправочный коэффициент. Последний составляет от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$. Интересно отметить, что раньше его считали равным $\frac{1}{2}$, теперь же принимают равным $\frac{1}{3}$. Другими словами, в настоящее время наблюдается тенденция к сокращению завышенных ранее цифр. Во всяком случае, действие светового излучения термоядерной бомбы, равной по мощности 2000 номинальных бомб, характеризуется следующими данными:

— в радиусе 20—30 км от эпицентра взрыва — смертельные ожоги;

— в радиусе 30—50 км — сильные ожоги.

В некоторых случаях для определения поражающего действия светового излучения полезно руководствоваться тем, что световой импульс в данной точке пространства примерно пропорционален мощности ядерной бомбы.

При этом, разумеется, предполагаются одинаковые метеорологические условия, причем в качестве исходных данных берутся результаты действия светового излучения, наблюдавшиеся при взрыве сброшенной на Хиросиму бомбы.

Если, например, при взрыве номинальной бомбы световой импульс на расстоянии 2 км от эпицентра взрыва равен 3 кал/см², то при взрыве в 2000 раз более мощной бомбы он будет составлять 6000 кал/см². Для такого незначительного расстояния поправочный коэффициент не будет играть особой роли, хотя для больших дистанций его значение очень велико.

Эти приблизительные данные позволяют сделать следующий важный вывод: если атомная бомба, в которой 60% всей освобождающейся энергии выделяется в форме ударной волны, является оружием механического действия, то термоядерная бомба — это прежде всего оружие зажигательного действия.

III. Проникающая радиация и радиоактивное заражение

Термоядерная бомба оказывает значительно большее радиоактивное воздействие, чем атомная бомба. Следует различать действие проникающей радиации и радиоактивное заражение местности и воздуха.

1. Действие проникающей радиации.

Действие проникающей радиации, образующейся в результате взрыва атомного детонатора, незначительно по сравнению с действием ударной волны и светового излучения. И наоборот, нейтронный поток, который при взрыве атомной бомбы незначителен по сравнению с гамма-излучением, при взрыве термоядерной бомбы имеет очень большую интенсивность.

Можно сказать, что в каждой данной точке доза гамма-излучения прямо пропорциональна мощности бомбы.

Наконец, при взрыве термоядерной бомбы возникает очень сильная наведенная радиоактивность. Она возникает в результате того, что огненный шар, увеличиваясь в размерах, обычно касается земли, за исключением тех случаев, когда взрыв происходит на большой высоте. Это является новой¹ и очень важной чертой, характеризующей взрыв термоядерной бомбы.

2. Заражение местности и воздуха.

Взрыв термоядерной бомбы, произведенный у поверхности земли, может сопровождаться интенсивным выпадением радиоактивных веществ из облака.

Вместе с грибовидным облаком, образующимся при взрыве, в атмосферу поднимается большое количество частиц, которые под действием потока нейтронов становятся радиоактивными. Так, например, в результате

¹ Наведенная радиоактивность имеет место и при взрыве атомной бомбы, хотя в этом случае она обычно бывает слабее вследствие меньшей интенсивности нейтронного потока. — *Прим. ред.*

взрыва, произведенного американцами 1 марта 1954 года, когда бомба была взорвана на башне высотой 50 м, островок Элугелаб взлетел на воздух, и на его месте образовалась воронка радиусом 1 км и глубиной 60 м. Специалисты считают, что вместе с грибовидным облаком в воздух было поднято до 20 млн. м³ вещества, из которого состоял коралловый островок; радиоактивность облака через час после взрыва достигла, по-видимому, 10¹² кюри.

Можно предполагать, что в результате взрыва бомбы, в 2000 раз мощнее сброшенной на Хиросиму, в воздух взлетят сотни миллионов тонн грунта. Более тяжелые частицы, разумеется, упадут в непосредственной близости от места взрыва, а остальные будут выпадать постепенно в зависимости от их размеров. Так, например, частица диаметром 75 микронов (микрон равен одной тысячной миллиметра) опустится на землю через 8 часов после взрыва, частица диаметром 15 микронов — через неделю, 10 микронов — через месяц и 5 микронов — через 3 месяца. Полагают, что самые мелкие частицы могут оставаться в атмосфере до 10 лет. Что касается радиоактивности, то, по подсчетам специалистов, она через 24 часа после взрыва уменьшается в 50 раз по сравнению с той, которая отмечалась через час после взрыва, а по истечении 6 суток уменьшается еще в 20 раз.

В этой связи нельзя не сказать несколько слов о катастрофе, постигшей 1 марта 1954 года японских рыбаков. Небольшое японское рыболовное судно «Фукурю-мару», имевшее на борту 23 человека, находилось в момент испытания водородной бомбы в 130 км от места взрыва. В 4 часа утра рыбаки увидели, как небо на горизонте внезапно осветилось, а спустя несколько минут до них донесся страшный грохот. Между 6 и 7 часами утра солнце скрылось за тучами, и с неба начал падать белый пепел. Он состоял из радиоактивной коралловой пыли — мельчайших частиц расплавленного карбоната кальция с осевшими на них продуктами деления. Выпадение пепла продолжалось несколько часов. Только после того, как моряки почувствовали себя больными и не могли больше продолжать работу, хозяин принял решение вернуться в порт Яидзу, куда судно прибыло 13 марта.

В Японии, по всей вероятности, было известно о проводимых в Тихом океане испытаниях. После медицинско-

го осмотра рыбаков было установлено, что они получили сильную дозу радиации порядка нескольких сот рентгенов. Пострадавших поместили в больницу, а судно сожгли. Однако из 40 т рыбы, доставленных в порт «Фукурумару», часть уже продали. Это заставило предать происшествие гласности, так как среди населения началась паника.

Сначала думали, что этот случай был чем-то исключительным. В действительности же выпадение радиоактивных веществ из облака представляет собой самое обычное явление. При наземном взрыве водородной бомбы эти радиоактивные вещества могут заразить местность в полосе длиной 200—300 км и шириной 100 км, создавая таким образом опасность для населения, живущего далеко от объекта атомного нападения.

Английские ученые считают, что в результате испытания водородной бомбы, проведенного русскими в ноябре 1955 года, в атмосферу было поднято примерно 500 кг радиоактивной пыли. При благоприятном ветре этого количества хватило бы, чтобы уничтожить всякую жизнь на площади в 250 тыс. км², что превышает территорию Великобритании.

Наконец, для сравнения этих данных с природными явлениями напомним, что во время извержения вулкана Кракатау в Индонезии в 1883 году было выброшено около 20 млрд. м³ грунта.

Глава VI

ЗАЩИТА ОТ ЯДЕРНЫХ БОМБ

I. Постановка вопроса

При обсуждении вопроса о необходимости организации противоатомной защиты населения бросается в глаза, что возражения, выдвигаемые против организации такой защиты, всегда немногочисленны. К чему же они сводятся?

Во-первых, утверждают, что войны больше не будет: тот факт, что существующие в настоящее время военные группировки обладают ядерным оружием, является якобы гарантией мира.

Этот аргумент представляется нам несколько наивным. Если бы дело действительно обстояло так, то непонятно, почему начиная с 1945 года самые различные страны ведут бешеную гонку вооружений и почему во французском бюджете на военные расходы ежегодно предусматривается более 1000 млрд. франков!

Как нам кажется, будущие войны будут двух типов: локальные и мировые, причем ядерное оружие будет применяться лишь в мировых. Возможно, что в будущем мировые войны будут происходить не так часто, как в прошлом; локальные же войны будут всегда. Разве после 1945 года мы не были свидетелями подобных войн в Корее, Индокитае и Северной Африке? Такой двойственный характер будущих войн заставляет иметь вооруженные силы, построенные по классическому образцу, и, кроме того, специальные формирования на случай будущего мирового конфликта. Именно поэтому две французские дивизии, входящие в состав НАТО, численностью в 12 тыс. человек каждая были реорганизованы в соединения, приспособленные к ведению боевых действий в условиях применения атомного оружия.

Но есть ли опасность того, что локальная война пере-

растет в мировую? История говорит, что войны существовали всегда, несмотря на многочисленные пакты о вечном мире, подписанные между различными странами.

Нужно ли напоминать в этой связи о «великом проекте» Сэлли, предложившем создать европейскую федерацию из 15 государств с единой армией и флотом, о плане, разработанном после Тридцатилетней войны Уильямом Пенном, в основе которого лежали моральные санкции, о плане вечного мира, предложенном аббатом Сен-Пьером, о планах Руссо, Канта, Меттерниха и, наконец, Лиги Наций?

У всех этих планов была одна и та же судьба. Людям всегда нравились состязания на арене, победители становились даже национальными героями. Поэтому войны являются своего рода привычкой и традицией людей. Можно ли утверждать, что современные люди отличаются от целых поколений своих предков?

Кроме того, в настоящее время землю населяет 2,5 млрд. человек. Если верить подсчетам, через 100 лет численность населения на земле достигнет 11 млрд. человек. Нет ли оснований опасаться, что увеличение численности населения явится одной из причин международных конфликтов в будущем?

Во-вторых, говорят, что, если даже мировая война разразится, ядерное оружие не будет использовано.

Опровергнуть это возражение очень легко. Разве в середине XV века, когда стало широко применяться огнестрельное оружие, люди вернулись к луку и стрелам? Развитие вооружения всегда шло по восходящей линии. Каждый использовал то оружие, которым он располагал, и пытаться утверждать обратное бессмысленно. Иногда в этой связи ссылаются на пример боевых отравляющих веществ. Однако, если в ходе второй мировой войны 1939—1945 годов газы не применялись, это отнюдь не значит, что так же произойдет и с ядерным оружием. Нельзя сравнивать вещи совершенно разного плана, какими являются отравляющие вещества и ядерное оружие: ведь только последнее представляет собой стратегическое оружие, способное обеспечить мировое господство.

Возможно, что та или иная военная группировка государств, зная, что у противника тоже есть атомное оружие, не решится первой его применить. Однако никакая воюющая сторона не может быть уверена, что ей удастся ней-

трализовать противника, поэтому боязнь ответного удара может навести одного из воюющих на мысль, что если он «упустит удобный момент», то противник может такой момент не упустить.

Следует также предусматривать возможность непредвиденных осложнений, с которыми встретится тот или иной блок, обладающий ядерным оружием, в локальной войне. И кто поручится, что в этом случае он не попытается использовать свое ядерное оружие, несмотря на все принятые ранее обязательства?

Если бы у Гитлера в 1944 году было это страшное оружие, он наверняка воспользовался бы им, и тогда ни один корабль союзников не достиг бы на рассвете 6 июня 1944 года побережья Нормандии. Уже совсем недавно, во время войны в Корее, один американский генерал был готов применить ядерное оружие против китайцев. В тот момент, когда американские войска чуть было не были сброшены в море, заголовки американских газет призывали: «Бросайте ее!» — и весь мир знал, о чем идет речь!

Атомная бомба является дешевым оружием, и это важное обстоятельство может оказать определенное влияние на способы ведения войны в будущем. Как мы видели, одна бомба с тротильным эквивалентом 20 тыс. т производит такие же разрушения, как 200 обычных десятитонных бомб или 100 тыс. снарядов 155-мм орудия. Чтобы сбросить на цель 200 десятитонных бомб, требуется 200 самолетов, считая, что самолет может поднять всего одну такую бомбу. Один самолет стоит 600—800 млн. франков. При массированном воздушном налете потери в самолетах составляют примерно 5%. Беря за основу эту цифру (которая, впрочем, в будущих войнах будет гораздо выше), можно подсчитать, что из 200 самолетов на свои базы не вернуться 10, что в денежном выражении составит 6—8 млрд. франков. К этому надо прибавить неоценимые людские потери (полное обучение одного экипажа обходится примерно в 25 млн. франков). Но это еще не все: для того чтобы 200 самолетов могли подняться в воздух, требуются аэродромы, которые стоят миллиарды... Короче говоря, отсюда можно сделать два вывода:

— ядерная бомба стоит в 10 раз дешевле, чем необходимые для получения того же результата обычные бомбы;

— для того чтобы сбросить на противника атомную бомбу, требуется в 50 раз меньше людей, чем для доставки эквивалентного количества обычных бомб.

Эти два обстоятельства могут оказаться решающими, и не исключена возможность, что в будущем для бомбардировок станут использовать в основном ядерные бомбы разного калибра. Мысль о доминирующем значении ядерного оружия была сформулирована следующим образом: «Один самолет, одна бомба, один город».

Термоядерные бомбы, как мы уже говорили, еще дешевле атомных.

Выше уже отмечалось, что дефект массы в реакциях деления ядер составляет всего 0,1%, в то время как в реакциях синтеза он равняется 0,7%. Поэтому в первом приближении можно сказать, что при равном весе термоядерная бомба дает в 7 раз больше энергии, чем атомная.

На Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии Комиссия по атомной энергии США привела цифры, позволяющие заключить, что термоядерная энергия в сотни раз дешевле энергии, получаемой в результате деления ядер тяжелых элементов.

В сентябре 1955 года в одном из своих выступлений доктор Лэпп привел несколько интересных данных. В термоядерных бомбах, равных по мощности испытанным в марте—апреле 1954 года на Эниветоке, себестоимость 1 т тротилового эквивалента составляла 1 цент. Исходя из этого, можно подсчитать, что бомба, равная по мощности 2000 номинальных бомб, то есть имеющая тротильный эквивалент 40 млн. т, стоила бы 150 млн. франков. По сравнению с эффектом, который дает такая бомба, эта цена представляется весьма незначительной.

Из сказанного можно сделать следующий вывод: чем мощнее бомба, тем она дешевле и тем легче ее применить. Что же помешает воюющей стороне, обладающей такими бомбами, использовать их для достижения решающего успеха?

Третье возражение является для нас наиболее интересным. Если будет сброшена атомная бомба, говорят противники организации противоатомной защиты населения, разрушения будут настолько велики, что не помогут никакие средства, и поэтому незачем тратить деньги на организацию этой иллюзорной защиты.

Прежде всего необходимо уточнить термин «защита». В зависимости от применявшихся средств поражения изменялись формы и способы ведения войны. В XIII веке, когда лучник, тщательно прицелившись, пускал стрелу, противник почти не имел возможности уклониться, однако и вероятность попадания стрелы также была незначительной. Затем появились катапульты, которые метали ядра через стены крепостей и одним таким ядром убивали или ранили сразу несколько вражеских воинов. В этот период поражение живой силы, по определению Жюлья Мока, носит «ремесленную форму». Прошли века, наступил период «поражения малыми сериями». Этот период мир переживал к началу первой мировой войны, когда один хорошо замаскированный станковый пулемет или удачно расположенное 75-мм орудие выводили из строя десятки, а иногда и сотни вражеских солдат. Затем с увеличением калибра орудий и веса бомб наступил период «поражения крупными сериями». Сюда можно отнести массированные воздушные налеты на некоторые города во время второй мировой войны, когда число жертв и масштабы разрушений были огромны.

С появлением первых атомных бомб поражение стало носить почти тотальный характер в радиусе одного километра, а с появлением термоядерной бомбы оно стало тотальным в полном смысле этого слова, так как радиус действия водородной бомбы превышает размеры любой цели, в том числе и большого города.

Человечество платит дань прогрессу, и какому прогрессу! Упомянутый нами незащищенный воин, в которого стрелял из лука меткий стрелок, подвергался большой опасности, точно так же как пехотинец, который находился в нескольких метрах от разорвавшегося 75-мм снаряда. Для крупнокалиберных снарядов зона поражения увеличивается до нескольких десятков метров. Для чело века же, находящегося вне укрытия в радиусе 1 км от эпицентра взрыва атомной бомбы типа сброшенной на Хиросиму, возможность остаться в живых практически сводится к нулю. По этому поводу иронически говорят, что каждый незащищенный человек в этой зоне будет убит трижды, так как сначала он погибнет от ожогов, затем, вероятно, будет задавлен обломками зданий и, наконец, получит смертельную дозу радиации!

При взрыве термоядерной бомбы типа испытанной американцами в марте—апреле 1954 года незащищенный человек погибнет в радиусе 10 км от эпицентра.

Следовательно, с ростом мощности средств поражения возможность остаться в живых для незащищенных людей уменьшается. Отсюда ясно, что вопрос об организации защиты встает еще более остро. Однако об абсолютной защите не может быть и речи, так как понятие «абсолютного» в этой области вообще немыслимо. Другими словами, опасность гибели возрастает. Следовательно, увеличивая мощность бомбы, приходится сознательно идти на увеличение числа жертв при ее применении, и эта мысль, с точки зрения человечности недопустимая и ужасная, должна сделать людей достаточно разумными, чтобы предотвратить войну, ибо, если она начнется, остановить ее будет невозможно.

Если в зоне смертельного поражения мало что можно будет сделать, то за ее пределами работы будет масса, и каковы бы ни были средства защиты, они окажутся недостаточными, так как разрушения будут настолько сильными, что их могут представить себе лишь те, кто сам пережил во время второй мировой войны воздушные налеты на Лондон и Гамбург. В десятикилометровой полосе, расположенной вокруг зоны смертельного поражения радиусом 10 км, окажется много заваленных под обломками людей и много домов будет охвачено пожаром. Для того чтобы иметь возможность оказать помощь тысячам людей, которые страдают и ждут помощи, резервы должны располагаться на достаточном удалении от эпицентра взрыва и в неуязвимых местах.

Приведем несколько цифр, характеризующих необходимое количество средств медицинской помощи.

Из 70 тыс. человек, погибших в Хиросиме, каждый второй погиб от ожогов. Это показывает, что при атомном нападении число людей, получивших ожоги третьей степени, будет исчисляться тысячами, а может быть, и десятками тысяч. Для того чтобы оказать медицинскую помощь пострадавшему, у которого обожжено 40% всей поверхности тела, нужно 40 кислородных подушек, 10 литров плазмы, 2 литра крови, 25 литров сыворотки и 4 км бинта! Для лечения человека, получившего дозу радиации в 200—400 рентгенов, необходимо $\frac{1}{4}$ лит-

ра крови и 2 литра сыворотки ежедневно в течение 6 недель. Донор же может давать не более 350 см³ крови раз в две недели.

Возможно, что в будущей мировой войне для достижения решительной победы будут стремиться уничтожить все людские резервы противника. Поэтому сохранение людского потенциала является для каждой страны жизненно важным делом. Большинство иностранных государств понимают это и не жалеют средств на организацию эффективной противоатомной защиты населения.

Рассмотрев вопрос о целесообразности этой защиты, посмотрим, в какой мере человек может защитить себя от поражающего действия ядерных бомб.

II. Защита от поражающего действия ядерных бомб

1. Защита от светового излучения.

Самая надежная защита от светового излучения заключается в том, чтобы не быть застигнутым вспышкой врасплох. Мы уже говорили, что световое излучение распространяется прямолинейно и оказывает лишь поверхностное поражающее действие. Поскольку свечение огненного шара продолжается очень недолго, любая преграда может служить надежной защитой от светового излучения. Один шутник заметил, что, закрывшись обыкновенной газетой, можно защитить себя от ожогов даже вблизи от эпицентра взрыва.

В армии предусмотрена специальная защитная одежда, которая полностью закрывает все части тела. В некоторых случаях весь личный состав в обязательном порядке должен надевать капюшоны, защитные перчатки и специальные очки. Как у личного состава вооруженных сил, так и у гражданского населения необходимо вырабатывать специальные навыки, например умение при появлении сильного света моментально падать и прижиматься к земле. Обычные траншеи, даже без перекрытия, во многих случаях смогут обеспечить надежную защиту от светового излучения.

Для того чтобы не допустить распространения пожаров, необходимо сразу же после объявления тревоги (если она будет объявлена) принять некоторые предупредительные меры, например задернуть занавески и закрыть ставни с целью ограничить распространение свето-

вого излучения. Перед уходом в убежище нужно выключить газ и электричество. Кроме того, рекомендуется убрать все легковоспламеняющиеся предметы во дворах, садах и на чердаках.

Зону поражения световым излучением можно ограничить в значительной мере (до 50%) путем применения различного рода дымовых завес. Такие способы были испытаны американцами во время проведенных ими в конце 1954 года и в 1955 году многочисленных войсковых учений. В Швеции также занимались этим вопросом в целях защиты гражданского населения. Для ограничения действия светового излучения могут применяться, кроме того, искусственные дожди.

2. Защита от ударной волны.

Для того чтобы защитить себя от действия ударной волны, необходимо укрыться в убежище.

Мы уже говорили, что при расчете оптимальной высоты взрыва ядерной бомбы исходят из того, что избыточное давление в эпицентре при взрыве номинальной бомбы составляет 3—4 кг/см². Следовательно, вопрос заключается в том, чтобы узнать, можно ли построить такие сооружения, которые смогли бы выдерживать это огромное избыточное давление. Специалисты дают на этот вопрос положительный ответ.

Пусть, например, при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 80 тыс. т, произведенном на высоте 850 м, избыточное давление в эпицентре достигает 5 кг/см². Мы взяли высоту 850 м из тех соображений, что чем мощнее бомба, тем выше должен произойти взрыв, чтобы зона поражения увеличилась.

В этом случае для перекрытия убежища шириной в 2,3 м будет достаточно железобетонная плита толщиной в 0,2 м, на которую нужно насыпать слой земли толщиной не меньше метра и утрамбовать ее, чтобы обеспечить защиту от радиоактивных излучений.

Такое простое убежище обеспечивает полную защиту от атомного взрыва.

В районах, которые по своей важности вероятнее всего могут оказаться объектом атомного нападения — они называются «угрожаемыми зонами», — предусматривается строительство целой сети подобных убежищ. Вне этих наиболее уязвимых районов убежища могут строиться бо-

лее легкого типа из подручных материалов. Национальная служба гражданской обороны намечает строительство убежищ двух типов: коллективных и на одну семью; первых — для длительного пребывания, вторых — для кратковременного укрытия.

а) Коллективные убежища.

Такие убежища строятся обычно четырехугольной или круглой формы и имеют прочные двери и вентиляцию.

В убежищах четырехугольной формы бетонные стены, пол и перекрытие могут иметь толщину 60, 40 или 30 см в зависимости от того, на какое избыточное давление рассчитано убежище — 10, 5 или 2 кг/см². В таких полностью заглубленных убежищах люди защищены от действия светового излучения, а если насыпанный сверху слой грунта имеет достаточную толщину, то и от радиоактивных излучений.

При той скорости, какой обладают современные бомбардировщики, населению, для того чтобы укрыться в убежищах, после объявления тревоги остается всего 5 мин. Предполагается, что для рабочих, находящихся на заводе в момент оповещения о воздушной опасности, этот срок будет еще меньше, порядка 3 мин. Подобное обстоятельство приводит к необходимости ограничить время доступа в убежище, а следовательно, установить оптимальную вместимость убежищ примерно в 50 человек. Убежища такого типа нужно будет строить в количестве, достаточном для обеспечения безопасности всего населения.

Если исходить из расчета 1 м² на 3—4 человека, то для 50 человек будет достаточно убежище площадью в 15 м², то есть 3×5 м или 4×4 м, а если убежище круглой формы, то радиусом 2—2,5 м. Наиболее сложным является вопрос о дверях и вентиляции. Для таких убежищ предусматриваются двери 0,7×1,8 м и толщиной 40 мм. Эти двери должны выдерживать в течение 8 часов температуру в 1000°. В коллективных убежищах, разумеется, предусматривается не одна, а две двери, промежуток между которыми будет служить тамбуром.

Что касается вентиляции, то в таких убежищах на 1 м² площади предусматривается подача 300 л свежего воздуха в минуту. Стоимость таких убежищ зависит, конечно, от толщины бетонных стен. Убежище, способное

выдерживать избыточное давление в 5 кг/см^2 , обходится в 150 тыс. франков за одно место, что в общей сложности составляет 7—8 млн. франков. Убежища, выдерживающие избыточное давление в 10 кг/см^2 , стоят примерно на 20% дороже, или около 10 млн. франков.

б) Убежища на одну семью.

Коллективные убежища предохраняют человека от действия высокого избыточного давления, которого он не в состоянии выдержать. Убежища семейного типа предназначаются для защиты от небольших избыточных давлений, называемых нами обычными. Эти убежища в большинстве случаев вполне достаточны для неугрожаемой зоны. Двери у них отсутствуют, а вентиляция осуществляется естественным путем, поскольку они представляют собой либо траншеи, либо приспособленные для этой цели подвалы. Во всяком случае, такие убежища себя оправдывают. Для того чтобы проверить, как на них влияют неблагоприятные условия погоды, в Нэнвильском парке построили несколько опытных убежищ семейного типа.

Как мы уже говорили, наиболее опасным является косвенное действие ударной волны. Однако находящиеся в траншее люди будут вне опасности, так как различные предметы, обломки и т. п., которые превратятся под действием ударной волны во «вторичные снаряды», пролетят поверху, и люди ощутят лишь некоторое повышение давления. Кроме этого, укrywшиеся в таких траншеях будут защищены от действия светового излучения. Им останется только защититься от радиоактивного воздействия, сила которого зависит как от высоты взрыва, так и от удаления убежища от эпицентра.

В подвалах следует принять специальные меры безопасности на тот случай, если дом, под которым находится убежище, обрушится. Необходимо усилить потолок подвала, а кроме того, можно установить ряд балок, упирающихся одним концом в капитальную стену, а другим — в крепкий пол.

Разумеется, все указанные выше меры защиты действительны лишь для воздушного взрыва. Если взрыв будет наземным, образуется гигантская воронка; на довольно большом расстоянии от места падения бомбы все будет уничтожено, так что о защите в этой зоне не может быть и речи.

3. Защита от радиоактивных излучений.

При воздушном взрыве опасность представляет лишь проникающая радиация; поэтому, защищаясь от действия ударной волны, то есть укрывшись в бетонированном убежище с достаточно толстым слоем насыпанной сверху земли, человек может рассчитывать на то, что он будет защищен и от проникающей радиации.

Для защиты от проникающей радиации имеется три способа:

а) удалиться от места взрыва

Поскольку интенсивность радиоактивного облучения обратно пропорциональна квадрату расстояния, то при увеличении вдвое расстояния, отделяющего человека от места взрыва, интенсивность облучения уменьшается в четыре раза;

б) выждать

Уровень радиоактивного заражения снижается очень быстро. Если изобразить графически зависимость естественного спада радиоактивности от времени, то получится кривая, напоминающая ветвь равносторонней гиперболы. Например, если через час после взрыва уровень радиации в зараженном районе составляет 100 рентгенов, то через 7 часов он упадет до 10 рентгенов, а еще через 15 часов до 5 рентгенов;

в) укрыться за какой-либо преградой

Сначала необходимо остановиться на понятии слоя половинного ослабления. Это такая толщина материала, которая вдвое ослабляет действие проникающей радиации. Для брони она равна 4 см, для бетона — 12 см, для грунта — 20 см, для воды — 26 см.

Если укрыться за броней толщиной в 4 см, то поглощенная организмом доза радиоактивных излучений будет вдвое меньше той, которую человек получил бы вне укрытия. Если толщину брони увеличить вдвое и довести до 8 см, то поглощенная организмом доза будет составлять уже четверть начальной дозы, отмечающейся вне защитного сооружения. Отсюда нетрудно вывести зависимость между начальной дозой D_0 , фактически поглощенной дозой D , и числом n , показывающим, сколько раз слой половинного ослабления укладывается в толщину защитного материала. Эта зависимость выражается формулой $D = \frac{D_0}{2^n}$. Если взрыв произошел у поверхности земли или

на небольшой высоте, то нужно принять некоторые особые меры безопасности. Очутившись в районе бомбардировки после атомного взрыва, человек рискует вдохнуть вместе с воздухом или проглотить с пищей и водой радиоактивные частицы, испускающие главным образом альфа- и бета-излучения. Поэтому пожарные и спасательные команды должны действовать в защитных комбинезонах и в противогазах. Кроме того, их должен сопровождать представитель службы радиационной разведки с рентгенометром, чтобы следить за временем их пребывания в зараженной зоне и за тем, чтобы доза радиации не превышала установленной допустимой дозы (примерно 25 рентгенов). Все находившиеся в зараженной зоне люди должны в обязательном порядке пройти через дезактивационный пункт и подвергнуться санитарной обработке в той или иной форме в зависимости от степени заражения.

Только время может окончательно уничтожить вредное действие радиоактивных веществ, поэтому зараженные предметы надо изолировать до тех пор, пока их радиоактивность практически исчезнет. Продолжительность изоляции зависит в основном от периода полураспада радиоактивных веществ, которыми заражены эти предметы. Если степень заражения невелика, зараженные предметы можно обмыть водой, во всех остальных случаях их нужно закопать в землю.

Особые меры предосторожности нужно принять, чтобы не допустить заражения продовольствия.

В случае наземного взрыва водородной бомбы нельзя забывать о выпадении радиоактивных веществ из облака. Защита от них обеспечивается довольно просто: если выпадение радиоактивных веществ произошло в районе, где разрушений не было, нужно остаться в домах (лучше всего в нижних этажах) и ждать указаний. Если радиоактивные осадки застигли человека на открытом месте, рекомендуется найти укрытие в земле—тогда полученная доза радиации уменьшится больше, чем на одну десятую.

Специалисты считают, что человек, находившийся на расстоянии 10 км от места взрыва в течении 36 час., получит дозу радиации в 2000 рентгенов, а на расстоянии 250 км — 500 рентгенов.

Эти цифры лишней раз доказывают необходимость организации противоатомной защиты. Впрочем, эта за-

шита не так уж сложна. В результате взрыва водородной бомбы, проведенного американцами 1 марта 1954 года, кроме японских рыбаков, пострадало еще примерно 100 человек, в числе которых были американские солдаты и жители соседних островов. Всем этим людям была немедленно оказана медицинская помощь, так что серьезных последствий не было.

Национальная служба гражданской обороны закупила партию несложных, но надежно работающих и дающих хорошие результаты приборов. Купленные дозиметры обошлись примерно по 15 тыс. франков, а рентгенометры — по 95 тыс. франков. Эти приборы будут распределены между различными департаментами.

Для лучшей организации противоатомной защиты нужно, чтобы все знали, каким опасностям они подвергаются при взрыве атомной бомбы. Желательно, чтобы всякий, кто этого еще не знает и хочет узнать, получил бы необходимую информацию. Люди больше всего боятся неизвестного, поэтому последствия атомного нападения могут оказаться катастрофическими.

В заключение надо сказать, что в случае атомной войны каждому придется выбрать одно из двух: либо эвакуироваться (это не всегда окажется возможным, но для большей части женщин, детей, стариков, одним словом, для всех тех, чье присутствие не принесет пользы, эвакуация должна быть обязательной), либо укрыться в убежище. Тот, кто не сделает ни того, ни другого, погибнет.

Но чтобы бороться и создавать, надо жить. Поэтому каждый должен выполнять все указания квалифицированных инструкторов Национальной службы гражданской обороны.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

Теперь мы подошли к рассмотрению второй стороны проблемы, а именно к вопросу о мирном использовании атомной энергии. Возможности, которые открывают перед нами различные способы использования атомной энергии, огромны. Можно утверждать, что открытие атомной энергии будет иметь для человечества не меньшие последствия, чем имели изобретение паровой машины и открытие электричества. Революция, вызванная открытием атомной энергии, отличается от всех предшествовавших ей промышленных революций тем, что происходит в совершенно новых экономических, общественных и политических условиях. С конца 1942 года, когда Ферми построил первый ядерный реактор, мы, сами того не подозревая, вступили в атомный век.

Прежде чем говорить о тех возможностях, которые открывает перед нами атомная энергия в будущем, мы попробуем нарисовать картину энергетических потребностей в международном и национальном масштабах. Затем мы кратко изложим принцип действия и назначение ядерных реакторов, после чего остановимся на работах, сделанных в этой области во Франции. Мы коснемся вопроса о преимуществах атомной энергии в экономическом и социальном плане и закончим рассмотрением тех последствий, которые может иметь для гражданской обороны использование атомной энергии в широком масштабе.

Глава VII

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТРЕБНОСТИ

Прежде чем перейти к рассмотрению этого вопроса в национальном масштабе, мы остановимся на мировых энергетических потребностях. Приводимые ниже данные заимствованы нами из речи, произнесенной председателем Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии на открытии конференции в августе 1955 года.

I. Мировые энергетические потребности

Рассмотрим эту проблему с двух точек зрения: с точки зрения потребления, то есть спроса на энергию, и с точки зрения производства энергии, то есть ее предложения.

Энергия может быть определена как способность производить работу. Количество энергии, которое человек имеет в своем распоряжении для удовлетворения различных нужд, некоторым образом характеризует степень цивилизации общества, к которому он принадлежит. Открытие человеком новых источников энергии происходило в жестокой борьбе с природой и изменяло мир больше, чем использование мускульной силы человека и животных на протяжении тысячелетий. Мы живем в эпоху господства «количества», и ничто не может заменить этот фактор. Необходимо отметить, что энергия может принимать самые различные формы и что следует отличать энергию, производящую материальные блага, от энергии, создающей комфорт; это две крайние точки в общей гамме различных способов использования энергии.

Энергия является, пожалуй, самым важным фактором, определяющим богатство любой страны. Для измерения любых величин нужно иметь единицу измерения.

Энергия может измеряться в самых различных единицах, начиная от калорий, которые служат для измерения тепловой энергии, и кончая электровольт, принятым в ядерной физике. Следует отметить, что не всегда различные формы энергии удобно измерять одними и теми же единицами, будь то килограммы условного топлива, киловатт-часы или термии. В настоящее время стремятся разработать таблицу коэффициентов, которые позволяли бы сравнивать между собой различные формы энергии.

1. Потребление энергии.

Сравнивая очень большие количества энергии, специалисты чаще всего употребляют либо единицы электричества, прочно вошедшего в наш быт (мегаватт-час, равный 10^3 киловатт-часов, или 10^6 ватт-часов), либо специальные единицы, обозначаемые буквой Q (энергия в $1Q$ соответствует тому количеству энергии, которое выделяется при сгорании 33 млрд. t угля). Благодаря этому мы можем делать сравнения в мировом масштабе, пользуясь привычными для нас числами.

В единицах Q можно выразить рост потребления энергии, связанной с изменением условий жизни человеческого общества.

а) Количество израсходованной во всем мире энергии с начала нашей эры до середины XIX века составляло $9-10Q$, что соответствует в среднем $1/2Q$ за 100 лет. Разумеется, потребление энергии из века в век росло, причем особенно быстрый рост наблюдался в XVII и XVIII столетиях. Поэтому считается, что в середине прошлого века мировой расход энергии был порядка $1Q$ за столетие.

б) За период с 1850 по 1950 год мировое потребление энергии составило примерно $5Q$.

Экономический и Социальный совет ООН довольно точно подсчитал количество энергии, израсходованной во всем мире за 1952 год. Согласно этим подсчетам, в 1952 году во всем мире было израсходовано 10,2 млрд. *мгвт-ч* энергии, причем это количество распределялось следующим образом: промышленность — 5,8 млрд. *мгвт-ч*; бытовые нужды — 3,3 млрд. *мгвт-ч*, транспорт — 0,8 млрд. *мгвт-ч*, сельское хозяйство — 0,3 млрд. *мгвт-ч*.

Отсюда можно сделать вывод, что потребляемая энергия распределяется неравномерно и что потребности

в энергии совершенно не соответствуют энергетическим ресурсам.

в) Оценивая перспективы в области энергетики, необходимо учитывать ряд факторов.

Первый фактор — рост населения.

В начале нашей эры на всем земном шаре жило около 300 млн. человек. К середине XVII века эта цифра удвоилась. Но особенно быстрый рост населения наблюдался в течение последних 50 лет. Так, в 1900 году общая численность населения земного шара оценивалась в 1,5 млрд. человек. В 1920 году она достигла 1,8 млрд., в 1930 году — 1,99 млрд., в 1940 году — 2,2 млрд., в 1950 году — 2,5 млрд. и, наконец, в 1954 году — 2,6 млрд. человек. Таким образом, за 34 года численность населения на земле увеличилась на 50%!

В 1954 году четыре государства имели население свыше 100 млн. человек: США (162 млн.; по состоянию на 1 мая 1956 года — 167,65 млн.), СССР (216 млн.), Индия (377 млн.), Китай (574 млн.). Шесть государств имели население от 50 до 100 млн. человек: Великобритания и Германия (по 50 млн.)¹, Бразилия (57 млн.), Пакистан и Индонезия (по 80 млн.), Япония (88 млн.). Два государства имели население от 30 до 50 млн. человек: Франция (43 млн. в 1954 году; по состоянию на 20 мая 1956 года — 43,5 млн.) и Италия (47 млн.). Наконец, около 20 государств имели в 1954 году население от 10 до 30 млн. человек.

Из этих цифр видно, какое место в мире занимает Франция по количеству населения. Если сравнить эти цифры с данными о количестве населения в 1937 году, то видно, что население Советского Союза и Соединенных Штатов Америки выросло в одинаковых размерах, а именно на 27%. Что касается плотности населения на квадратный километр, то она для разных стран неодинакова: в СССР она составляет примерно 10 человек, в США — около 20, а во Франции — 80 человек (точнее, по состоянию на 1 мая 1956 года — 79).

Всем известно, что потребление энергии находится в прямой зависимости от национального дохода страны. Больше всего энергии расходуют наиболее развитые

¹ Учитывается население только Федеративной Республики Германии. — *Прим. ред.*

в промышленном отношении и, следовательно, наиболее богатые страны. На первом месте стоят США (37% всей потребляемой в мире энергии), затем идут СССР (15%) и Англия.

В настоящее время прирост населения на земном шаре составляет 35 млн. человек в год. Это значит, что каждый день население земли увеличивается на 100 тыс. человек, или на 4 тыс. человек в час, то есть больше чем на одного человека в секунду!

Согласно подсчетам, к концу XX века население земного шара составит 3,5—5 млрд. человек, а к 2050 году оно достигнет 11 млрд. человек!

Второй фактор — рост индивидуальных потребностей.

Сам человек за 8 часов работы производит энергию, не превышающую 0,5 *квт-ч*. Согласно имеющимся данным, современный человек, то есть житель развитого в промышленном отношении государства, потребляет ежедневно в среднем 23 *квт-ч*, что соответствует мускульной энергии 45 человек. Принимая во внимание, что ежегодный прирост потребления энергии на одного человека составлял в период с 1860 по 1900 год 2,2%, в период с 1900 по 1939 год — 2,5%, а в настоящее время равен 4%, можно полагать, что в ближайшем будущем потребление энергии возрастет в еще больших масштабах.

Третий фактор — индустриализация новых обширных районов.

В этой связи прежде всего следует подумать об азиатских странах, а именно о Китае и Индии, которые в ближайшие десятилетия будут испытывать все большие и большие потребности в энергии. Достаточно напомнить, что Северная Америка, население которой составляет 7% населения земного шара, потребляет 40% всей производимой в мире энергии, в то время как Азия, Африка и Латинская Америка, население которых в сумме составляет 60% человечества, расходуют всего 20% энергии.

Если бы все страны мира достигли такого же уровня развития промышленности, как США, им потребовалось бы в 6 раз больше энергии. Поэтому существует опасность, что развитие народов, которое мы считаем нормальным, может затормозиться.

Учитывая эти факторы, надо полагать, что к концу XX века, то есть через одно поколение, мировое потребле-

ние энергии достигнет примерно $10Q$ за столетие, а к 2050 году оно поднимется до $70Q$! Если выразить это в мегаватт-часах, можно сказать, что в 2000 году потребление энергии составит 84 млрд. *мгвт-ч*; это втрое больше того количества энергии, которое предположительно будет израсходовано в 1975 году (27 млрд. *мгвт-ч*).

В переводе на условное топливо это составит: в 1955 году — 3 млрд. *т*, в 1975 году — 6 млрд. *т* и в 2000 году — 15 млрд. *т*.

В общем, в 2000 году мировые потребности в энергии будут в 6—8 раз выше, чем в настоящее время.

2. Энергетические ресурсы.

Мы видели, что спрос на энергию громаден. А каковы же возможности удовлетворения этой огромной потребности, каковы мировые энергетические ресурсы?

а) Горючие ископаемые

В настоящее время от 80 до 85% всей вырабатываемой в мире энергии производится за счет сжигания так называемых горючих ископаемых: каменного угля, нефти, газа. Гидроэлектроэнергия, как и мускульная, покрывает лишь менее 2% мировой потребности в энергии. Остальная часть общего количества энергии, то есть около 15%, получается за счет сжигания дерева и отходов сельскохозяйственного производства. Мы видим, что доля всех других источников энергии, кроме горючих ископаемых, незначительна. Поскольку серьезного увеличения этой доли нельзя добиться даже для гидроэлектроэнергии, которая пока имеет весьма ограниченные возможности, для обеспечения постоянно растущего спроса на энергию нужно, чтобы доля горючих ископаемых продолжала повышаться.

До 1880 года основным видом топлива было дерево. Затем его сменил каменный уголь. До 1900 года каменный уголь обеспечивал 90% всей вырабатываемой в мире энергии, однако в последующие годы его доля стала уменьшаться, а доля нефти, газа и воды — расти.

Согласно статистическим данным, мировая добыча угля в 1955 году составила примерно 1600 млн. *т*, превысив добычу предыдущего года на 8,3%. За исключением Великобритании, добыча угля возросла во всех странах, обладающих крупными запасами каменного угля, и главным образом в Соединенных Штатах Америки, Советском

Союзе и Китае. Количество добытого в этих странах угля соответствует половине выработанной во всем мире энергии.

По подсчетам ученых, общие запасы горючих ископаемых, имеющих промышленное значение, не превышают 50—100 Q. Если считать эти цифры точными и верить подсчетам будущих потребностей в энергии, то можно сделать вывод, что через несколько столетий все запасы горючих ископаемых, которые, по мнению геологов, накапливались в земной коре в течение 250 млн. лет, будут полностью исчерпаны.

Приведенные выше данные говорят о том, что в ближайшем будущем — для одних стран несколько раньше, для других несколько позже — произойдет разрыв между спросом на энергию и ее производством. Поэтому крайне необходимо отыскать новые источники энергии.

Для решения этого вопроса имеется много возможностей. Можно использовать энергию морских приливов и морских течений, геотермическую энергию, энергию ветра. Действительно, ведь именно благодаря рациональному использованию ветряной мельницы Голландия добилась в XVII веке такого расцвета. Но самые большие надежды возлагаются на использование солнечной энергии. Для того чтобы наглядно показать значение этого вида энергии, напомним, что солнечные лучи, падающие на Париж, должны приносить буквально за несколько мгновений 50 млн. квт лучистой энергии. Впрочем, до земли доходит лишь незначительная часть этой энергии, источник которой находится на удалении 150 млн. км от нашей планеты.

б) Ядерное горючее

Согласно статистике, мировые запасы урана и тория соответствуют энергии порядка 1500—2000Q. Иными словами, ядерное горючее способно в самый короткий срок заменить обычные горючие ископаемые и обеспечить удовлетворение мировых потребностей в энергии в течение многих веков — конкретно этот срок будет зависеть от роста потребления энергии, который заранее предугадать очень трудно.

Содержание урана в руде, конечно, различно в зависимости от вида руды. По самой низкой оценке среднее содержание урана в верхних слоях земной коры равно одному грамму на тонну.

Следовательно, этого металла в земной коре содержится не меньше, чем меди, свинца или цинка, в 100 раз больше, чем серебра, и в 1000 раз больше, чем золота. Урановые руды встречаются довольно часто. Общее количество ядерного горючего в земной коре (считая ее толщину равной 60 км) оценивается в 100 триллионов тонн. Наиболее значительными месторождениями урановых руд являются залежи в Бельгийском Конго, в Иохимстале и Колорадо. Кроме того, собираются начать разработку крупных месторождений в Канаде, Южной Африке и Австралии. Мировая добыча урановой руды в настоящее время составляет примерно 10 тыс. т. Специалисты считают, что сейчас можно добывать ежегодно 1 млн. т природного урана, причем добыча 1 кг урана обойдется около 10 тыс. франков.

Из этих руд получают металлический уран. После того как получен природный металлический уран, из него очень сложными способами (например, способом газовой диффузии) извлекаются изотопы, в том числе уран 235. Чтобы лучше понять трудности, связанные с разделением изотопов урана, нужно сравнить стоимость килограмма природного урана, равную 30—40 долларам, со стоимостью килограмма урана 235, достигающей 25 тыс. долларов. Строительство завода, производящего 3,35 т обогащенного до 90% урана из 1000 т природного урана, обошлось бы в 160 млрд. франков!

Из тория также можно получать уран 235. На Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии много говорилось о возможностях, которые открывает перед нами использование тория. По заявлению некоторых ученых, 1 т природного тория может заменить 7 т урана.

Но, если мы обеспечены запасами энергии по меньшей мере на десять поколений, что произойдет, когда ядерное горючее будет в свою очередь израсходовано? На этот вопрос, который при нормальном ходе событий возникнет не раньше, чем через несколько веков, можно, как нам кажется, ответить уже теперь. Ядерное горючее, о котором мы говорили выше, то есть уран и торий, является источником энергии, высвобождающейся в процессе деления их ядер. В военных целях эти вещества служат для производства атомных бомб, подобных тем, которые были сброшены на Хиросиму и Нагасаки. Однако, как

мы видели выше, существуют еще термоядерные бомбы основанные на принципе соединения ядер легких элементов, таких, как водород и его изотопы. Эти могучие разрушительные средства помогли доказать возможность получения ядерной энергии путем синтеза. По мнению председателя Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, через 20 лет ученые найдут способы получения и контролируемого использования этого нового вида энергии. Термоядерная энергия, которую следовало бы скорее называть энергией синтеза, будет обладать большими преимуществами перед энергией, получаемой в результате деления ядер. Она будет дешевле и при прочих равных данных более мощной, чем энергия деления ядер. Но самое главное ее преимущество будет заключаться в том, что ее применение не связано с опасностью радиоактивного заражения, являющейся серьезным препятствием для использования атомной энергии в мирных целях.

Нам кажется, что использование термоядерной энергии будет осуществлено раньше, чем через 20 лет, особенно если учесть недавнее открытие антипротона. Сейчас идут разговоры о создании при помощи взрыва термоядерных бомб подземных котлов диаметром в несколько сот метров, которые смогут питать теплоэлектростанцию в течение нескольких месяцев, а также о том, чтобы в огромные воронки, образованные взрывами термоядерных бомб, направить морскую воду и заставить ее вращать установленные у края таких воронок турбины. Впрочем, разве Булганин и Хрущев не заявили во время своей поездки в Англию в конце апреля 1956 года, что русские уже нашли практическое решение этого вопроса? Что думать об этих заявлениях? Возможно, что не все в них соответствует действительности, но бросается в глаза то обстоятельство, что если примерно год назад крупнейшие специалисты говорили, что использование термоядерной энергии в мирных целях станет возможным не раньше чем через 25 лет, то теперь это является вопросом всего лишь нескольких лет, а может быть даже и месяцев.

Как только использование термоядерной энергии станет реальным фактом, энергетическая проблема будет снята с повестки дня, так как запасы водорода в природе практически неограниченны. На нашей планете водород очень распространен; например, он входит в состав воды,

которая покрывает три четверти земной поверхности. Следовательно, ближайшее будущее, как нам кажется, уже обеспечено, а за отдаленное будущее также вряд ли следует опасаться.

Когда проблема использования термоядерной энергии будет решена, можно будет утверждать, что проблема обеспечения энергии не возникнет практически ни для одного из будущих поколений, тем более что к тому времени будет найден способ использования других видов энергии, например солнечной.

II. Энергетические потребности Франции

Как обстоит дело во Франции? Какое значение может иметь здесь ядерная энергия по сравнению с обычными источниками энергии и какие выгоды принесет ее использование? Вот вопросы, на которых мы сейчас остановимся.

1. Спрос на энергию

Спрос на энергию во Франции характеризуется следующими цифрами:

а) годовое потребление угля, которое с начала XX века изменилось весьма незначительно, составляет сейчас около 70 млн. т. Есть основания полагать, что в будущем эта цифра сократится, поскольку потребление угля железнодорожным транспортом и расход его на отопление уменьшается из года в год. Однако нужно принять во внимание то обстоятельство, что тепловые электростанции будут расходовать все больше и больше угля;

б) потребление нефтепродуктов на транспорте было до сих пор довольно низким. Оно увеличивается ежегодно примерно на 7%. В 1955 году потребление нефтепродуктов на территории метрополии составило 15,6 млн. т — вдвое больше, чем в 1949 году;

в) в 1955 году во Франции было израсходовано 49,4 млрд. *квт-ч* электроэнергии, то есть на 9,1% больше, чем в 1954 году. За период с 1946 по 1956 год потребление электроэнергии во Франции возросло в 2,6 раза.

Следует добавить, что по потреблению электроэнергии на душу населения (1060 *квт-ч*) Франция занимает седьмое место в мире после Норвегии (6450 *квт-ч*), Соединен-

ных Штатов Америки, Швейцарии, Великобритании, Западной Германии и Бельгии. В общем можно сказать, что в 1954 году потребление электроэнергии на душу населения во Франции составило в переводе на условное топливо 105, а в 1915 году — 112 млн. т.

2. Производство энергии.

а) Добыча угля во Франции остается примерно на одном и том же уровне, не превышая 55—60 млн. т в год.

Если сравнить эту цифру с другой, характеризующей потребление, то мы увидим, что Франция испытывает хронический дефицит в угле, главным образом в коксе. Этот дефицит, который приходится покрывать за счет импорта, составляет примерно 15 млн. т в год.

В 1953 году во Франции было добыто 54,3 млн. т угля, в 1954 году — 56,3 млн. т. В 1955 году добыча угля во Франции, несмотря на уменьшение количества рабочих, занятых в угольной промышленности, достигла уровня рекордного 1952 года. В 1955 году было добыто 57,4 млн. т, что превышает добычу 1938 года на 20%. Основных угольных бассейнов во Франции около десятка; наиболее значительными из них являются бассейны департаментов Нор и Па-де-Кале (29 млн. т в 1955 году) и Лотарингии (13 млн. т).

Запасы каменного и бурого угля во Франции оцениваются в 12 млрд. т. Следовательно, угля во Франции хватит примерно на 200—250 лет. Другими словами, через 4—5 поколений основная часть угольных запасов Франции будет исчерпана.

б) Добыча нефти во Франции в 1955 году впервые превысила 1 млн. т и достигла 1,036 млн. т против 700 тыс. т в 1954 году, 556 тыс. т в 1953 году и всего 56 тыс. т в 1946 году. Нефтеперерабатывающие заводы в 1955 году дали 23 млн. т нефтепродуктов против 22 млн. т в 1954 году. Это вдвое больше продукции 1949 года и вчетверо — продукции 1938 года. На нефтеперерабатывающих заводах было переработано 25 млн. т сырой нефти, или на 1 млн. т больше, чем в 1954 году.

Что касается газа, то в 1953 году Управление национализированными предприятиями газовой промышленности отпустило потребителям 3,14 млрд. кубометров газа. Это является рекордной цифрой, так как в 1954 году бы-

ло отпущено всего 2,97 млрд. кубометров. Подобный рост в 6% объясняется проведенными работами по модернизации и укрупнению газовых предприятий (45 газовых заводов в 1955 году были закрыты), а также введением в строй новых заводов.

Трудно сказать, в каких размерах будет расти добыча нефти и газа в будущем. Последние геологические изыскания, проведенные в основном на юго-западе Франции, позволяют надеяться на значительный рост. Можно полагать, что ежедневная добыча газа составит 1 млн. кубометров в 1957 году, 4 млн. кубометров в 1958 году и 12 млн. кубометров в 1961 году. Если будут открыты новые месторождения природного газа, то стоимость его будет на 30% ниже стоимости жидкого топлива. Следует отметить, что геологическое строение Западной Европы и последние изыскания, проведенные в Аквитанской низменности во Франции (Парангиз, Лак) и в долине реки По в Италии (Кортемаджоре), дают основание полагать, что если в этих странах затратить необходимые средства, то можно будет добиться значительного увеличения доли нефти и природного газа в выработке энергии, которая в настоящее время равна всего 2%.

в) Почти половину всей производимой во Франции электроэнергии дают гидроэлектростанции, вторую половину — тепловые электростанции.

В 1955 году было выработано примерно 50 млрд. *квт-ч* электроэнергии, из них 85% (42 млрд. *квт-ч*) пошли на промышленные цели, а 15% (7,5 млрд. *квт-ч*) были израсходованы на бытовые нужды. Потребление тока высокого напряжения в 1955 году увеличилось по сравнению с предыдущим годом на 10%, а тока низкого напряжения — на 6%. Из наиболее крупных потребителей электроэнергии следует отметить черную металлургию (14% всего потребляемого количества электроэнергии), электрохимию и электрометаллургию (12%) и железнодорожный транспорт (7%). Расход электроэнергии на бытовые нужды возрос во Франции на 11%, то есть более чем на 2 млрд. *квт-ч*. Это объясняется резким увеличением числа электроприборов личного пользования, обладание которыми, по взглядам французов, неразрывно связано с понятием комфорта.

Производство гидроэлектроэнергии достигло в 1955 году 25 млрд. *квт-ч*, что на 5,4% больше, чем в 1954 году

(Альпы-Рона — 65%, Центральный массив — 20%, Пиренеи — 15%).

Дальнейшее увеличение выработки гидроэлектроэнергии зависит от ассигнований на строительство новых электростанций. Не исключено, что увеличения производства гидроэлектроэнергии можно будет добиться также путем использования некоторых других источников (например, энергии морских приливов в бухте Мон-Сен-Мишель), что даст возможность с небольшими затратами увеличить производство гидроэлектроэнергии в ближайшие 20 лет на 40 млрд. *квт-ч*. Но, как только будет достигнут уровень в 60 млрд. *квт-ч* в год, стоимость электроэнергии, вырабатываемой гидроэлектростанциями, может стать выше получаемой на тепловых электростанциях. Впрочем, специалисты считают, что если начать постройку гидроэлектростанций во всех удобных для этого местах, то через 20 лет все возможности в этой области будут исчерпаны.

Выработка электроэнергии на тепловых электростанциях достигла в 1955 году 23,95 млрд. *квт-ч*, или на 12,4% больше, чем в 1954 году.

Если общее количество производимой во Франции энергии выразить в миллионах тонн условного топлива, то мы получим следующие данные: 1954 год — 71 (уголь — 56, гидроэлектроэнергия — 14,5, газ — 0,5), 1955 год — 73,5 (57,5+15,5+0,5).

Если сравнить цифры, характеризующие наши энергетические потребности, с данными о фактическом производстве энергии, то мы увидим, что в 1954 году мы имели дефицит в 34 млн. *т* условного топлива, а в 1955 году — уже 38,5 млн. *т*. Надо полагать, что и впредь этот дефицит будет постоянно расти и в 1965 году составит 50—60 млн. *т* условного топлива.

Вытеснение горючих ископаемых должно идти очень быстрыми темпами. Однако количество электроэнергии, которое произведут атомные электростанции в 1965 году, будет составлять, как полагают, всего 2 млрд. *квт-ч*. Полная замена горючих ископаемых, используемых для производства электроэнергии, ядерным горючим произойдет только лет через двадцать, а пока, чтобы покрыть постоянно растущие потребности в энергии, нужно развивать наши обычные способы ее производства. Поэтому Управление национализированными предприятиями по производству электроэнергии считает необходимым построить во

Франции в ближайшие десять лет 13 тепловых электростанций. Стоит даже вопрос о том, чтобы построить эти электростанции в радиусе 40 км от Парижа, что совершенно непонятно, так как эти электростанции должны будут работать на каменном угле или на мазуте и, следовательно, будут выбрасывать в атмосферу окись углерода и сернистый газ, который, соединяясь с влагой воздуха, образует серную кислоту, не менее вредную для каменных зданий, чем для легких человека.

Принимая во внимание быстрый рост потребностей в энергии, будущее внушает серьезные опасения. Поэтому Франция, как, впрочем, и другие страны, особенно заинтересована в атомной энергии, которая, как нам кажется, сможет обеспечить замену существующих в настоящее время и быстро истощающихся «классических» энергетических ресурсов.

Глава VIII

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

I. Устройство ядерного реактора

Ядерный реактор состоит из следующих пяти основных элементов:

- 1) ядерного горючего;
- 2) замедлителя нейтронов;
- 3) системы регулирования;
- 4) системы охлаждения;
- 5) защитного экрана.

1. Ядерное горючее.

Ядерное горючее является источником энергии. В настоящее время известны три вида расщепляющихся материалов:

- а) уран 235, который составляет в природном уране 0,7%, или $1/140$ часть;
- б) плутоний 239, который образуется в некоторых реакторах на базе урана 238, составляющего почти всю массу природного урана (99,3%, или $139/140$ частей).

Захватывая нейтроны, ядра урана 238 превращаются в ядра нептуния — 93-го элемента периодической системы Менделеева; последние в свою очередь превращаются в ядра плутония — 94-го элемента периодической системы. Плутоний легко извлекается из облученного урана химическим путем и может быть использован в качестве ядерного горючего;

в) уран 233, представляющий собой искусственный изотоп урана, получаемый из тория.

В отличие от урана 235, который содержится в природном уране, плутоний 239 и уран 233 получают только искусственным путем. Поэтому их называют вторичным ядерным горючим; источником получения такого горючего служат уран 238 и торий 232.

Таким образом, среди всех перечисленных выше видов ядерного горючего основным является уран. Этим и объясняется тот громадный размах, который принимают во всех странах поиски и разведка урановых месторождений.

Энергию, выделяющуюся в ядерном реакторе, сравнивают иногда с той, которая выделяется при химической реакции горения. Однако между ними существует принципиальное различие.

Количество тепла, получаемое в процессе деления урана, неизмеримо больше количества тепла, получаемого при сгорании, например, каменного угля: 1 кг урана 235 , равный по объему пачке сигарет, теоретически мог бы дать столько же энергии, сколько 2600 т каменного угля.

Однако эти энергетические возможности используются не полностью, поскольку не весь уран 235 удается отделить от природного урана. В результате 1 кг урана в зависимости от степени его обогащения ураном 235 эквивалентен в настоящее время примерно 10 т каменного угля. Но следует учесть, что использование ядерного горючего облегчает транспортировку и, следовательно, значительно снижает себестоимость топлива. Английские специалисты подсчитали, что путем обогащения урана они смогут добиться увеличения получаемого в реакторах тепла в 10 раз, что приравняет 1 т урана к 100 тыс. т каменного угля.

Второе отличие процесса деления ядер, идущего с выделением тепла, от химического горения заключается в том, что для реакции горения необходим кислород, в то время как для возбуждения цепной реакции требуется лишь несколько нейтронов и определенная масса ядерного топлива, равная критической массе, определение которой мы уже давали в разделе об атомной бомбе.

И, наконец, невидимый процесс деления ядер сопровождается испусканием чрезвычайно вредных излучений, от которых необходимо обеспечить защиту.

2. Замедлитель нейтронов.

Для того чтобы избежать распространения в реакторе продуктов распада, ядерное горючее должно быть помещено в специальные оболочки. Для изготовления таких

оболочек можно использовать алюминий (температура охладителя при этом не должна превышать 200°), а еще лучше бериллий или цирконий — новые металлы, получение которых в чистом виде сопряжено с большими трудностями.

Образующиеся в процессе деления ядер нейтроны (в среднем 2—3 нейтрона при делении одного ядра тяжелого элемента) обладают определенной энергией. Для того чтобы вероятность расщепления нейтронами других ядер была наибольшей, без чего реакция не будет самоподдерживающейся, необходимо, чтобы эти нейтроны потеряли часть своей скорости. Это достигается путем помещения в реактор замедлителя, в котором быстрые нейтроны в результате многочисленных последовательных столкновений превращаются в медленные. Поскольку вещество, используемое в качестве замедлителя, должно иметь ядра с массой, примерно равной массе нейтронов, то есть ядра легких элементов, в качестве замедлителя с самого начала применялась тяжелая вода (D_2O , где D — дейтерий, заместивший легкий водород в обычной воде H_2O). Однако теперь стараются все больше и больше использовать графит — он дешевле и дает почти тот же эффект.

Принято считать, что в реакторах мощность в 1 *квт* соответствует примерно 1000 нейтронов на 1 *см³*, поэтому иногда мощность реактора измеряется в нейтронах.

Тонна тяжелой воды, покупаемой в Швеции, обходится в 70—80 млн. франков. На Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии американцы заявили, что в скором времени они смогут продавать тяжелую воду по цене 22 млн. франков за тонну.

Тонна графита стоит 400 тыс. франков, а тонна окиси бериллия — 20 млн. франков.

Вещество, используемое в качестве замедлителя, должно быть чистым, чтобы избежать потерь нейтронов при их прохождении через замедлитель. В конце пробега нейтроны имеют среднюю скорость около 2200 *м/сек*, в то время как их начальная скорость была порядка 20 тыс. *км/сек*. В реакторах выделение тепла происходит постепенно и может контролироваться в отличие от атомной бомбы, где оно происходит мгновенно и принимает характер взрыва.

В некоторых типах реакторов на быстрых нейтронах замедлитель не требуется.

3. Система регулирования.

Человек должен иметь возможность по своему желанию вызывать, регулировать и останавливать ядерную реакцию. Это достигается при помощи регулирующих стержней из бористой стали или из кадмия — материалов, обладающих способностью поглощать нейтроны. В зависимости от глубины, на которую регулирующие стержни опускаются в реактор, количество нейтронов в активной зоне увеличивается или уменьшается, что в конечном счете дает возможность регулировать процесс. Управление регулируемыми стержнями осуществляется автоматически при помощи сервомеханизмов; некоторые из этих стержней в случае опасности могут мгновенно падать в активную зону.

Сначала высказывались опасения, что взрыв реактора причинит такой же ущерб, что и взрыв атомной бомбы. Для того чтобы доказать, что взрыв реактора происходит лишь в условиях, отличающихся от обычных, и не представляет серьезной опасности для живущего по соседству с атомным заводом населения, американцы намеренно взорвали один так называемый «кипящий» реактор. Действительно, произошел взрыв, который мы можем охарактеризовать как «классический», то есть неядерный; это лишнее раз доказывает, что ядерные реакторы могут строиться вблизи населенных пунктов без особой опасности для последних.

4. Система охлаждения.

В процессе деления ядер выделяется определенная энергия, которая передается продуктам распада и образующимся нейтронам. Эта энергия в результате многочисленных столкновений нейтронов превращается в тепловую, поэтому для того, чтобы предупредить быстрый выход реактора из строя, тепло необходимо отводить. В реакторах, предназначенных для получения радиоактивных изотопов, это тепло не используется, в реакторах же, предназначенных для производства энергии, оно становится, наоборот, основным продуктом. Охлаждение может осуществляться при помощи газа или воды, которые циркулируют в реакторе под давлением по специаль-

ным трубкам и потом охлаждаются в теплообменнике. Отданное тепло может использоваться для нагревания пара, вращающего соединенную с генератором турбину; подобное устройство будет представлять собой атомную электростанцию.

5. Защитный экран.

Для того чтобы избежать вредного воздействия нейтронов, могущих вылететь за пределы реактора, и предохранить себя от испускаемого в процессе реакции гамма-излучения, необходима надежная защита. Ученые подсчитали, что реактор мощностью в 100 тыс. квт выделяет такое количество радиоактивных излучений, что человек, находящийся от него на расстоянии 100 м, получит за 2 мин. смертельную дозу. Для обеспечения защиты персонала, обслуживающего реактор, строятся двухметровые стены из специального бетона со свинцовыми плитами.

Первый реактор был построен в декабре 1942 года итальянцем Ферми. К концу 1955 года в мире насчитывалось около 50 ядерных реакторов (США—21, Англия—4, Канада — 2, Франция — 2). К этому следует добавить, что к началу 1956 года было запроектировано еще около 50 реакторов для исследовательских и промышленных целей (США — 23, Франция — 4, Англия — 3, Канада — 1).

Типы этих реакторов очень разнообразны, начиная от реакторов на медленных нейтронах с графитовыми замедлителями и природным ураном в качестве топлива до реакторов, работающих на быстрых нейтронах и использующих в качестве топлива уран, обогащенный плутонием или ураном 233, получаемым искусственным путем из тория.

Кроме этих двух противоположных типов, существует еще целый ряд реакторов, различающихся между собой либо составом ядерного горючего, либо типом замедлителя, либо теплоносителем.

Очень важно отметить, что, хотя теоретическая сторона вопроса в настоящее время хорошо изучена специалистами во всех странах, в практической области различные страны не достигли еще одинакового уровня. Впереди других стран идут США и Россия. Можно утверждать, что будущее атомной энергии будет зависеть в основном от прогресса техники.

II. Что можно получать в ядерном реакторе?

Ядерный реактор позволяет:

- производить плутоний;
- вырабатывать тепловую энергию;
- получать радиоактивные изотопы.

Реакторы, называемые первичными¹, служат для получения плутония, поэтому тепло является в них лишь побочным продуктом. Обычно считают, что в таком реакторе на каждые 1000 квт мощности производится в день 1 г плутония. Таким образом, Маркульский реактор G-1, имеющий мощность 40 тыс. квт, должен ежегодно давать около 15 кг плутония.

Так называемые вторичные реакторы предназначены в основном для производства тепловой энергии; получаемый при этом плутоний является побочным продуктом.

1. Реактор — источник тепловой энергии.

Как мы уже говорили выше, энергия, высвобождающаяся в результате деления ядер урана, выступает в форме тепловой энергии. Последняя в определенных условиях может либо превращаться в электрическую, либо непосредственно использоваться в качестве источника движения в транспортных силовых установках.

Рассмотрим в общих чертах эти основные способы использования ядерной энергии.

а) Атом как «источник электроэнергии».

Мощность ядерных реакторов измеряется в киловаттах. Но это, так сказать, тепловые киловатты. Чтобы перевести их в электрические, нужно применить формулу Карно с учетом качества производимого тепла, которое зависит от температуры поступающей из реактора жидкости.

На современных тепловых электростанциях коэффициент полезного действия достигает 25%, в то время как на первых атомных электростанциях он пока не

¹ Термины «первичный реактор» и «вторичный реактор» в советской литературе по ядерной технике не приняты. Искусственное ядерное горючее может получаться либо в так называемых воспроизводящих реакторах, либо в реакторах-размножителях. Реакторы, используемые главным образом для производства энергии, называются энергетическими. — *Прим. ред.*

превышает 10—15%. Это объясняется тем обстоятельством, что расщепление уранового горючего в реакторах не может быть доведено до конца, так как в результате многочисленных столкновений с ядрами урана нейтроны «загрязняют» ядерное горючее, что приводит к замедлению, а в некоторых случаях и к полному прекращению цепной реакции. Например, в реакторе, построенном в Сакле, температура теплоносителя на выходе равна 130°, в реакторе G-1 — 220°, в реакторе G-2 (второй строящийся в Маркуле реактор) — 280°. В реакторе, установленном на подводной лодке «Наутилус», удастся нагреть воду до 315°. Через два года специалисты надеются довести температуру теплоносителя на выходе из реактора до 500°. Тогда к.п.д. на атомных электростанциях будет примерно таким же, как и на тепловых.

При таком невысоком к.п.д. количество электроэнергии, которое можно получать на ядерных электростанциях, сравнительно невелико. Например, мощность реактора G-1 составляет 40 тыс. кВт. Но поскольку это только тепловые киловатты, а к.п.д. этого реактора равен 12%, количество получаемой из этого тепла электроэнергии не будет превышать 5 тыс. кВт. Между тем для обеспечения работы самого реактора требуется затратить энергию в 8 тыс. кВт. Отсюда можно заключить, что реактор G-1 потребляет больше энергии, чем производит. Впрочем, нельзя забывать, что этот реактор предназначается не для выработки электроэнергии, а для получения плутония.

Лет через пять на земном шаре, вероятно, будет до десятка крупных атомных электростанций мощностью от 100 до 200 тыс. кВт каждая.

К 1975 году эта цифра, по всей вероятности, увеличится вдвое. В Великобритании атомные электростанции будут покрывать 40% всех потребностей в электроэнергии, в остальных странах Европы — 10%, в США и Канаде — 15—20%, а в Советском Союзе, по-видимому, еще больше.

Наконец, ученые считают, что к 2000 году атомные электростанции будут обеспечивать удовлетворение трех четвертей мировой потребности в электроэнергии.

Следует отметить, что электричество на атомных электростанциях вырабатывается за счет тепла, являющегося промежуточным продуктом. Поскольку электрические за-

ряды в ядерной реакции не используются и пропадают даром, возникает вопрос, нельзя ли получать электричество непосредственно без промежуточной стадии, что, без сомнения, значительно повысило бы к.п.д. атомных электростанций. Есть все основания полагать, что в ближайшем будущем ученым удастся создать специальные конденсаторы, и эта задача будет решена.

б) Атом как «источник движущей силы».

Одним из основных назначений ядерного реактора является получение электроэнергии, однако ядерная энергия может быть использована также и в качестве источника движения.

Наибольший интерес представляет использование ядерной энергетической установки на подводных лодках, так как она освобождает подводную лодку от того тяжелого груза весом 700—800 т, каким являются запас горючего и аккумуляторы. Первая американская атомная подводная лодка «Наутилус», спущенная на воду в январе 1954 года, к маю 1956 года прошла уже 37 тыс. миль, что в 1,5 раза больше длины земного экватора. Экипаж этой подводной лодки состоит из 85 матросов и 11 офицеров.

«Наутилус» может без дополнительной заправки совершить путешествие вокруг земли. Его подводная скорость, согласно официально опубликованным данным, составляет более 20 узлов. Надводное водоизмещение достигает 2800 т, вооружение — 6 торпедных аппаратов. Механизмы силовой установки занимают половину длины всей лодки, то есть 90 м из 180. В качестве горючего используется обогащенный уран, основным конструкционным материалом, по всей вероятности, является цирконий.

Вторая американская подводная лодка «Си Вулф» была спущена на воду в 1956 году. Внешне она похожа на «Наутилус», но силовая установка имеет другую конструкцию. Кроме этого, ведется строительство еще двух атомных подводных лодок: «Скейт» и «Суордфиш».

По имеющимся данным, в настоящее время в США закончено проектирование еще четырех атомных подводных лодок. Специалисты считают, что стоимость атомной подводной лодки в серийном производстве в общем не будет превышать стоимости обычной подводной лодки

(20—25 млн. долларов). Опытные образцы, разумеется, будут стоить в 2—3 раза дороже.

Что касается надводного флота, то атомными силовыми установками будут снабжаться, по всей вероятности, тяжелые военные корабли, например авианосцы, и крупные торговые суда. Атомный двигатель значительно облегчит проблему обеспечения кораблей топливом; не исключена возможность, что будущие корабли с атомными силовыми установками при спуске на воду будут снабжаться таким количеством ядерного горючего, которого им хватит до полного выхода из строя.

Хотя в США уже давно ведутся работы по созданию самолета с атомным двигателем, производство таких самолетов, как нам кажется, в ближайшее время осуществлено быть не может, так как атомный двигатель пока еще очень тяжел и громоздок. Но эти недостатки в скором времени будут устранены, и тогда дальность полета атомных самолетов будет ограничиваться только физическими возможностями экипажа.

Что касается использования атомной энергии в двигательных установках наземного транспорта, то здесь, вероятно, придется еще немного подождать. В настоящее время говорят лишь о строительстве атомных локомотивов. Об атомных автомобилях пока нет еще и речи, однако не исключено, что наши внуки будут ездить на машинах только с такими двигателями.

Через пятьдесят лет мир, по-видимому, очень сильно изменится; атомная энергия, которая сейчас делает лишь свои первые шаги, явится причиной глубоких преобразований.

2. Реактор как источник получения радиоактивных изотопов.

Мы знаем, что в природе существует 92 естественных элемента. Кроме этого, в природе существует несколько сот естественных изотопов, а физикам удалось получить искусственным путем еще более тысячи изотопов. Открытие таких изотопов само по себе не имело бы особого значения, если бы среди них не было радиоактивных веществ, называемых радиоизотопами или радиоэлементами. Благодаря своему свойству радиоактивности эти изотопы заняли важное место в науке и получили широкое практическое применение. В природе существует около

40 естественных радиоактивных изотопов, искусственных же радиоактивных изотопов гораздо больше.

Большинство искусственных радиоактивных изотопов в настоящее время получают в ядерных реакторах, подвергая вещество облучению нейтронами; их можно также извлекать из продуктов распада урана. Для производства некоторых радиоактивных изотопов можно использовать протоны высоких энергий, получаемые в ускорителях.

Попадая в ядро какого-либо элемента, нейтрон увеличивает на единицу массовое число A этого элемента, в результате чего образуются новые элементы; некоторые из них обладают свойствами радиоактивности. Так, обычный кобальт, имеющий массовое число 59, превращается в радиоактивный кобальт 60.

Основное преимущество искусственных радиоактивных изотопов заключается в дешевизне их получения и простоте применения.

Обнаружить наличие радиоактивных изотопов сравнительно нетрудно при помощи счетчиков Гейгера — Мюллера, которыми измеряют радиоактивные излучения. Это позволяет проследивать путь атомов радиоактивных изотопов, называемых поэтому «мечеными атомами».

Невозможно даже в общих чертах описать все способы применения радиоактивных изотопов, число которых увеличивается с каждым днем. Поэтому мы ограничимся описанием лишь наиболее известных способов их использования в медицине, промышленности и сельском хозяйстве.

а) Применение радиоактивных изотопов в медицине.

Радиоактивные изотопы играют в медицине большую роль. Они позволяют установить диагноз, излечить от болезни или по крайней мере замедлить ее развитие, а главным образом — лучше понять физиологические процессы, происходящие в организме.

Благодаря применению радиоактивных изотопов удалось достигнуть значительных успехов в борьбе против рака. Наиболее эффективным способом лечения рака является внутреннее облучение. При старых методах радиотерапии под действием радиоактивных излучений могли поражаться — а иногда даже совсем разрушаться — и здоровые клетки. В настоящее время удается вводить

источник радиоактивности непосредственно в опухоль, не поражая при этом нормальной ткани.

Одним из наиболее наглядных методов лечения рака радиоактивными изотопами является облучение при помощи так называемой кобальтовой пушки. Кобальтовая пушка заменяет лечение рентгеновскими лучами и радием и является более экономичной и практичной по сравнению с ними. Тридцать граммов радиоактивного кобальта стоимостью 17 500 долларов испускают такое же количество излучения, как и кусок радия стоимостью 50 млн. долларов, или 17,5 млрд. франков. Кроме того, радий — очень редкий элемент. За 50 лет во всем мире было получено лишь около 2,5 кг радия. Напомним, что этот ценный металл был открыт в 1898 году Пьером Кюри и Марией Склодовской-Кюри совместно с сотрудничавшим с ними Бемоном. Для того чтобы получить 1 г радия, нужно переработать 3 т урановой руды. Кобальт 60 очень сильно отличается от радия периодом полураспада: он имеет период полураспада примерно 5,5 лет, в то время как радий — 1622 года. Кобальт может применяться либо для местного облучения, например в форме игл, подобных радиевым, либо для общего облучения (кобальтовая пушка).

Для лечения заболеваний различных желез употребляются радиоактивные изотопы тех элементов, которые поглощаются этими железами. Так, для лечения рака щитовидной железы применяется радиоактивный йод, который поглощается этой железой.

Некоторые заболевания, например рак мозга, можно лечить радиоактивным золотом. Маленькие шарики из смеси радиоактивного золота с радиоактивным фосфором вводятся в опухолевую ткань, которая разрушается под действием радиоактивных излучений, причем соседние ткани остаются невредимыми.

Скорость тока крови в организме можно измерять, добавляя в кровь красные кровяные тельца, меченные радиоактивным фосфором. При помощи радиоактивного фосфора можно также обнаружить белокровие. Если организм здоров, то через 4—5 дней с мочой уходит 50% радиоактивного фосфора, а если болен — то лишь 10%.

Наконец, благодаря радиоактивным изотопам удалось установить, что прежнее представление об обмене веществ в организме было ошибочным. Ученые заметили,

что живой организм не сразу выбрасывает неувоенные питательные вещества. Обновление веществ происходит непрерывно: новые клетки вырастают в ткань, в то время как умершие и, следовательно, ненужные клетки разрушаются. Так, например, радиоактивный кальций позволил установить, что костные ткани человека постоянно обновляются.

Эти открытия проливают новый свет на процесс самой жизни и ставят новые вопросы, над которыми раньше даже не задумывались. В самом деле, если клетки мозга и других тканей непрерывно обновляются, чем можно объяснить тот факт, что характер и поведение человека в течение долгих лет жизни остаются неизменными, хотя физически он никогда не бывает одним и тем же?

б) Применение радиоактивных изотопов в сельском хозяйстве.

Большую помощь оказал науке метод, заключающийся в том, что радиоактивные вещества вводят в растения с целью проследить процесс их питания. Этот метод помог, в частности, повысить урожайность сельскохозяйственных культур, а следовательно, увеличить количество производимых в мире продуктов.

Так, было установлено, что если фосфатом посыпать листья растений, то усвоение его происходит на 95%, в то время как при введении фосфата в землю оно не превышает 10%.

Этот метод помог получить новые виды растений, более стойкие к некоторым заболеваниям, а также различные интересные гибриды.

Метод «меченых атомов» позволил уточнить множество деталей. Теперь известно, например, что протеины куриных яиц образуются не из тех веществ, которыми курицу кормили недавно, а из тех, которыми ее кормили месяц тому назад. Стали известны также продолжительность жизни комаров и расстояния, которые они могут пролетать.

Интересные результаты были получены также в области хранения продовольственных товаров. Например, картофель после облучения его гамма-лучами может с успехом храниться при постоянной температуре 10° С в течение двух лет. Это позволяет обойтись без дорогих холодильников. Разработанный недавно в США метод облучения продовольствия гамма-лучами позволяет облучать

до 15 т продуктов в день. Такие же интересные результаты были получены в области хранения медикаментов.

Радиоактивные изотопы помогают также уничтожать сельскохозяйственных вредителей при хранении зерна. Подвергая облучению целые зернохранилища, можно, не прибегая к вредным для человеческого организма химическим препаратам, полностью уничтожить насекомых и их личинки, в том числе и долгоносика. Если учесть, что потери зерна от таких вредителей составляют 15% урожая, станет ясно, что применение этого нового метода дает значительную экономию. Член американской Комиссии по атомной энергии доктор Либби в докладе, сделанном в начале 1956 года, заявил, что экономия, полученная в США в результате применения радиоактивных изотопов только в этой области, достигла 30 млрд. долларов.

Наконец, следует отметить, что радиоактивные изотопы помогут решить проблему фотосинтеза. Фотосинтез, или синтез под действием света, — это современное название процесса усвоения растениями хлорофилла, в котором участвует световая энергия. Изучение роста живых организмов позволяет надеяться, что в скором времени эта проблема будет решена.

Получение органической материи путем фотосинтеза является самой важной задачей современной химии.

Ученые подсчитали, что кукуруза на площади в 1 га связывает в год от 1,5 до 2 т углерода.

Общее количество углерода, связываемого ежегодно всей растительностью земного шара, оценивается в 35 млрд. т, а количество связываемой в результате фотосинтеза световой энергии в переводе на тепловую составляет миллиард миллиардов больших калорий!

в) Применение радиоактивных изотопов в промышленности.

Способы применения радиоактивных изотопов в промышленности многочисленны и разнообразны. Их использование позволяет, например, американской промышленности экономить ежегодно миллиарды долларов. Среди многочисленных способов применения радиоактивных изотопов ведущее место в настоящее время занимает гамма-дефектоскопия. Это не что иное, как разновидность рентгеновской дефектоскопии, в которой рентгеновская

трубка заменена источником радиоактивного кобальта. Излучаемые радиоактивным кобальтом гамма-лучи обладают большей проникающей способностью, чем рентгеновские лучи. Они проходят сквозь проверяемую деталь и, если в ней есть пустоты или трещины, вызывают в соответствующих местах почернение фотопластины. Так получается отпечаток, на котором отчетливо видны все дефекты. Этим способом можно контролировать качество литья и сварных швов на глубину 10—15 см, в то время как рентгеновские лучи позволяют осуществлять такой контроль на глубину не более 1 см.

Можно назвать также и другие способы применения радиоактивных изотопов: контроль износа поршневых колец и шин, обнаружение утечек в подземных трубопроводах, измерение уровня жидкостей в закрытых резервуарах, измерение толщины различных материалов, производимых в листах или рулонах, улучшение производства бензина в лабораторных условиях путем облучения гамма-лучами сырой нефти, снятие статических зарядов и, наконец, решение различных специальных проблем в области гидрологии (поиски источников водоснабжения и контроль за обмелением портов в результате наноса песка). О каждом из вышеназванных способов применения радиоактивных изотопов можно было бы, конечно, говорить очень долго.

г) Применение радиоактивных изотопов для изучения прошлого.

Теперь следует остановиться на роли атома в качестве помощника историка, так как он позволяет точно определить возраст различных древних предметов. Измеряя радиоактивность последних, можно определить их «возраст» по количеству содержащегося в них углерода 14. Со смертью организма цикл углерода 14 прекращается, и, следовательно, количество содержащегося в организме углерода 14 после его смерти постоянно уменьшается. Это уменьшение происходит медленно, так как период полураспада углерода составляет 5700 лет. Так, например, если измерять радиоактивность срубленного 5700 лет назад дерева, то счетчик Гейгера—Мюллера зарегистрирует всего 6 бета-импульсов в минуту, в то время как у недавно срубленного дерева он покажет 12 импульсов, а у дерева, срубленного 11 400 лет назад, — всего 3 импульса в минуту.

Таким образом, удалось установить, что каменное оружие Стоунхендж в Англии имеет возраст 4 тыс. лет, в пещере Ляско во Франции 15 тыс. лет тому назад уже жили люди, что верхний палеолит в Дордони был 20 тыс. лет тому назад, а знаменитые рукописи, найденные на побережье Мертвого моря, относятся к 30—40 годам нашей эры.

Наконец, применяя некоторые другие методы, ученые точно установили возраст нашей планеты и время существования различных геологических эпох.

Мы в самых общих чертах рассказали о применении радиоактивных изотопов. Возможности, которые они перед нами открывают, сейчас даже трудно себе представить.

В самом ближайшем времени радиоэлементы станут помощниками исследователей, помогут улучшить условия жизни людей и расширить их знания и поле деятельности.

Глава IX

ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ

На Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии Франция фигурировала как четвертая в мире атомная держава после Соединенных Штатов Америки, Советского Союза и Англии (вместе с Канадой). Несомненно, это почетное место ей обеспечили прежде всего интересные работы наших ученых и исследователей.

С 1945 года всеми исследованиями в области ядерной энергии во Франции ведает Комиссариат по атомной энергии (КАЭ), который является гражданским учреждением, обладающим административной и финансовой самостоятельностью. КАЭ насчитывает в настоящее время свыше 4 тыс. сотрудников и работает в тесном взаимодействии с многочисленными заинтересованными промышленными предприятиями. Французский атомный центр находится в Сакле, расположенном в департаменте Сена и Уаза в 25 км южнее Парижа. Кроме того, намечается создание второго атомного центра в Гренобле.

1. Достижения в области атомной энергии за границей

Прежде чем перейти к рассмотрению проделанных во Франции работ в области атомной энергии, нужно сказать о том вкладе, какой внесли сюда другие государства. Нетрудно заметить, что достижения в области использования ядерной энергии в различных странах зависят от энергетических ресурсов каждой из этих стран. Очевидно, что Норвегия, например, которая располагает достаточными водными ресурсами, не особенно заинтересована в строительстве большого количества ядерных электростанций. Мы очень коротко остановимся на достижениях

в этой области в Великобритании, Соединенных Штатах Америки и Советском Союзе.

1. Великобритания.

Великобритания бедна гидроэнергетическими ресурсами, а ее ресурсы горючих ископаемых начинают истощаться. Это заставило Великобританию приступить быстрыми темпами к замене истощающихся ресурсов атомной энергией. В настоящее время в этой стране насчитывается около 15 действующих и строящихся реакторов и 3 строящиеся электростанции: одна — в Колдер-Холле в графстве Камберленд, другая — в местечке Даунрей на севере Шотландии (эти две электростанции предполагалось ввести в строй в 1956 году ¹), а третья, более мощная, — на юге Шотландии.

Англичане намечают к 1960 году довести общую мощность своих атомных электростанций до 500 тыс. *квт*, а к 1965 году — до миллиона *квт* ². В 1975 году атомные электростанции в Англии дадут 40% всей необходимой энергии, что позволит ежегодно экономить 40 млн. т угля. Полная замена горючих ископаемых ядерным топливом будет осуществлена не раньше конца XX века.

2. Соединенные Штаты Америки.

а) Строительство первых атомных энергетических установок относится к 1951 году. Небольшой городок Арко в штате Айдахо, находящийся неподалеку от Аргоннского атомного центра, в 1951 году получил первые киловатты электроэнергии, произведенной атомной энергетической установкой. Начиная с июля 1955 года, Арко освещается «атомным электричеством», вырабатываемым «кипящим» реактором, подобным тому, который во время Женевской конференции в августе 1955 года был установлен в парке Дворца наций. Такой реактор мощностью в 15 тыс. *квт* стоит менее 400 млн. франков.

б) Первая крупная атомная электростанция в США

¹ Атомная электростанция в Колдер-Холле мощностью около 9 тыс. *квт* вступила в строй 17 октября 1957 года. — *Прим. ред.*

² В конце 1956 года в Англии был принят новый вариант программы строительства атомных электростанций, по которому их общая мощность к 1965 году должна составить 6 млн. *квт*. — *Прим. ред.*

будет построена в 1957 году в Шиппингпорте на реке Огайо, недалеко от промышленного центра Питтсбурга. Ее мощность составит около 60 тыс. *квт.* Кроме этого, намечается строительство крупной атомной электростанции в Нью-Йорке, которая будет пущена в 1960 году.

Общая мощность атомных электростанций должна составить в 1960 году около 1 млн. *квт.*

3. Советский Союз.

Советский Союз обладает первой атомной электростанцией мощностью в 5000 *квт.*, построенной в районе Калуги. Русские объявили также о начале строительства атомной электростанции мощностью в 500 тыс. *квт.*

Кроме этого, в СССР начинается строительство сети атомных электростанций мощностью 50—100 тыс. *квт.*, каждая из которых, вероятно, будет иметь два реактора.

К 1960 году мощность атомных электростанций в СССР будет доведена до 2,5 млн. *квт.*

США и СССР старались испробовать как можно больше типов ядерных реакторов. Учитывая то обстоятельство, что в области атомной энергии технический прогресс идет быстрее, чем в других областях, останавливать свой выбор на каком-либо из типов реакторов пока рано.

Поскольку Франция, с одной стороны, не испытывает такого недостатка в энергетических ресурсах, как Англия, а с другой стороны, не обладает такими богатыми финансовыми и техническими возможностями, как США и Советский Союз, она идет в вопросе использования атомной энергии позади этих стран.

II. Достижения в области использования атомной энергии во Франции

1. Первые успехи.

Общая сумма ассигнований на французскую атомную промышленность достигает 70 млрд. франков.

С 1946 по 1954 год Центр по атомной энергии получил 44 млрд. франков. До конца 1955 года во Франции было два экспериментальных реактора, работающих на тяжелой воде.

а) Первый кредит в 500 млн. франков позволил построить в 1948 году первый реактор ЗОЕ¹ в Шатильоне. Сначала вода на выходе из реактора имела обычную температуру, ту же, что и на входе, то есть мощность реактора практически была равна нулю. В настоящее время мощность этого реактора составляет примерно 150 квт.

б) Второй реактор был построен в Сакле в 1949 году. Сначала вода имела на выходе температуру 130° и использовалась для отопления зданий. В настоящее время его мощность равна 1500—2000 квт.

Эти два реактора производят примерно три четверти радиоизотопов, используемых во Франции государственными и частными предприятиями и научно-исследовательскими учреждениями. В ноябре 1955 года Комиссариат по атомной энергии поставил им тысячную партию радиоизотопов. Впрочем, производство и потребление радиоизотопов во Франции непрерывно растут. Так, в январе 1956 года число поставок радиоизотопов составило 410 против 240 в январе 1955 года. Больше половины производимых радиоизотопов используется в медицине, причем, поскольку своих радиоизотопов во Франции не хватает, их приходится ввозить из английского атомного центра в Харуэлле.

Когда реактор G-1 в Маркуле заработает на полную мощность, потребность Франции в радиоизотопах будет удовлетворяться полностью.

2. План Палевского. Проводимые в настоящее время работы.

В апреле 1955 года французское правительство приняло план Палевского по развитию атомной энергии.

Отпущенные на 1955 и три последующих года средства в сумме 100 млрд. франков должны были обеспечить увеличение добычи урановых руд, развитие исследовательских работ в области атомной энергии и создание атомного центра в Маркуле, расположенном в департаменте Гар на левом берегу Роны, неподалеку от Авиньона.

а) Строительство Маркульского атомного центра началось в начале 1954 года. Первый этап работ вклю-

¹ Zéro Oxyde Eau (франц.) — реактор «нулевой» мощности на тяжелой воде. — *Прим. ред.*

чает строительство двух мощных ядерных реакторов G-1 и G-2, завода по отделению плутония и двух атомных электростанций.

Реактор G-1 работает на природном уране. В качестве замедлителя и отражателя нейтронов, используется графит, а теплоносителем служит углекислый газ¹.

Строительство этого реактора, вероятно, обошлось в общей сложности в 10 млрд. франков, причем затраты распределились следующим образом: строительство зданий — 18%, графит — 10%, машинное и котельное оборудование — 30%, электрооборудование — 15%, ядерное горючее — 27%.

Подготовительные работы были выполнены в течение 1954 года. Затем начался монтаж блока реактора, который длился до октября 1955 года. Укладка графита продолжалась один месяц и закончилась в конце ноября 1955 года. Строительство было завершено в декабре, а 7 января 1956 года атомный реактор начал работать.

Ядерное горючее в этом реакторе представляет собой 2700 урановых стержней общим весом в 1200 т. Воздух, подаваемый мощными воздуходувками, испаряет непрерывно циркулирующую воду, и пар поступает на лопатки турбины.

Следует сказать, что для пуска реактора хватило 20 т урана. Специалисты надеются, что к концу 1956 года реактор заработает на полную мощность, которая, как мы уже говорили, будет составлять 40 тыс. кВт.

б) В настоящее время в Маркуле начались работы по строительству реакторов G-2 и G-3.

Реактор G-2 вступит в строй в 1957 году. В этом реакторе в качестве горючего будет использоваться природный уран, в качестве замедлителя — графит, а в качестве теплоносителя — углекислый газ. Тепловая мощность реактора будет равна 100—150 тыс. кВт, что позволит при загрузке урана в 100 т получать 20—25 тыс. кВт электроэнергии.

Реакторы G-1 и G-2 позволят получать в год 100—120 кг плутония, который будет отделяться на заводе с полностью дистанционным управлением. Оба

¹ В реакторе G-1 теплоносителем является не углекислый газ, а воздух. — *Прим. ред.*

реактора в сумме смогут давать электроэнергию мощностью в 100 тыс. *квт.* Ввод в эксплуатацию третьего ядерного реактора G-3, который по типу будет аналогичен реактору G-2, намечен на 1958 год.

Общие затраты в Маркуле составят, по оценке специалистов, примерно 45 млрд. франков. Строительство новых атомных электростанций намечается лишь на 1959—1960 годы, после того как будет накоплен опыт работы первых двух электростанций. Лишь с введением в строй этих новых электростанций атомная энергия станет по-настоящему выгодной. Полагают, что общая мощность атомных электростанций составит к 1960 году 300 тыс. *квт.*

в) Следует добавить, что в Сакле ведется строительство еще одного реактора, названного EL-3, с примерной тепловой мощностью 15 тыс. *квт.* В этом реакторе в качестве замедлителя будет применяться тяжелая вода и в качестве ядерного горючего — природный уран. Реактор должен дать возможность изучить поведение различных материалов под действием интенсивного потока нейтронов. Следовательно, этот реактор будет исследовательского характера и не внесет никакого вклада в энергоресурсы страны.

Кроме этого, в Сакле уже работает ускоритель частиц Ван де Граафа на 5 *Мэв* и заканчивается строительство циклотрона на 25 *Мэв*. Берклейский ускоритель обладает способностью разгонять протоны до энергии 6 млрд. *эв*. Русские заканчивают строительство ускорителя на 10 млрд. *эв*¹ и говорят о строительстве еще более мощного ускорителя на 60 млрд. *эв*. Европейский исследовательский центр по ядерной энергии в Швейцарии получит синхротрон на 600 *Мэв* и протонный ускоритель на 25 млрд. *эв*.

Работы, проведенные во Франции под руководством видных ученых, ставят нашу страну в число ведущих стран в области атомной энергии. Что касается перспектив, то все будет зависеть от средств, отпущенных для развертывания работы в этой области. В 1955 году ассигнования на производство различного рода работ по атомной энергии выглядели следующим образом: США—

¹ Этот ускоритель начал работать в апреле 1957 года. — *Прим. ред.*

15 млрд. долларов (в том числе на военные нужды — 12 млрд. долларов, на мирное использование — 3 млрд.), Великобритания — 1,5 млрд. долларов (1 + 0,5), Франция — 0,2 млрд. долларов (только на мирные цели). Не подлежит сомнению, что по своим знаниям и опыту наши ученые могут соперничать с большинством иностранных ученых, и, если им дать достаточно средств, они сумеют добиться выдающихся успехов.

III. Добыча урановой руды во Франции

Если не считать Португалию, Франция является в настоящее время единственной страной в Западной Европе, добывающей урановую руду. Добычей урана во Франции заинтересовались всего лет 15 тому назад. В прошлом уран (он был открыт в 1789 году) использовался лишь в незначительном количестве в керамической промышленности.

В 1946 году во Франции было создано Управление по поискам и разработке рудных месторождений, перед которым была поставлена задача учесть все ресурсы ядерного горючего на территории метрополии и заморских владений.

Урановые залежи расположены во Франции в форме буквы V, простираясь вдоль линии архейских пород от Вандеи до Лимузена и поднимаясь оттуда через Центральный массив к департаменту Сона и Луара и Вогезам.

На территории метрополии имеется четыре месторождения урановых руд:

а) Лимузенский бассейн.

Первые залежи урана были обнаружены в конце 1948 года в Ла-Грузиле (20 км севернее Лиможа). В настоящее время в эксплуатации находится несколько шахт: «Генриетта», «Ла-Сань», «Марньяк», «Ле-Брюго», «Виллар». Добытая руда обогащается на заводе в городе Бессен-сюр-Гартамп. Здесь в основном добываются уранинит (двуокись урана, имеющая черный цвет и обладающая большой плотностью) и фосфаты урана — отенит и торбернит.

б) Вандейский бассейн.

В отличие от Лимузенского бассейна, где руда, имеющая высокое содержание урана, залегают рассредоточенно, месторождения этого бассейна довольно мощные; хотя содержание урана в руде низкое. Добыча ведется

в трех местах — в Л'Экарпьере (недалеко от Клиссона), Ла-Шапель-Ларжо и Лез-Эрбье.

Компания «Кюльман» намеревается построить здесь обогатительную фабрику.

в) Бассейн департамента Сона и Луара.

Здесь были разведаны два месторождения: в Ла-Фэ (недалеко от Грюри) и Бозо. Основную массу руды составляет уранинит с низким содержанием урана. Кроме того, были проведены поиски в других районах, например близ Шато-Шинон. В Жёньоне имеется обогатительная фабрика.

г) Бассейн Пюи-де-Дом.

Присутствие урановых руд было обнаружено здесь давно. Разработки в Лашо были заброшены, зато месторождение в районе Буа-Нуар (25 км от Виши) представляется многообещающим.

Сейчас ставится вопрос о начале разработок урановых руд в Вогезах в районе Сент-Мари-о-Мин.

Добываемые урановые руды по своему химическому составу очень разнообразны: наиболее часто встречаются уранинит и фосфаты урана. Содержание урана в рудах также различно. Для того чтобы урановую руду покупали, нужно, чтобы содержание урана в ней было выше 5%, то есть чтобы из 1 т руды можно было получить 50 кг металлического урана. Однако в большинстве урановых руд содержание урана не превышает нескольких десятых долей процента. Руда с содержанием урана от нескольких процентов до 30%, предварительно обогащенная, измельчается и отправляется на завод Буше, расположенный в департаменте Сена и Уаза в 40 км юго-восточнее Парижа и в 8 км от Нэнвиль-ле-Рош.

Разработка урановых месторождений во Франции ведется в основном Комиссариатом по атомной энергии, однако в ней принимают участие и частные компании. Так, горнорудная и металлургическая компания «Пеньяройя» предприняла поиски урановых руд в районе Севенн. Комиссариат покупает предлагаемую ему руду, как правило, по цене 4 тыс. франков за килограмм содержащегося в руде чистого урана, причем содержание урана в руде должно быть не ниже 0,2%. Для покрытия издержек, связанных с транспортировкой, предусматривается дополнительная плата.

Следует отметить, что заморские владения Франции очень богаты атомным сырьем. На Мадагаскаре имеются значительные запасы торианита, ураново-ториевых руд и бетафита; не исключено, что пустыня Сахара и Французская Западная Африка также готовят нам приятные сюрпризы.

Глава X

ВЛИЯНИЕ ПРОГРЕССА В ОБЛАСТИ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭКОНОМИЧЕСКУЮ И ОБЩЕСТВЕННУЮ ЖИЗНЬ

Прежде чем дать краткий анализ социальной проблемы, возникшей в связи с открытием атомной энергии, мы в общих чертах рассмотрим экономическую сторону вопроса, связанную со стоимостью вырабатываемой на атомных электростанциях энергии.

I. Экономическая сторона проблемы: стоимость киловатт-часа на атомных электростанциях

Подробное рассмотрение этого вопроса представляется нам преждевременным, поскольку в нем есть еще очень много неясностей. В области использования атомной энергии мы находимся всего лишь на технической и, даже можно добавить, «подготовительной» стадии. Серьезным изучением экономической стороны этого вопроса можно будет заняться лишь после того, как будут получены некоторые точные данные.

Не следует думать, как это делают многие, что использование этого нового вида энергии сразу же даст нам огромные выгоды.

Согласно обследованию, проведенному в 1953 году на последней пущенной во Франции тепловой электростанции, один киловатт установленной мощности обходится в 65 тыс. франков. Эксплуатационные расходы, которые должны соответствовать мощности электростанции, составляют 2,4 франка на один киловатт установленной мощности.

Для индивидуального потребителя или мелкого промышленника эта цифра увеличивается на стоимость передачи и трансформации электроэнергии, зависящую от удаления потребителя от электростанции. Например, па-

рижаний, использующий электроэнергию для бытовых нужд, платит за свой киловатт-час не 2,4 франка, а примерно 25 франков. Но для крупного промышленника, потребляющего большое количество электроэнергии, киловатт-час обходится гораздо дешевле.

На гидроэлектростанциях стоимость киловатт-часа установленной мощности равна примерно 135 тыс. франков.

Поскольку ни одна атомная электростанция пока еще не работает в нормальных условиях, трудно точно сказать, сколько будет стоить киловатт-час установленной мощности на атомных электростанциях. Поэтому пока можно назвать лишь приблизительную цифру, которая, по-видимому, будет меняться вместе с изменением условий эксплуатации, связанных с техническим прогрессом.

1. Элементы, определяющие себестоимость энергии.

Каждый вид энергии имеет свою себестоимость, определение которой, впрочем, связано с большими трудностями. Поэтому сравнивать себестоимость различных видов энергии можно лишь приблизительно, тем более что для определения стоимости электроэнергии на атомных электростанциях пока еще не известны все составляющие ее элементы. «Атомный» киловатт удобнее всего сравнивать с «тепловым» киловаттом, с одной стороны, потому, что атомные электростанции имеют с тепловыми большее сходство, чем с гидроэлектростанциями, а с другой стороны, потому, что они должны в ближайшем будущем заменить тепловые электростанции.

Стоимость киловатт-часа на тепловой электростанции складывается из четырех факторов: из общей суммы затрат на строительство сооружений и оборудование, срока службы электростанции, эксплуатационных расходов и стоимости топлива.

Попробуем сравнить эти факторы для атомной и тепловой электростанции.

а) В отношении затрат на строительство сооружений и оборудование следует отметить, что стоимость котельной установки составляет примерно одну треть от общей стоимости электростанции.

Реакция деления ядер тяжелых элементов сопровождается высвобождением определенного количества энер-

гии, которая выделяется в виде тепла. Это тепло передается теплоносителем и приводит в действие турбину. Но та часть электростанции, где вырабатывается пар — в скором времени она будет заменена ядерным реактором, — является всего лишь частью общего комплекса сооружений, предназначенных для снабжения потребителя электроэнергией.

Все остальное теоретически должно остаться без изменений. Пар, поступающий из реактора, будет приводить в действие те же турбогенераторы; будут использоваться те же самые высоковольтные линии электропередачи и те же трансформаторы, что и раньше.

Следовательно, атомная электростанция является не чем иным, как тепловой электростанцией, в которой котлы заменены реактором.

Приведем некоторые цифры. В США, Англии и Франции строительство первых атомных электростанций обходится в 5—15 раз дороже, чем строительство равных им по мощности тепловых электростанций. Поскольку стоимость самого реактора составляет лишь треть общей стоимости электростанции, можно заключить, что удорожание строительства за счет реактора будет порядка 2—5 (точнее 3—4) раз. По мнению специалистов, в будущем эта цифра будет уменьшаться и дойдет до 1,5.

Всего несколько лет тому назад американские строительные предприятия оценивали стоимость строительства атомных электростанций мощностью более 100 тыс. кВт в 400—500 фунтов стерлингов за киловатт установленной мощности. Хотя в 1956 году эта стоимость составляла всего 200 фунтов, она все еще остается очень высокой по сравнению со стоимостью строительства тепловых электростанций.

Постройка одного реактора типа G-1, подобного тому, какой установлен в Маркуле, обходится примерно в 10 млрд. франков. Стоимость обогатительной фабрики, перерабатывающей в год 1000 т руды и дающей уран с 90%-ным содержанием урана 235, оценивается в 160 млрд. франков. Установка с дистанционным управлением по обработке 500 т урановых стержней в год стоит около 15 млрд. франков. Эти огромные цифры примерно соответствуют расходам на постройку самых крупных плотин.

б) Вторым фактором, определяющим стоимость электроэнергии, является срок службы электростанции.

Строящиеся в настоящее время атомные электростанции проработают, по мнению специалистов, 10 лет. В будущем, с применением всех новейших достижений техники, срок их действия увеличится до 20 лет, несмотря на то, что возникнут новые трудности, заключающиеся в преждевременном износе оборудования в результате сильного нейтронного облучения.

в) Третий фактор — эксплуатационные расходы. Эксплуатационные расходы на атомных электростанциях в общей сложности будут выше, чем на тепловых электростанциях. Доля стоимости топлива в общих затратах может быть самой различной в зависимости от типа реактора. На первых атомных электростанциях стоимость топлива составляла одну треть общих расходов, а стоимость сооружений и оборудования — остальные две трети. Такое соотношение в будущем несомненно изменится, и не исключена возможность, что оно станет обратным.

Следовательно, мы установили, что на атомных электростанциях три первых фактора, из которых складывается стоимость электроэнергии, выше, чем на тепловых электростанциях.

г) Но, к счастью, имеется еще четвертый фактор, участвующий в образовании стоимости киловатт-часа, а именно себестоимость топлива.

Можно утверждать, что себестоимость ядерного топлива на единицу производимой энергии гораздо ниже, чем себестоимость горючих ископаемых. На обычных тепловых электростанциях стоимость израсходованного топлива составляет примерно одну треть стоимости выработанной электроэнергии. На строящихся в Англии атомных электростанциях 1 т урана будет эквивалентна 10 тыс. т каменного угля. В последующем эта цифра будет увеличена в 10 раз благодаря введению повторного цикла. Тогда 1 т урана даст такое же количество тепловой энергии, как 100 тыс. т каменного угля. Поэтому в 1975 году в Англии 400 т ядерного горючего смогут заменить 40 млн. т каменного угля. Впрочем, к этому времени графитовые замедлители нейтронов будут заменены, по всей вероятности, жидкими замедлителями, что еще больше уменьшит капитальные расходы на единицу энергии.

2. Стоимость «атомного» киловатт-часа по сравнению с «тепловым» киловатт-часом.

Вот некоторые цифры, заимствованные у англичан, которые, как мы уже говорили, достигли больших успехов в области практического использования атомной энергии.

Первые атомные электростанции в Великобритании мощностью 150—200 тыс. *квт* при работе на 80% своей мощности потребуют 250 т ядерного горючего (природного урана); впрочем, часть его может быть обогащена. Общая сумма капиталовложений на строительство этих электростанций оценивается в 18,8 млн. фунтов стерлингов (7,5 млн. фунтов — реактор, 11,3 млн. — генератор). Если считать стоимость 1 т урана равной 20 тыс. фунтов стерлингов, то 1 *квт-ч* энергии будет стоить 0,76 пенса, то есть примерно 3 франка (1 пенс равен 4 франкам, а фунт стерлингов — примерно 1000 франков).

Если взять отношение стоимостей 1 *квт-ч* установленной мощности на атомных и тепловых электростанциях, мы увидим, что в настоящее время оно равно в США 1,7, а в Великобритании — 1,6.

Впрочем, эта величина должна быстро уменьшаться. Американские специалисты считают, что через 5 лет она снизится до 1,4, через 10 лет — до 1,2, а в дальнейшем будет значительно ниже 1, причем, по мнению некоторых экспертов, она будет стремиться к нулю!

Трудно дать точные цифры, характеризующие это соотношение во Франции, так как мы в этой области находимся лишь в начальной стадии. Перед Управлением национализированными предприятиями по производству электроэнергии поставлена задача — в ближайшем будущем обеспечить замену существующих электростанций и ввести в действие реакторы, которые позволят удваивать выработку электроэнергии каждые два-три года. Первые атомные электростанции, которые по плану должны быть пущены в 1959 году, будут располагаться у слияния рек Луары и Вьенны.

По мнению французских специалистов, соотношение между стоимостями киловатт-часа установленной мощности на атомных и тепловых электростанциях во Франции будет вначале колебаться между 2 и 3; это означает, что 1 *квт-ч* на атомных электростанциях будет сначала более чем вдвое, но менее чем втрое дороже, чем на тепловых электростанциях. Затем стоимость киловатт-часа будет

быстро снижаться благодаря целому ряду причин, на которых мы вкратце остановимся.

а) Непрерывное усовершенствование реакторов. Первая тепловая электростанция, построенная в 1882 году в Нью-Йорке, расходовала 10 фунтов каменного угля на 1 квт-ч вырабатываемой электроэнергии. Одна из последних тепловых электростанций, построенная в 1953 году (Астория), расходует всего 0,75 фунта каменного угля. Следовательно, расход угля на тепловых электростанциях на 1 квт-ч вырабатываемой энергии за 70 лет уменьшился примерно в 13 раз. Следует, безусловно, ожидать, что прогресс в области ядерных энергетических установок будет еще более быстрым.

В бридерных реакторах, или реакторах-размножителях, можно будет получать больше топлива, чем расходовать, то есть количество подвергнувшегося делению урана будет при известных условиях меньше, чем количество ядерного вещества, получаемого в виде плутония или урана 233.

б) Использование получаемого плутония. В первичных реакторах плутоний, который стоит чрезвычайно дорого, можно будет получать в качестве побочного продукта (1 г плутония в день на 1000 квт мощности). Вернемся к цифрам, которые мы приводили, характеризуя стоимость киловатт-часа на английских атомных электростанциях. Ученые считают, что в течение по крайней мере ближайших 10 лет стоимость 1 кг плутония будет колебаться между 5 тыс. и 10 тыс. фунтов стерлингов. Если взять наименьшую цифру, то есть 5 тыс. фунтов, то 1 квт-ч «атомной» электроэнергии будет стоить не 0,76, а 0,6 пенса (то есть 2,4 франка), что, однако, продолжает оставаться выше стоимости электроэнергии, вырабатываемой в Англии тепловыми электростанциями. Если же взять наибольшую стоимость плутония (10 тыс. фунтов стерлингов), то стоимость киловатт-часа на атомных электростанциях снизится до 0,42 пенса, или 1,4 франка. Следует отметить, что в будущем стоимость плутония будет зависеть от решения вопроса о запрещении ядерного оружия.

в) Наконец, не следует забывать и радиоактивных отходов, к которым мы еще вернемся в следующей главе, поскольку этот вопрос тесно связан с вопросом защиты.

В заключение нужно сказать, что во Франции атомная энергия сможет соперничать по стоимости с обычными источниками энергии не раньше, чем через 15 лет. Следовательно, стоимость электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях, будет уменьшаться по мере технического прогресса, тогда как — и это является очень важным обстоятельством — стоимость электроэнергии, производимой тепловыми электростанциями, будет возрастать. Когда кривая уменьшения стоимости атомной энергии пересечется с кривой роста стоимости обычной электроэнергии, встанет вопрос о замене тепловых электростанций атомными.

3. Возможное уменьшение стоимости энергии.

Возникает вопрос, какие последствия в экономическом плане может оказать прогрессирующее падение себестоимости энергии?

Эти последствия могут быть прямыми и косвенными.

а) Рассмотрим сначала прямые последствия. Использование более дешевой энергии даст возможность получить экономию в различных отраслях хозяйства страны, а высвободившиеся капиталы направить в другие отрасли. Благодаря этому повысится промышленный потенциал, а вместе с ним и национальный доход, что в конечном счете приведет к значительному улучшению жизненного уровня населения. Разумеется, все будет зависеть от степени уменьшения стоимости энергии. Американская Комиссия по атомной энергии, базируясь на данных национального дохода за 1954 год, опубликовала следующие цифры: если себестоимость киловатт-часа сократится на одну тысячную часть доллара, то полученная от этого экономия будет порядка 240 млн. долларов, или 80—90 млрд. франков. Если же уменьшение себестоимости достигнет двух с половиной тысячных доллара, то экономия составит 600 млн. долларов, или 210 млрд. франков. И, наконец, когда себестоимость киловатт-часа энергии на атомных электростанциях будет «равна нулю», средняя годовая эффективность американской промышленности увеличится на 5%.

б) Однако косвенные последствия уменьшения стоимости атомной энергии еще более значительны. К таким последствиям в первую очередь будет относиться новый подъем всех тех отраслей промышленности, где стоимость

энергии является важным элементом в формировании себестоимости товарной продукции или выполняемых работ. Так, в различных отраслях промышленности строительных материалов (цементная, керамическая) расходы на энергию составляют 20—30% общих эксплуатационных расходов. К косвенным последствиям будет относиться также внедрение новых производственных процессов, которые в свою очередь позволят применять новые технологические приемы, сейчас считающиеся нерентабельными.

Все это даст толчок развитию экономики, что повлечет за собой увеличение потребления (по мнению некоторых американских специалистов, оно может увеличиться в 2,5 раза). Но последствием, имеющим, как нам кажется, еще большее значение, будет изменение географического размещения промышленности. Оно вызовет некоторые изменения социального порядка, на которых мы теперь коротко остановимся.

II. Социальная сторона проблемы

Эта сторона проблемы является, без сомнения, самой важной и самой интересной. Ввиду ее большой сложности мы ограничимся здесь лишь самыми общими соображениями.

1. Изменения в мировой экономической географии.

Как мы видели выше, стоимость транспортировки топлива практически не будет участвовать в формировании себестоимости киловатт-часа электроэнергии, вырабатываемой на атомных электростанциях. Иными словами, в будущем стоимость атомной энергии не будет зависеть от места выработки.

Некоторые ученые и экономисты считают, что строительство атомных электростанций в пустынных районах может привести к миграции в эти районы населения. Однако это будет иметь какое-то значение лишь в далеком будущем, а до тех пор люди, по-видимому, будут жить там же, где живут и сейчас. Они согласятся переселиться на новые земли лишь в случае крайней необходимости, так как привычка оказывается подчас сильнее всяких соображений. Через 50 лет, если верить предсказаниям, численность населения земного шара удвоится.

Возможно, что как раз в тот момент люди начнут серьезно задумываться над вопросом миграции из перенаселенных в еще незанятые места. История знает много подобных примеров, и мужество отважных пионеров может превратить земли, считающиеся сейчас непригодными для жизни человека, в цветущие районы.

Согласно мнению других специалистов, атомная энергия не вызовет какого-либо значительного переселения в новые районы, даже если эти районы будут обеспечены всем необходимым. Напротив, этот новый источник энергии позволит поднять жизненный уровень некоторых народов, живущих в лишенных природных богатств районах. Иначе говоря, атомная энергия позволит поднять жизненный уровень в слаборазвитых странах, но не сможет заставить жить человека там, где он сейчас не живет. Действительно, причины миграций очень сложны, и если переселения были довольно частым явлением в древности, то вот уже в течение многих веков народы сидят на одних и тех же местах, выбранных ими из-за благоприятных условий для жизни человека. Переселение часто означает разрыв с прошлым, и люди решаются на него лишь в самых крайних случаях.

2. Улучшение жизни трудящихся.

Использование атомной энергии, по всей вероятности, не приведет к росту безработицы. В самом деле, опыт показывает, что происходит перемещение капитала и рабочей силы, примером чего может служить недавно созданная электронная промышленность.

В будущем обществе, как нам кажется, специалистов будет больше, а неквалифицированных рабочих — меньше. И это является новым важным фактором.

Будущий мир будет миром квалифицированных рабочих и инженеров, и это обстоятельство уже сейчас ставит во Франции проблему правильного ориентирования молодежи. США и Россия встали, по-видимому, на правильный путь и поняли важность перемен, которые произойдут в рабочей среде на протяжении жизни ближайших двух поколений. Мы приведем некоторые очень красноречивые цифры, относящиеся к 1954 году. Количество людей, имеющих ученую степень, во Франции составляло 3900 человек, то есть 90 человек на миллион жителей. В США ученую степень имели 31 700 человек, то есть 195 чело-

век на миллион жителей, в то время как в Советском Союзе — 48 тыс., или 236 человек на миллион жителей! В области ядерной энергии во Франции работает примерно 2 тыс. специалистов, в Англии — 5 тыс. и в США — 130 тыс. Распределение этих специалистов по различным профессиям в США выглядит примерно так: химиков — 30%, механиков — 23, физиков и электриков — 18, биологов — 12, прочих профессий — 17%.

Из всего этого следует вывод, что уже сейчас нужно готовиться к предстоящим переменам. Замена рабочих инженерами неизбежно вызовет изменения в условиях жизни и даже во взглядах рабочих. Нужно надеяться, что для большинства людей эти глубокие изменения приведут к улучшению условий жизни.

3. Наконец, можно надеяться, что атомный век сблизит народы.

Этот вывод, может быть, несколько поспешный. Есть основания думать, что в будущем люди смогут лучше понимать тех, кого их предки считали своими вечными врагами, но эта эволюция умов потребует, безусловно, длительного времени. Возможно, что через несколько поколений и в этой области будет достигнут большой прогресс.

Сближение народов начнется, по всей вероятности, в экономической области. Мы уже говорили, что для того, чтобы начать использование атомной энергии, потребуются большие капиталовложения. Большинство стран окажется не в состоянии предпринять строительство атомных электростанций по финансовым соображениям, и чтобы не отстать слишком сильно в своем техническом развитии, они вынуждены будут искать сотрудничества со своими соседями.

Франция владеет крупными урановыми месторождениями, англичане умеют обогащать уран, Норвегия дешево производит тяжелую воду, в Германии имеется большое количество выдающихся химиков, Швейцария и Голландия делают замечательные точные приборы. Следовательно, надо полагать, что тесное сотрудничество между различными странами в области атомной энергии даст прекрасные результаты.

Представляет ли для Франции интерес вступление в такую международную организацию? Все зависит от

того, может ли Франция своими силами создать хорошую атомную промышленность. Для этого потребуются очень большие средства, поэтому нам кажется, что разумное сотрудничество с другими странами вполне приемлемо. Разве мало писалось о том, что Франция не может поспевать за быстрым прогрессом техники? Некоторые специалисты утверждают даже, что наши маркульские реакторы устарели прежде, чем они вступили в строй. И действительно, они будут работать на природном уране, в то время как в США, насколько нам известно, стараются сейчас использовать в качестве ядерного топлива обогащенный уран. Это, впрочем, и явилось главной причиной того, что американцы не пожалели громадных средств для строительства десятка заводов по производству обогащенного урана. Возникает вопрос: если Франция будет предоставлена самой себе, не будет ли она обречена на вечное отставание в области ядерной техники, которая развивается особенно быстрыми темпами?

Контакты по линии техники помогут укрепить связи и другого характера. Когда народы привыкнут к постоянному общению между собой, они поймут, что большинство их наследственных предрассудков отжило и что в действительности они не так далеки друг от друга, как это им кажется.

Народы поймут, что они одинаково смотрят на многие вещи и вполне могут жить в дружбе и согласии. Экономическое сотрудничество, к которому вначале вынудила атомная энергия, позволит надеяться и на политическое сотрудничество, которое до сих пор было очень трудно осуществить из-за полного непонимания реальной обстановки и невежества людей.

В настоящее время (середина 1956 года) в области использования атомной энергии в мирных целях в Европе существуют две международные организации:

1) Европейская организация по ядерным исследованиям. Эта организация, созданная в 1953 году, объединяет 12 европейских государств. Ее постоянным местопребыванием является Швейцария, где в Мерене, недалеко от Женевы, строится много сооружений для ядерных исследований.

2) Европейское общество по атомной энергии, основанное в 1953 году. Оно объединяет 8 государств, центр его находится в Лондоне.

Из будущих международных организаций нужно назвать Организацию европейского экономического сотрудничества, местом пребывания которой будет Париж. Для руководства ею будет создан специальный комитет. Чтобы не допустить применения расщепляющихся материалов в военных целях, будет создано контрольное бюро. Предприятия, входящие в эту организацию, будут заниматься в основном разделением изотопов урана, производством плутония, строительством новых опытных образцов реакторов и, возможно, завода по производству тяжелой воды.

Наконец, следует назвать Евратом (Европейская комиссия по атомной энергии), включающий 6 государств, объединенных уже в Обществе угля и стали.

Эта комиссия будет вести вопросы разведки радиоактивных руд и давать разрешение на строительство и эксплуатацию ядерных установок.

В заключение необходимо упомянуть Международное агентство по атомной энергии, решение о создании которого было единодушно принято на заседании Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций в декабре 1955 года.

Создание подобных международных организаций ставит для стран, являющихся их членами, проблему передачи части своих национальных прерогатив международным органам. Конечно, это связано с очень большими трудностями, но в области техники добиться соглашения, несомненно, легче, чем в любой другой области.

Глава XI

ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Проблемы защиты от радиоактивных излучений возникают на различных ступенях использования атомной энергии:

— на низшей ступени, к которой относится, например, добыча урана, являющегося основным видом ядерного горючего;

— и на высшей ступени, связанной с эксплуатацией ядерных реакторов.

Проблемы защиты на каждой из этих ступеней отличаются друг от друга. Мы не будем затрагивать здесь вопроса защиты от радиоактивных излучений в урановых рудниках, а скажем лишь несколько слов об условиях безопасности и гигиены труда на атомных заводах.

I. Защита от радиоактивных излучений на атомных заводах

1) Дозы радиоактивных излучений чаще всего выражаются в рентгенах.

Различные международные комиссии установили, что для работающих на атомных заводах допустимая недельная доза облучения равна 0,3 рентгена. Эта доза, по утверждению специалистов, никоим образом не вредит человеческому организму. Укажем, что за всю свою жизнь человек получает в среднем дозу около 40 рентгенов.

2) Работа в атомной промышленности представляется нам менее опасной, чем во многих других отраслях промышленности. Действительно, американская статистика показывает, что количество несчастных случаев а

атомной промышленности примерно вдвое меньше, чем в большинстве других отраслей. Так, в 1953 году в атомной промышленности на 100 тыс. человек приходилось 13 несчастных случаев со смертельным исходом, в то время как в других отраслях промышленности — в среднем 26.

С 1942 по 1950 год, то есть за 8 лет, в США было зарегистрировано только 2 случая облучения со смертельным исходом и 13 случаев сильного облучения. В 1954 году в США на предприятиях, подведомственных Комиссии по атомной энергии, приходилось в среднем 2,5 несчастных случая на 1 млн. человеко-часов работы. Эти блестящие результаты были получены благодаря введению чрезвычайно строгих правил, которые, впрочем, весь персонал охотно выполняет. Однако есть основание опасаться, что постоянное стремление к сокращению себестоимости атомной энергии приведет к тому, что вопросами безопасности станут заниматься меньше.

3) Вредному воздействию радиоактивных излучений подвергается не только обслуживающий персонал атомных заводов. Большой опасности подвергаются также те, кто имеет дело с радиоактивными отходами, занимается транспортировкой радиоактивных изотопов или работает с ними. Аналогичные проблемы возникают на химических заводах, обрабатывающих облученный уран. Поэтому необходимо организовать строгий контроль за тем, чтобы доза облучения на этих заводах не превышала допустимых норм. Предусматривается также установка специальных вентиляционных устройств, в помещениях должна поддерживаться абсолютная чистота, а работникам надлежит носить специальную защитную одежду.

II. Защита гражданского населения

Французскую службу гражданской обороны особенно интересует проблема защиты проживающего в непосредственной близости от атомных заводов населения в связи с заражением воздуха, почвы и воды радиоактивными отходами атомного производства, удаление которых связано с большими трудностями.

Но прежде, чем говорить о радиоактивных отходах, скажем несколько слов о генетических последствиях радиоактивного облучения.

1. Генетические последствия радиоактивного облучения.

Изучение этого вопроса находится лишь в начальной стадии, хотя ему, безусловно, должно придаваться перво-степенное значение. Радиоактивные излучения могут воздействовать на гены — элементы, которые содержатся в очень большом количестве в хромосомах живых клеток. Гены определяют физические особенности как животных, так и растений. Соединяясь, гены мужских и женских клеток придают новые свойства поколению. Иногда происходят непредвиденные изменения наследственности, которые называются мутациями. Известно, что эти изменения являются причиной различных аномалий и отклонений наследственности. Ученый Мюллер в 1927 году доказал, что рентгеновские лучи способствуют мутациям; радиоактивные излучения, во всяком случае, увеличивают вероятность мутаций. Они могут «отравлять» гены, как обычные химические вещества, разрушать их или изменять их природу в результате ионизации, а также разделять хромосомы на несколько частей. Хромосомы, естественно, стремятся вновь соединиться. Однако не исключена возможность, что одна или две хромосомы, содержащие каждая один или несколько генов, пропадут, и это вызовет мутацию.

Способность вызывать мутации представляет большую опасность для человечества, так как они, как правило, приводят к вырождению вида. Эта опасность усугубляется еще кумулятивным характером мутаций, которые, по мнению специалистов, могут передаваться от одной особи на несколько поколений. Поэтому, учитывая серьезные последствия этого явления, нужно заняться его тщательным изучением.

2. Проблема радиоактивных отходов.

Самым важным вопросом является вопрос о продуктах деления в ядерных реакторах. Что делать с этими продуктами?

Некоторые из них, а именно те, которые имеют большой период полураспада, в недалеком будущем смогут найти широкое применение. Поэтому сейчас намечается производить разделение радиоактивных отходов, из которых будут выделять стронций 90, имеющий период полураспада 25 лет, и цезий 137, период полураспада которо-

го равен 33 годам. Директор английского атомного центра в Харуэлле Джон Коккрофт считает, что Великобритания будет производить в год свыше 2 т радиоактивных отходов. Один цезий 137 будет обладать такой же радиоактивностью, как несколько тысяч килограммов радия.

В будущем эти продукты смогут использоваться в производстве пластмасс, для стерилизации продовольственных товаров и медикаментов и, может быть, даже будут служить топливом в автомашинах наших внуков!

Предположим, что все интересующие человека продукты извлечены. Что же делать с оставшимися веществами, которые являются настоящими отходами?

Нужно стараться держать эти отходы в наиболее концентрированном виде, чтобы облегчить обращение с ними. Их следует поместить в специальные резервуары, где в результате естественного распада они постепенно потеряют свою активность. Этот метод можно использовать для элементов с малым периодом полураспада, например для натрия 24 (15 часов), иода 131 (8 дней) и фосфора 32 (14 дней).

Если речь идет о небольших количествах жидких радиоактивных отходов, то их в некоторых случаях можно спускать прямо в подземные отстойники. Разумеется, при этом суммарная доза радиации в каждом отдельном случае не должна превышать допустимой величины. Точно так же нужно следить за тем, чтобы количество удаляемых одновременно подобным образом отходов не было больше определенной нормы. Эти меры предосторожности позволят избежать создания высокого уровня радиоактивности в отстойниках.

Если жидких радиоактивных отходов накапливается так много, что их нельзя спускать, то следует развести в них цемент и делать бетонные плиты такой толщины, чтобы их было удобно впоследствии вывезти. Предполагают даже изготавливать из радиоактивных отходов так называемые «атомные спагетти»: разводят глину, к ней примешивают радиоактивные отходы и затем все это подвергают обжигу в печах.

Когда реактор G-1 заработает на полную мощность, в его активной зоне, имеющей заряд урана в 100 т, будет создаваться активность, соответствующая примерно 100 т радия.

В 2000 году, когда, как полагают, $\frac{3}{4}$ общих энергетических потребностей будут покрываться за счет атомной энергии, количество радиоактивных отходов достигнет 3 тыс. т, что по радиоактивности будет соответствовать 75—100 тыс. т радия, или 75—100 млрд. кюри.

Были предложения закапывать радиоактивные отходы в землю, топить их в морских глубинах. Это последнее решение, по-видимому, приемлемо, нужно только установить международные правила его выполнения. Некоторые остряки предлагали даже помещать радиоактивные отходы в ракеты и посылать эти ракеты на Луну!

Газообразные отходы, перед тем как они будут выброшены в атмосферу, должны пройти через фильтры, с которыми потом поступают так же, как и с твердыми радиоактивными отходами. Выпуск газов должен происходить на такой высоте, чтобы они рассеялись в атмосфере и не могли попасть в здания через окна и вентиляционные трубы.

Хотя эти вопросы не являются в данный момент неотложными, их следует поставить, чтобы власти могли уже теперь наметить мероприятия на будущее, которое, может быть, гораздо ближе, чем мы думаем.

Именно поэтому Национальная служба гражданской обороны занимается измерением радиоактивности атмосферы. С этой целью она установила связь с Центром по атомной энергии и французской метеорологической службой. Было заказано 8 приборов «Пабар», которые должны быть установлены на различных метеорологических станциях (Париж, Ренн, Нанси, Клермон-Ферран, По, Дюнкерк, Аяччо, Алжир). Впрочем, Комиссариат по атомной энергии уже установил несколько таких приборов в районах исследовательских атомных центров (Сакле, Маркуль) для измерения степени заражения местности и воздуха радиоактивными отходами. Новые приборы переданы в распоряжение метеорологических станций. Все данные об искусственной радиоактивности будут регистрироваться самопишущими приборами и передаваться Национальной службе гражданской обороны, которая будет сообщать о них всем заинтересованным органам. В случае, если радиоактивность превысит определенный уровень, об этом немедленно сообщается в префектуру для принятия необходимых мер.

Было заказано также около десятка других приборов,

позволяющих измерять уровень радиоактивного заражения воды.

Иными словами, речь идет о создании густой сети постов, покрывающих всю территорию страны и обеспечивающих полную безопасность населения.

Заключение

Истина редко бывает простой. Иногда она проявляется в нескольких аспектах, хотя в большинстве случаев анализ любой проблемы может быть сведен к рассмотрению двух противоположных точек зрения.

В атомной проблеме, где «военный атом» противопоставляется «мирному атому», эта двойственность проявляется еще более наглядно, чем в других вопросах.

Беседуя на эту тему, можно заметить, что у некоторых людей имеется тенденция отождествлять слово «атом» со словом «бомба». Поэтому связанные с атомной энергией вопросы не всегда рассматриваются с той прямотой, какая необходима для решения больших проблем. Это не удивительно: ведь вначале гигантская сила атомной энергии была использована для того, чтобы сеять разрушение и смерть. Основные принципы использования ядерной энергии были известны еще с 1939 года, однако потребовалось вмешательство военных, чтобы она получила практическое применение. Поэтому теперь очень часто катастрофа, к которой привело рождение ядерной энергии, заставляет думать о роковой стороне атомной проблемы.

Это первое использование атомной энергии в военных целях, а главным образом быстрый рост мощности ядерных бомб породили у людей неуверенность в сегодняшнем дне и страх перед будущим.

И действительно, нельзя не удивляться темпам развития средств уничтожения.

С 1914 по 1950 год, то есть менее чем за 40 лет (одно поколение!), люди перешли от холодного оружия к термоядерным бомбам, от дымовых шашек — к табуну¹.

Мы уже видели, каким поражающим действием обладают новые термоядерные бомбы. Нельзя забывать того обстоятельства, что, имея небольшое количество термо-

¹ Табун — сильное общеядовитое ОВ нервно-паралитического действия. — *Прим. ред.*

ядерных бомб, можно полностью уничтожить людские резервы крупнейших стран. Для Франции хватило бы 15 таких бомб, для Великобритании — 5—6, для Соединенных Штатов Америки — 50. В общем, включая мелкие страны, сотня термоядерных бомб, доставленных к цели в течение первых нескольких часов войны самыми современными средствами, такими, например, как управляемые снаряды, сможет уничтожить такое количество человеческих жизней, которое просто не укладывается в нашем сознании. Война в этом случае будет напоминать вулканическое извержение.

Действительно, решающего успеха в будущей войне можно добиться только в результате разрушения тыла, то есть уничтожения людского потенциала противника. Другими словами, поскольку войны стали носить тотальный характер, различие между тылом и фронтом пропало. Поэтому необходимо пересмотреть наши взгляды в соответствии с требованиями современной войны. Военная организация будущего должна охватывать весь потенциал страны и обеспечивать защиту гражданского населения, что является необходимым условием для существования страны.

Для того чтобы свести возможные потери к минимуму, государственные и военные руководители страны обязаны принять все необходимые меры на случай, если «безумие людей» одержит верх.

Победа над атомом, являющаяся фантастическим достижением человека и триумфом его разума, может закончиться кошмаром!

Но, кроме этой, отрицательной стороны атомной проблемы, существует еще и другая, положительная сторона, значение которой невозможно переоценить.

Нельзя забывать, что наступление атомного века коренным образом отличается от технических переворотов, имевших место в прошлом. Речь идет о новом направлении цивилизации, характеризующемся значительным ростом наших возможностей в самых различных областях.

На земном шаре проживает в настоящее время 2,5 млрд. человек. Если верить подсчетам, то через 50 лет эта цифра увеличится вдвое, а через 100 лет — вчетверо. Такой быстрый рост населения может привести мир к значительным потрясениям. Действительно, большая диспропорция между ростом производства и потребления может

явиться причиной противоречий, которые в недалеком будущем закончатся расколом мира. Иначе говоря, старая теория Мальтуса может в самом ближайшем будущем получить наглядное подтверждение.

Впрочем, не следует забывать, как много существовавших раньше великих цивилизаций погибло. О существовании большей части этих цивилизаций люди знают уже давно, но некоторые из них стали известны нам всего каких-нибудь 50 лет тому назад. К их числу относятся, например, шумерийская цивилизация и господствовавшая в течение тысячелетий над всем бассейном Средиземного моря крито-микенская цивилизация. Принимая во внимание эти убедительные факты и учитывая громадную разрушительную силу современных средств ведения войны, можно спросить, не пришла ли наша цивилизация к своему концу? Часто кажется, что человечество идет вверх по очень пологой лестнице, состоящей почти из одних площадок. Не окажется ли одна из этих площадок последней?

Жизнь человека коротка, память его — еще короче. По правде говоря, трудно отдать себе отчет в быстроте, с которой развивается история. Площадки на пути развития человечества становятся все меньше и меньше. Каменный век продолжался сотни тысяч лет, медный и бронзовый века — несколько тысяч лет, век железа — тысячу лет, наконец то, что принято называть веком стали, — сто лет. Сколько продлится атомный век?

При изучении современных статистических данных бросается в глаза бедность большинства населения земли и то обстоятельство, что голод, от которого страдает человечество, принял хронический характер. Примерно треть всего населения земного шара не получает и 5% мирового дохода, две трети — только 15%, в то время как 15% населения земли получают три четверти мирового дохода.

Представим себе, что мы задались целью поровну распределить земные богатства, то есть цифру, характеризующую общий мировой доход, разделить на количество людей, живущих на земле. Тогда получится, что на долю одного человека придется одна восьмая часть того, что получает средний американец. Это доказывает, что человечество, за небольшим исключением, живет в крайней

бедности. Больше того, опыт показывает, что улучшение этого печального положения теми средствами, которые мы имеем в своем распоряжении в настоящее время, невозможно. Напротив, происходит даже обратное явление, так как человечество, как нам кажется, находит удовольствие в том, чтобы уничтожить богатства, которыми оно располагает. И расплата, называемая нами прогрессом, часто выражается именно в уничтожении коллективных богатств.

В настоящее время 2,5 млрд. человек живут за счет продуктов, получаемых с площади 13 млн. км², в то время как территория, занимаемая прериями и степями, имеет вдвое большую площадь, а занимаемая лесами — втрое большую. Общая площадь обрабатываемых земель равна 77 млн. км², что составляет немногим более половины водной поверхности нашей планеты. Однако эта площадь недостаточна, чтобы прокормить все население земли. С другой стороны, можно констатировать, что площадь обрабатываемых земель (Европа — 4,7 млн. км², Азия — 3,5, Америка — 3, Африка — 1,5, Океания — 0,1 млн. км²) по различным причинам из года в год уменьшается. Это происходит прежде всего в результате природных явлений: эрозии, действия ветра и дождей. Особенно быстро уменьшение возделываемых площадей происходит в результате различных, чаще всего бессознательных действий человека: расширения городов, строительства гигантских заводов, применения чрезмерно большого количества химических веществ для удобрения почвы. Люди забывают, что существует определенное естественное равновесие, которое нельзя сильно нарушать.

Теперь рассмотрим продовольственную проблему в индивидуальном плане. При нормальной работе человек должен получать в день 3000 калорий, при усиленной работе — от 3500 до 4000 калорий. В действительности же в настоящее время человек в среднем не получает и 2500 калорий, причем в Японии средний дневной рацион составляет лишь 2000 калорий, а в Индии — 1600 калорий. Между тем установлено, что если человек получает от 1500 до 1800 калорий в день, он не может жить, а тем более работать.

Возникает тревожный вопрос: поскольку быстрое экономическое развитие приводит к сокращению возделываемых

мых площадей, а население растет все быстрее и быстрее, что произойдет, когда численность населения на земле увеличится вдвое, а затем в пять раз? Следует опасаться, что в этом случае обнищание основной массы населения и хронический голод примут еще большие масштабы.

В связи с этим могут участиться и периодические войны с массовыми уничтожениями людей. Эти войны, вероятно, будут периодически приводить к решению вопросов, которые, к сожалению, не могут быть решены другим, более гуманным способом.

Впрочем, нужно надеяться, что атомная энергия будет способствовать повышению экономического уровня не только высокоиндустриализованных, но и слаборазвитых стран, где как раз и царит наибольшая нищета.

Успехи, которые, как полагают, могут быть достигнуты в области сельского хозяйства, представляются нам весьма значительными. Поэтому можно надеяться, что будущее человечество получит достаточное количество продовольствия. Азиатские страны, согласно подсчетам, в 1980 году смогут давать 30% мирового производства, а к 2000 году — 50%. Доля Северной Америки соответственно снизится с 40%, которые она дает в настоящее время, до 25% к 1980 году и до 10% к 2000 году. Таким образом, распределение мирового дохода будет приведено в большее соответствие с количеством населения в различных странах.

Впрочем, нужно отметить, что все вышеприведенные расчеты базируются на использовании атомной энергии. Вопрос этот пока еще очень мало изучен, и подсчитанные возможности являются, разумеется, всего лишь незначительной частью тех выгод, какие человечество сможет получить в будущем от применения атомной энергии. Переживаемый нами период — всего лишь предыстория атомного века, так как термоядерная энергия, которая сегодня еще только делает свои первые шаги и пока не имеет широкого практического применения, в сочетании с электроникой и автоматикой перевернут мир. Термоядерная энергия — более мощная, чем атомная, и, кроме того, является более дешевой. Но особенно важно то, что использование этого вида энергии не будет связано с вредными радиоактивными излучениями, вызывающими (и не без основания) страх у людей.

Все эти изменения произойдут без резкого скачка. Люди постепенно привыкнут к новым видам энергии, которым раньше ошибочно приписывались таинственные и магические свойства. Тогда наступит время отказаться от устаревших норм и постулатов и начать думать и действовать по-новому.

Нельзя ожидать, что использование ядерной энергии в самом ближайшем будущем приведет к заметным экономическим сдвигам. По крайней мере еще лет двадцать во Франции будут строить тепловые электростанции; они устареют лишь при наших внуках. В этот переходный период рост энергетических потребностей можно будет удовлетворять только за счет обычных средств. Поэтому не может быть и речи о том, чтобы в короткий срок заменить их; наоборот, их придется развивать. Другими словами, еще в течение долгого времени хватит места для всех источников энергии. Атомная энергия ни одного из них не вытеснит. Сначала она будет использоваться для осуществления крупных мероприятий, а потом благодаря своей невысокой себестоимости заменит все другие виды энергии.

Необходимо подчеркнуть, что в связи с огромными денежными затратами, которые потребуются для строительства атомных электростанций, нужно будет организовать международное сотрудничество. Это экономическое сотрудничество может явиться толчком к политическому сотрудничеству и если не предотвратить в будущем военные столкновения, то по крайней мере уменьшить их число, а вместе с тем и возможность использования ядерного оружия.

Приведенные выше цифры показывают, что у Франции есть еще время, чтобы приспособиться к требованиям новой эры. Тем не менее ей нужно будет приложить немало усилий, чтобы не оказаться позади других стран в области использования атомной энергии.

В первую очередь придется согласиться на большие финансовые затраты (впрочем, вполне рентабельные), без которых можно потерять то место, на которое Франция имеет право претендовать. Французы с большой гордостью говорят о планах строительства туннеля под Монбланом, о постройке роскошного трансатлантического па-

рохода водоизмещением в 55 тыс. т, который будет стоить примерно 30 млрд. франков. Не лучше было бы использовать эти суммы в области атомной энергии? Есть все основания полагать, что престиж Франции только выиграл бы от этого. Затем французам нужно будет пересмотреть понятие общей культуры в соответствии с новыми условиями и давать молодежи такое образование, которое больше бы соответствовало новым техническим требованиям, ибо атомный век будет по преимуществу веком инженеров. Недаром Эйнштейн в конце своей жизни сказал: «Недостаточно, чтобы горстка специалистов бралась за решение какой-либо проблемы, решала ее и затем применяла на практике. Ограничение знаний рамками узкой группы людей уничтожает дух народа, ведет к его умственному обнищанию». Над этими словами стоит подумать.

Но будем оптимистами. Время изобилия не за горами. Атом дает человечеству множество замечательных возможностей, вплоть до того, что философский камень — мечта алхимиков — становится теперь реальностью.

Будущие поколения смогут гордиться своими предками середины XX века — они отрубят у двуглавого зверя голову, воплощающую Зло, чтобы любоваться второй головой, воплощающей Процветание!

ОГЛАВЛЕНИЕ

От Издательства	5
---------------------------	---

Часть первая

ЯДЕРНЫЕ БОМБЫ

<i>Глава I.</i> Общие сведения	9
I. Химические элементы	9
II. Строение атома	11
III. Закон взаимосвязи массы и энергии	13
<i>Глава II.</i> Принцип действия ядерных бомб	16
I. Бомбы, основанные на делении ядер	16
II. Бомбы, основанные на реакции синтеза, или термо- ядерные бомбы	18
<i>Глава III.</i> Поражающее действие первых атомных бомб	21
I. Жертвы и разрушения	21
II. Основные данные атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму	22
III. Световое излучение	24
IV. Ударная волна	27
V. Радиоактивное излучение	31
<i>Глава IV.</i> Мощность и типы ядерных бомб	36
I. Увеличение мощности ядерных бомб	36
II. Обнаружение ядерных взрывов	38
III. Типы и мощность ядерных бомб	40
<i>Глава V.</i> Поражающее действие термоядерных бомб	45
I. Ударная волна	46
II. Световое излучение	46
III. Проникающая радиация и радиоактивное заражение	48
<i>Глава VI.</i> Защита от ядерных бомб	51
I. Постановка вопроса	51
II. Защита от поражающего действия ядерных бомб	57

Часть вторая

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ В МИРНЫХ ЦЕЛЯХ

<i>Глава VII.</i> Энергетические потребности	65
I. Мировые энергетические потребности	65
II. Энергетические потребности Франции	73
<i>Глава VIII.</i> Принцип действия и возможности ядерного реактора	78
I. Устройство ядерного реактора	78
II. Что можно получать в ядерном реакторе?	83
<i>Глава IX.</i> Практические достижения в области ядерной энергии	93
I. Достижения в области атомной энергии за границей	93
II. Достижения в области использования атомной энергии во Франции	95
III. Добыча урановой руды во Франции	99
<i>Глава X.</i> Влияние прогресса в области атомной энергии на экономическую и общественную жизнь	102
I. Экономическая сторона проблемы: стоимость киловатт-часа на атомных электростанциях	102
II. Социальная сторона проблемы	109
<i>Глава XI.</i> Проблемы защиты от радиоактивных излучений	114
I. Защита от радиоактивных излучений на атомных заводах	114
II. Защита гражданского населения	115
Заключение	119

Ф. Рэн

АТОМНАЯ ПРОБЛЕМА

Редактор *М. Н. Деев*

Художник *К. П. Сиротов*

Технический редактор *Н. И. Смирнова*

Сдано в производство 13/II-1958 г.

Подписано к печати 17/IV-1958 г.

Бумага $84 \times 108 \frac{1}{32} = 2$ бум. л.

6,6 печ. л. Уч.-изд. л. 6,2

Изд. № 18/3444

Цена 2 руб. 30 коп. Зак. 847

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва, Ново-Алексеевская, 52.

Типография № 3 ВИНТИ АН СССР,
Москва, Н.-Басманная, 23.

ЦЕНА 2 Р. 30 К.

347 52