

PEACEFUL NUCLEAR EXPLOSIONS

S. A. NOVIKOV

More than half a century has passed since the first nuclear explosion... At present very different opinions exist on role and prospects of explosive nuclear energy in the modern world. The basic problems of nuclear explosion applications, which have been in the focus of leading nuclear countries for the past period: nuclear explosions for industry, for scientific research, and for power engineering are considered.

Более полувека прошло с момента первого ядерного взрыва... В настоящее время существуют самые разные точки зрения на роль и перспективы взрывной ядерной энергии в современном мире. В статье рассмотрены основные вопросы мирного использования ядерных взрывов, которым за истекший период уделялось большое внимание в ведущих ядерных державах: ядерные взрывы для промышленности, научных исследований и энергетики.

© Новиков С.А., 1999

МИРНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ

С. А. НОВИКОВ

Филиал № 4 Московского инженерно-физического института, Саров Нижегородской обл.

Огромная разрушительная сила ядерных зарядов издавна вызывает негативное отношение к ним у абсолютного большинства населения Земли. Страх перед возможным применением ядерных зарядов в военных конфликтах, характерных для современного, еще недостаточно стабильного мира, склоняет общественное мнение в пользу полного запрещения ядерного оружия и уничтожения всего запаса урана-235 и плутония. Средства массовой информации уже давно обсуждают роль и перспективы ядерного оружия в современном мире.

В научно-популярном журнале "Атом", созданном в 1994 году по инициативе ученых-атомщиков Российского федерального ядерного центра (РФЯЦ) Арзамас-16 (ныне Саров), достаточно часто публикуются статьи на эту тему известных российских ученых, непосредственных разработчиков самого мощного оружия XX века. Фотография обложки первого номера журнала "Атом" представлена на рис. 1. В обращении к читателям на первой странице этого номера редакция, в частности, писала:

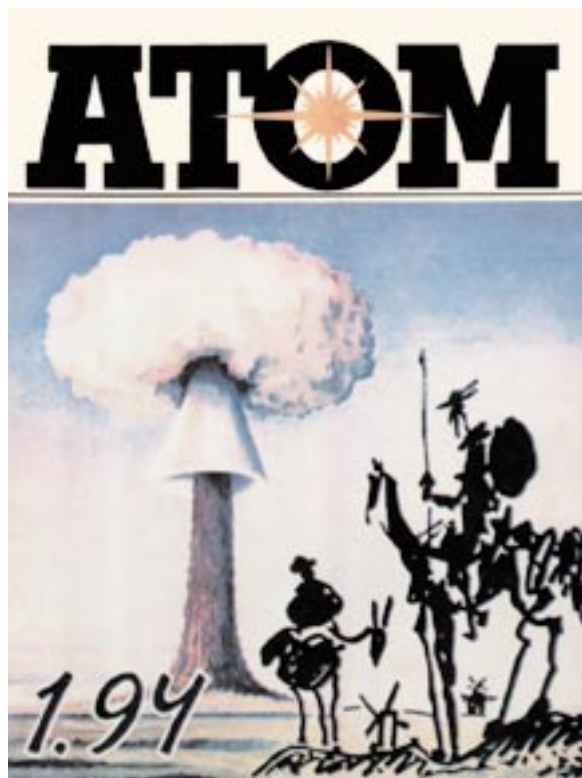


Рис. 1. Обложка первого номера журнала "Атом"

“Мы хотим, чтобы ядерный гриб на обложке первого номера нашего научно-популярного журнала символизировал также и тот факт, что ядерный взрыв является уникальным инструментом для проведения фундаментальных исследований в современной физике. Фигуры героев Сервантеса должны символизировать подвижность и романтику создателей отечественного атомного оружия”.

Могут ли ядерные взрывы быть полезными для человечества? Этой проблеме уделяется большое внимание на страницах журнала.

В настоящей статье автор, будучи главным редактором журнала “Атом”, свидетелем и участником ряда таких работ, попытался кратко обобщить эти публикации. Не будем касаться политических вопросов типа: является ли ядерное оружие стабилизирующим фактором сохранения мира и т.п.? Рассмотрим три направления в мирном использовании ядерных взрывов: для промышленности; для научных исследований; для энергетики.

В работе использованы материалы опубликованных в журнале “Атом” статей известных ученых ядерных центров России (Саров и Снежинск) Б.В. Литвинова, В.Н. Мохова, С.Н. Холина, А.К. Чернышева, Е.К. Бонюшкина, Н.П. Волошина, Р.Ф. Трунина, Е.Г. Малыхина и др., а также материалы, опубликованные в 1997 году [1].

МИРНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Огромная энергия, выделяющаяся при ядерных взрывах, с самого начала работ над ядерным оружием приводила к мысли о ее использовании в мирных целях. Каждый килограмм термоядерного топлива способен в составе термоядерного устройства выделить энергию, эквивалентную взрыву 30 тыс. т взрывчатого вещества. Ядерный взрыв (ЯВ) такой мощности стоит около миллиона долларов. При дальнейшем увеличении мощности ядерного устройства в десятки и сотни раз его стоимость растет незначительно. Термоядерный взрыв сегодня – это самый мощный и в то же время самый дешевый источник энергии на Земле. Существующие возражения против технического применения ЯВ достаточно серьезны и обоснованы. В первую очередь они связаны с опасностью радиоактивного заражения окружающей среды и большим энерговыделением при ЯВ. Ведь ошибки при использовании ядерных зарядов (ЯЗ) даже при отсутствии радиоактивности могут привести к большим бедам именно из-за больших масштабов работ, производимых ЯВ.

Требования к мирным ЯЗ существенно отличаются от требований к боевым зарядам. С одной стороны, эти требования мягче, так как нет жестких условий на массу ЯЗ, форму (размещение в носителях), срок службы. А с другой – некоторые требования являются более высокими, например: по допустимому количеству образующихся при взрыве оскол-

ков деления, количеству остающихся несгоревшими плутония и трития, химическому составу конструкционных материалов и т.п. В боевых термоядерных зарядах примерно половина энергии выделяется в реакциях деления ядер урана и плутония с образованием соответствующего количества радиоактивных осколков деления. Это и является главным препятствием для использования таких зарядов в промышленности. Если бы вся энергия взрыва получалась в реакциях синтеза, то радиоактивность в основном определялась бы несгоревшим тритием и активацией нейтронами различных материалов заряда и окружающей среды. Такая наведенная радиоактивность могла бы стать в сотни раз меньшей, чем при взрыве боевого заряда. Делать ЯЗ, при взрыве которого будут полностью отсутствовать осколки деления, пока никто не умеет. Чистыми мирными термоядерными зарядами называют заряды, в которых основная доля энергии выделяется в термоядерных реакциях (>90%). Степень чистоты такого заряда называют выраженное в процентах отношение энергии, полученной в реакциях синтеза, к полной энергии взрыва. Если, например, полная энергия составляет 100 кт тротилового эквивалента (т.э.), количество сгоревшего делящегося вещества равно 100 г, чему соответствует энерговыделение примерно 1,6 кт т.э., то чистота заряда

$$\frac{100 - 1,6}{100} = 0,984 = 98,4\%.$$

Проведенная в российских ядерных центрах (ВНИИЭФ, Саров и ВНИИТФ, Снежинск) огромная работа больших коллективов теоретиков, математиков, конструкторов, экспериментаторов позволила создать чистые промышленные заряды, приступить к разработке проектов по их мирному применению и осуществить некоторые эксперименты.

Не менее важной проблемой для промышленного использования ЯВ является исследование его воздействия на окружающую среду. Неопределенности знаний свойств веществ, окружающих ЯЗ, погрешности в их математическом описании могут привести к заметным ошибкам в прогнозировании действия ЯВ. Выделение огромной энергии ЯВ происходит чрезвычайно быстро и с такой интенсивностью, что менее чем за миллионную долю секунды (10^{-6} с) сам заряд и материал прилегающих к нему конструкций превращаются в горячую (с температурой до десятка миллионов градусов) плотную плазму. При подземном взрыве этот раздувающийся шар с гигантским давлением обрушивается на окружающую взрывную камеру горную породу, превращая ее в плотный, но менее горячий газ. Сжатие вещества достигает 4–5 раз. От центра взрыва распространяется мощная сферически расходящаяся ударная волна со скоростью десятков километров в секунду. Амплитуда ударной волны в горной породе столь велика, что на расстоянии

нескольких сот метров от центра взрыва происходит интенсивное дробление горных пород. При выходе на земную поверхность ударная волна откалывает целые плиты горной породы толщиной до десятков-сотен метров шириной до нескольких километров. За тысячи километров от места взрыва, даже на противоположной стороне земного шара, эхо взрыва может быть зафиксировано как сейсмическое колебание земной коры. Давление вблизи ЯВ (речь идет о ЯЗ мощностью в несколько десятков килотонн тротилового эквивалента) достигает миллиарда атмосфер, что может сравниться с давлением внутри звезд. Поведение веществ при таких давлениях описывается численно квантово-механическими закономерностями. Для теоретического описания свойств веществ при меньших давлениях (при удалении ударной волны от центра взрыва) требуется привлечение экспериментальных данных. Исследованиями ученых российских и американских ядерных лабораторий получены достоверные данные об уравнениях состояния¹ многих веществ в широком диапазоне давлений.

Заявления официальных представителей СССР о необходимости исследования ЯВ в мирных целях прозвучали в 1949 году. В США на это обратили внимание в 1956 году. В течение 1957–1958 годов там была сформирована обширная программа проведения ЯВ в научных и промышленных целях “Project Plowshare” – “Плуг”. В число грандиозных проектов с применением ЯВ входили прокладка еще одного Панамского канала, строительство огромной гавани на побережье Аляски и т.п. В интересах программы “Плуг” на полигоне в Неваде была проведена серия ядерных взрывов в разных грунтах, осуществлены широкие исследования по численному моделированию заглубленных ЯВ.

В СССР первый опытно-промышленный ЯВ на выброс был произведен на глубине 178 м 15 января 1965 года у реки Чаган, вблизи границы Семипалатинского ядерного полигона. Мощность взрыва была эквивалентна 140 кт т.э. Образовалась гигантская воронка глубиной до 100 м, диаметром ~410 м. Целью проведения взрыва было строительство водоема в засушливом районе. Этот водоем существует до сих пор. В нем появилась рыба, вода из водоема полностью пригодна для питья.

С помощью ЯВ в нашей стране интенсифицировали добычу нефти и газа, построили в толще соляных месторождений громадные сферические емкости для хранения нефти и газопродуктов, успешно производили геофизическую сейсморазведку. Успешными были взрывы по дроблению апатитовой руды на Кольском полуострове, при этом были реализованы методы вывода радиоактивности из раз-

¹ Так называется вся совокупность данных о поведении какого-либо вещества в широком диапазоне давлений и температур.

дробленной руды. Извлеченная руда была абсолютно чистой. Единственный маломощный ЯВ в угольной шахте в 5 км от города Енакиево на многие годы ликвидировал выбросы газов.

В ЯЗ подобного типа на одно из первых мест выходят такие требования, как малый диаметр, позволяющий опускать заряд в глубокие скважины, повышенная термостойкость заряда, позволяющая ему работать при высокой температуре на большой глубине, и способность выдерживать большие давления. Такие заряды были созданы в ядерных центрах России. Остановимся немного подробнее на ликвидации с помощью ЯВ мощного газового фонтана в Узбекистане на Урта-Булакском месторождении. 1 декабря 1963 года в одной из разведочных скважин возник открытый газовый фонтан высотой 70 м с объемом выбрасываемого газа 18 млн м³ в сутки. Из-за содержания метана и сероводорода этот фонтан представлял собой большую опасность для окружающей среды и был зажжен во избежание отравления людей и животных. Фонтан горел три года. Ежегодно сгорало столько газа, что его хватило бы для снабжения такого промышленного центра, как Екатеринбург. Попытки ликвидировать фонтан всеми обычными известными способами не привели к успеху. Физикам-ядерщикам было дано задание в кратчайшие сроки создать ЯЗ для перекрытия скважины, выдерживающий температуру 73°C на глубине 1,5 км. Схема глушения горящего газового фонтана приведена на рис. 2. Проведению взрыва предшествовали драматические ситуации, связанные с опусканием ЯЗ в скважину. Опыт прошел успешно: через несколько секунд после взрыва факел пламени погас навсегда.

Другой пример применения ЯВ еще не реализован, но его огромное значение для всего человечества уже отмечалось в итоговых документах нескольких международных симпозиумов. Речь идет о потенциальной опасности, угрожающей Земле из космоса, – о возможности столкновения нашей планеты с двумя типами объектов Солнечной системы: астероидами и кометами. (Если они попадают в атмосферу Земли, их называют метеоритами.) Известно около 100 астероидов размерами больше километра. Считается, что их полное число на порядок больше. Такое столкновение еще не означает конца света. История знает много примеров падения астероидов на Землю. При столкновении с астероидом диаметром 20 км можно ожидать образования кратера диаметром до 200 км. Падение подобного астероида 65 млн лет назад, по гипотезе Л. Альвареса (США, 1980 год), так изменило климат на Земле, что вызвало вымирание динозавров. Во всяком случае масштаб возможной катастрофы таков, что вряд ли следует успокаивать себя невысокой степенью ее вероятности. В 1966 году появился прогноз о возможности столкновения с Землей астероида Икар диаметром 0,5 км. Тогда же появилось предложение расстрелять его с помощью ракет с ядерными боеголовками.

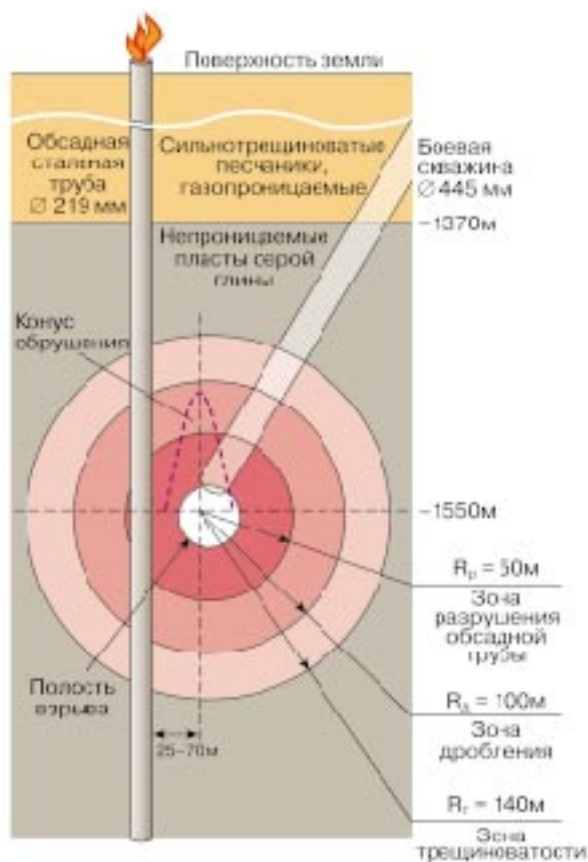


Рис. 2. Схема глушения газового фонтана в Узбекистане в 1966 году

Предлагаются два способа воздействия на космические объекты, угрожающие нашей планете. Во-первых, с помощью ЯВ можно изменить траекторию полета астероида. Во-вторых, при точном попадании раздробить его. (При этом угроза падения на Землю осколков астероида, правда, остается, но значительно уменьшается уровень воздействия.) Так как расстояния до точки перехвата огромны из-за требований безопасности, то это накладывает жесткие требования к своевременному обнаружению опасных небесных тел и расчету их траекторий. Даже так называемый оперативный перехват, когда опасность замечена поздно, должен, по мнению ракетчиков, происходить за 30–90 суток до предполагаемого столкновения. Естественно, что для защиты от таких глобальных катастроф необходимо объединение всех ученых мира.

Наконец, еще один нереализованный, но практически разрабатывавшийся в свое время проект использования ЯВ — ядерный взрыволет, идея которого была высказана Андреем Дмитриевичем Сахаровым в 1962 году в Федеральном ядерном центре (Саров). Идея А.Д. Сахарова состояла в использова-

нии ЯВ для вывода в космос огромного полезного веса. В двигательной установке предполагалось использовать энергию последовательных взрывов ЯЗ. Полезная нагрузка в 1000 т и более должна была обеспечивать экипажу многолетнее пребывание в космосе. Задача разработки такого взрыволета оказалась очень сложной. Тем не менее в результате проектных работ все же был сделан вывод о возможности создания двигательной системы, использующей энергию ЯЗ. Принципиальная схема взрыволета в том виде, как ее первоначально предложил А.Д. Сахаров, приведена на рис. 3, а. На рис. 3, б воспроизведена конструктивная схема одного из вариантов взрыволета ПК-5000 (5000 — суммарный вес в тоннах). Кстати, по предложению А.Д. Сахарова при проработке конструкции рассматривался вопрос о размещении в его жилом отсеке плантаций с хлореллой в расчете на питание 10–20 человек.

Мы привели здесь лишь некоторые из известных примеров использования ЯВ в промышленности. К числу проблем, решаемых с помощью ЯВ и имеющих (подобно астероидной безопасности) общечеловеческое значение, могут быть отнесены, в частности, такие, как ликвидация высокоактивных отходов ядерной энергетики и ядерных силовых установок, а также ликвидация химического оружия и особо опасных химически токсичных материалов и отходов.

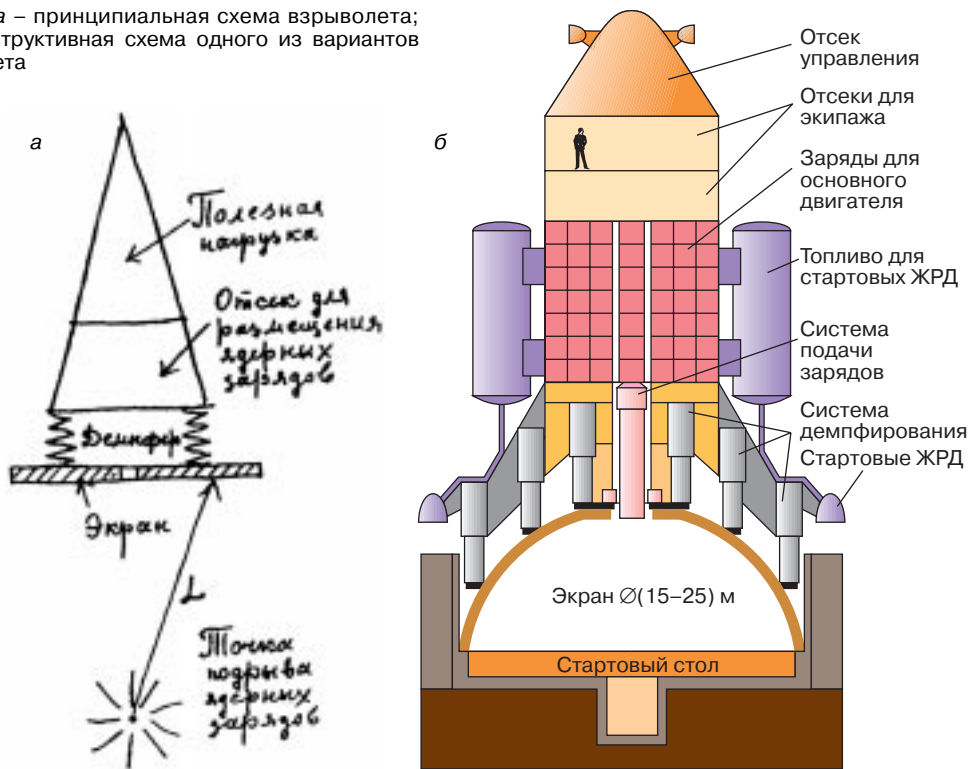
В рамках этих задач ЯВ будут направлены на решение фундаментальных экологических проблем и использованы для ликвидации различных видов оружия массового поражения. Разработка этих видов мирных ядерных технологий ведется в Российском федеральном ядерном центре с 1989 года.

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ – УНИКАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ФИЗИКЕ

Излучение ЯВ для накачки лазерных сред

Ядерный взрыв — это прежде всего гигантский импульсный источник проникающих ядерных излучений, в котором даже при самом скромном выделении энергии (не более 1 кт т.э.) за очень короткое время (10^{-8} – 10^{-7} с) рождается 10^{23} – 10^{24} нейтронов и гамма-квантов. В таких полях излучений могут проводиться исследования, недоступные ни для одной из современных лабораторных установок, например: изучаться ядерные реакции (в том числе на микроколичествах редких искусственных изотопов), проводиться эксперименты по образованию далеких трансурановых элементов. Огромная концентрация энергии при ЯВ позволяет проводить уникальные исследования в области физики высоких давлений и плотностей, также недоступные в лабораторных условиях.

Рис. 3. а – принципиальная схема взрыволета; б – конструктивная схема одного из вариантов взрыволета



Одно из интересных направлений – исследования лазерного термоядерного синтеза. Для таких исследований в некоторых странах построены и действуют уникальные установки с лазерной энергией до нескольких десятков килоджоулей: “Искра-5” (ВНИИЭФ, Россия, Саров), “NOVA” (LLNL, США, Ливермор), “Gekko XII” (Япония), разрабатываются новые, более совершенные установки. Основная проблема – получение лазерной энергии в области сотен килоджоулей и даже мегаджоулей и, наконец, для воспламенения термоядерных мишеней, на которых сфокусировано излучение нескольких лазеров. При исследовании этой проблемы ЯВ может оказаться незаменимым источником импульсного гамма-излучения для накачки мощных газовых лазеров. Имеется в виду небольшой ЯВ – не более 1 кт, реализуемый с соблюдением существующих экологических норм. Высокие плотности гамма-излучения ($(1-5) \cdot 10^{16}$ гамма/см² на расстоянии 5–10 м от источника) позволяют делать такой взрыв источником накачки больших объемов лазерных сред с высокой удельной мощностью (10–100 МВт/см³). Сравнительно малые размеры источника излучения обеспечивают высокую пространственную и временную симметрию. Это чрезвычайно важный фактор при конструировании многоканальных лазерных систем. Нетрудно убедиться, что при таких благоприятных условиях даже при весьма скромных значениях КПД (3–5% по вложенной энергии)

представляется возможным создавать лазерные системы для исследования термодинамического синтеза с энергией в импульсе 10^5-10^6 джоулей.

Исследование сжимаемости веществ при высоких давлениях в ударных волнах

Изучение поведения веществ при больших давлениях при ударно-волновом сжатии имеет большое научное и практическое значение. Теоретическая обработка результатов таких исследований дает сведения об уравнении состояния веществ при высоких давлениях, что весьма важно для решения некоторых проблем геофизики, астрофизики и других разделов науки. При воздействии сильных ударных волн в веществах происходят сложные физические процессы: сжатие кристаллической решетки, сопровождаемое тепловым возбуждением ядер и электронов, плавление, переход электронов на внутренние орбиты атома и т.п. Дальнейшее увеличение давления вызывает ионизацию атомов, возбуждение и обобществление электронов. Устанавливается некоторое осредненное состояние, при котором слабо проявляются индивидуальные свойства кристаллов. В этих работах особую роль приобретают экспериментальные методы исследования конденсированного вещества в сжатом состоянии. Широкие исследования в этом направлении были начаты в России и за рубежом в 40-х годах применительно к созданию ядерного оружия. Были разработаны

специальные взрывные устройства, позволившие достигать в лабораторных экспериментах давлений до 2000 ГПа. Данные о поведении веществ при высоких давлениях, создаваемых с помощью этих устройств, получают при обработке результатов измерений параметров ударных волн в образцах из исследуемых материалов. Дальнейшее значительное увеличение давлений на фронте ударной волны (до 10 000 ГПа) было достигнуто при подземных ядерных испытаниях.

Экспериментальные сборки с исследуемыми образцами и датчиками, регистрирующими параметры ударных волн, располагаются в грунте или скальных породах в специальных нишах, на разных расстояниях от эпицентра взрыва. В условиях одного взрыва, таким образом, можно осуществить измерения сжимаемости, охватывающие огромный диапазон давлений, — от типичных для лабораторного взрывного эксперимента до величин, в десятки раз превышающих его возможности. В качестве примера полученных в описываемых экспериментах результатов можно привести зависимости, иллюстрирующие отмеченное выше явление потери индивидуальности веществ при высоких давлениях.

На рис. 4 показано изменение атомных объемов некоторых металлов в зависимости от давления. При нормальных условиях ($P = 0, T = T_0$) существует хорошо выраженная периодическая зависимость атомных объемов ($V_{ат}$) элементов от атомного номера Z , которая отвечает последовательным заполнениям электронами энергетических уровней атомов. Периодичность этой зависимости определяется различием в поведении рыхлых структур (щелочные и щелочноземельные элементы со слабосвязанными электронами s -уровней) и плотноупакованных структур с большим числом электронов, заполняющих d -уровни (переходные металлы). С ростом давления происходит выравнивание атомных объемов элементов. При этом наибольшие изменения происходят у элементов с рыхлой структурой. При давлении 300 ГПа периодичность $V_{ат}(Z)$ проявляется уже слабо, а при $P > 1000$ ГПа (подземные ядерные взрывы) она практически исчезает.

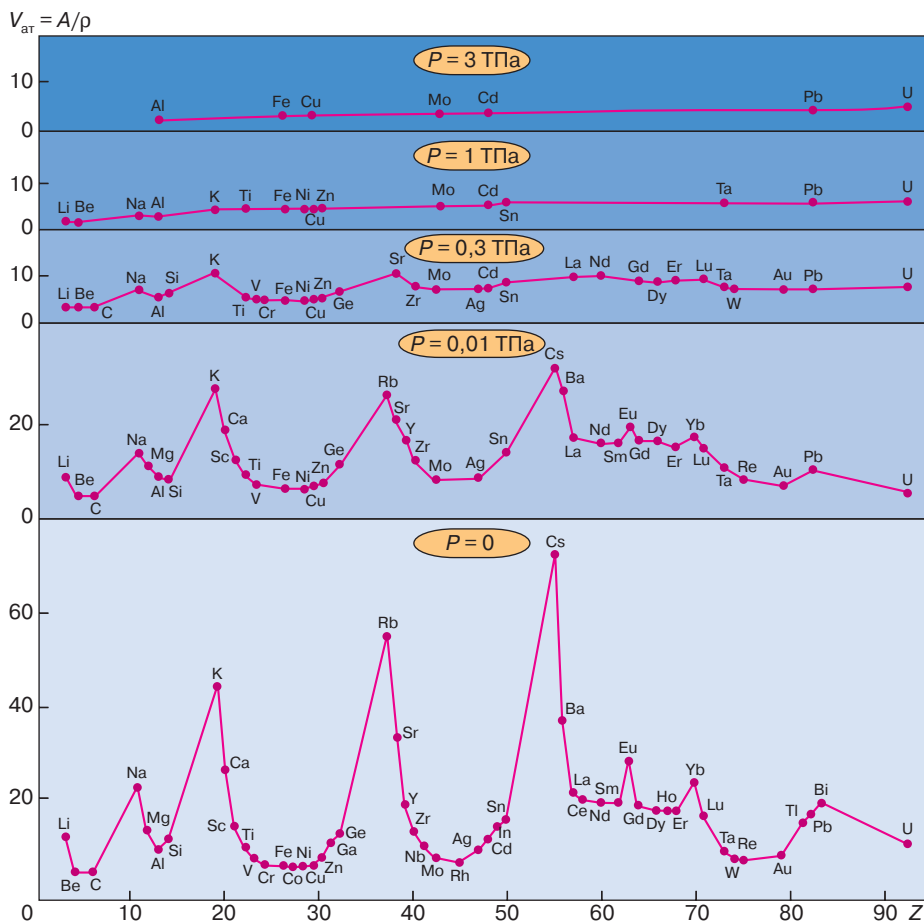


Рис. 4. Изменение атомных объемов элементов в зависимости от давления

Исследование процесса разрушения материалов при быстром объемном разогреве проникающими излучениями ядерного взрыва

В зависимости от спектра излучения, материала и толщины облучаемой преграды при действии излучений ЯВ может происходить или интенсивный разогрев (и даже испарение) тонкого поверхностного слоя преграды, или ее объемный разогрев.

В первом случае разлет испаренного поверхностного слоя приводит к образованию распространяющейся внутри преграды ударной волны сжатия, во втором случае в ней возникают две волны сжатия и расширения, амплитуда которых в области существования твердой фазы пропорциональна концентрации поглощенной энергии. Взаимодействие двух встречных волн последнего типа создает в материале растягивающие напряжения, приводящие к разрушению преграды (разрушение при взаимодействии волн называется отколом). Разрушение подобного вида может быть вызвано и воздействием излучения других физических установок (линейный электронный ускоритель), ударом высокоскоростного ударника в виде плоской пластины и взрывом слоя ВВ в контакте с исследуемым образцом. Применение для нагружения импульсных источников излучения позволяет проникнуть в область рекордно малых интервалов времени действия нагрузок (до 10^{-10} с), что предоставляет уникальные возможности изучения физической природы динамического разрушения материалов, знание которой имеет большое значение для прогнозирования работы установок, работающих при большом темпе ввода энергии (импульсные ускорители, реакторы и т.п.).

Проведенные исследования позволили выявить многие тонкие детали процесса импульсного разрушения разогретых материалов. Например, на рис. 5 приведена полученная в экспериментах с электронным ускорителем и ЯВ временная зависимость для процесса разрушения в координатах $\lg \tau - E(t)/(H + L)$, где τ – долговечность материала, $E(t)$ – плотность поглощенной энергии, L – теплота плавления, H – энтальпия. Экспериментальные точки на рис. 5 соответствуют различным металлам. Из представленной зависимости следует замечательный вывод, что для всех исследованных металлов отношение E к величине $H + L$ для одинаковых значений долговечности практически совпадает, является некоторой константой [3].

ВЗРЫВНАЯ ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Человечество переживает сейчас очень сложный период: запасы ископаемых видов топлива кончаются, количество населения резко возрастает... Не приходится всерьез рассчитывать на альтернативные источники энергии (солнечная, геотермальная и т.п.). Они характеризуются малой плотностью энергии, затраты на ее концентрацию слишком велики. По существу не оправдываются надежды на

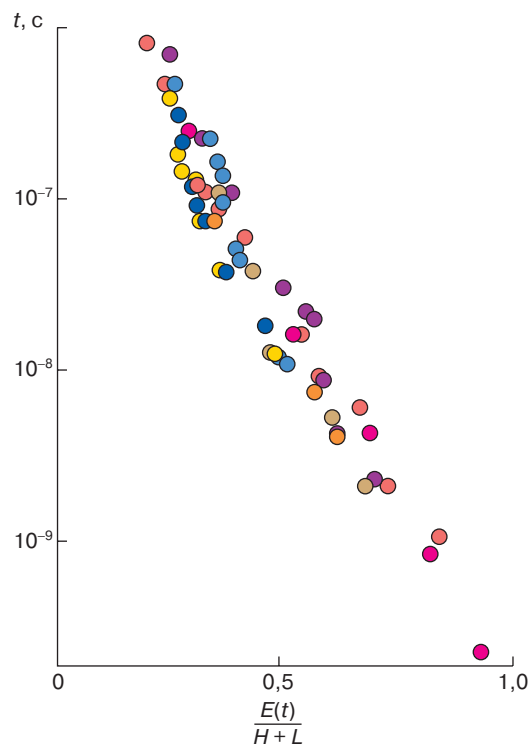
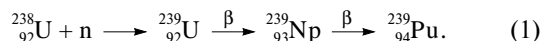


Рис. 5. Временная зависимость процесса разрушения при ударно-волновом нагружении

энергию урана. Изотоп ^{235}U составляет всего 0,7% от 2,6 млн т запасов природного урана. Энергосодержание этого количества ^{235}U на порядок меньше, чем достоверных запасов нефти и газа. Энергозапасы ^{238}U на порядок больше, чем у нефтегаза, но ^{238}U требуется предварительно преобразовать в плутоний:



Скорость такого преобразования в обычных стационарных реакторах-размножителях не превышает 1% в год от заложенного ^{238}U , то есть отдача энергии происходит слишком медленно.

Но возможности ядерной энергетики не исчерпаны. Кроме делящихся материалов, на которых работают современные АЭС, на Земле имеются практически неограниченные запасы дейтерия. Он может быть использован в термоядерных реакциях синтеза с выделением огромной энергии. Во всем мире ведутся исследования по освоению управляемого термоядерного синтеза (УТС). Но до практического использования УТС, по-видимому, еще очень далеко. Для реакции синтеза необходимы температура и плотность больше, чем на Солнце. В земных условиях из-за малого объема топлива необходимы еще большие температура и плотность, которые могут быть реализованы только в ядерном взрыве. Авторы [2] считают, что дейтериевая энергетика может быть только взрывной. Сегодня можно считать

управляемыми только сравнительно мощные дейтериевые взрывы килотонного масштаба. Первые публикации и предложения о возможных испытаниях ядерных взрывов для целей энергетики появились практически одновременно с первыми испытаниями ядерных зарядов. Публикации русских ученых по вопросам энергетического применения ЯВ практически неизвестны. В 1977 году А.Д. Сахаров опубликовал в Нью-Йорке статью “Ядерная энергетика и свобода Запада”, в которой он ссылался на некоторые исследования, выполненные во ВНИИЭФ (Саров). Суть предложения сводилась к “использованию термоядерных взрывов максимальной малой мощности... в большой подземной камере для наработки плутония, который затем сжигался бы в ядерных реакторах”.

Во ВНИИЭФ в начале 60-х годов были начаты расчетные экспериментальные и конструкторские работы, направленные на создание устройств для удержания энергии ЯВ. Автору настоящей статьи довелось участвовать в экспериментальных исследованиях по отработке замкнутых стальных камер, предназначенных для решения этой задачи. Проект не был завершен, но позволил получить уникальный экспериментальный материал о возможности осуществления достаточно мощных многоразовых взрывов в замкнутых камерах.

В последние годы известными учеными ВНИИТФ (Снежинск) был предложен проект создания новой установки для преобразования энергии ЯВ, которую они назвали котлом взрывного сгорания (КВС). Предложенная концепция предполагает получение основной доли энергии за счет взрывов дейтерия, запасы которого практически неограниченны. Для зажигания дейтерия используется инициатор из плутония, который нарабатывается в реакции (1) за счет нейтронов, образующихся при горении дейтерия. Таких нейтронов образуется на два порядка больше, чем сгорает ядер плутония в инициаторе, поэтому получение делящихся материалов в количествах, значительно превышающих собственные потребности, не составит труда.

Одним из основных элементов КВС является прочный стальной котел, в котором с определенной периодичностью производятся ЯВ. Тепловая мощность такого котла составит $W = Q/\tau$ (Q – энерговыделение одного ЯВ, τ – периодичность взрывов). Горячий теплоноситель (натрий, $T \approx 550^\circ\text{C}$) содержится в нижней части камеры (прочный стальной цилиндр диаметром 130 м и высотой 250 м). За час ~200 тыс. т теплоносителя прокачивается через теплообменник, охлаждается до $\sim 120^\circ\text{C}$ и поступает в накопительные резервуары. Рабочее тело турбины нагревается в теплообменниках, вращает турбины, охлаждается и снова подается в теплообменник.

Объем камеры заполнен инертным газом. За несколько минут до взрыва в нее вводится ЯЗ, за несколько секунд натрий выпускается из накопительных резервуаров и летит вниз, образуя защитный слой между ЯЗ и корпусом камеры. После взрыва большая часть энергии передается газу в виде энергии ионизации, теплового движения и кинетической энергии массы газа. Последняя часть определяет механический импульс, воздействие которого должна выдержать стальная камера. Авторы считают, что реально спроектировать КВС с массой стали менее 1 млн т, в котором с периодичностью 1 ч можно будет проводить взрывы с энерговыделением 25 кт т.э. Мощность такой установки составит 25 ГВт.

Цитируемая книга [2] кончается словами: “Взрывная дейтериевая энергетика возможна... Она безопасна экологически и экономична. В России есть научно-технический потенциал, способный, работая на старых рабочих местах, убедить в этом мир... Сделать это можно в первой пятилетке XXI века, если начать сегодня”.

Приведенный материал должен был продемонстрировать огромные возможности ядерных взрывов в интересах науки и промышленности. И хотя многие проекты кажутся сегодня еще фантастическими, ясно одно: если приручить ядерные взрывы, сделать их безопасными, действительно управляемыми, многие проблемы будущего могут быть успешно решены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высокие плотности энергии: Сборник. Саров: РФЯЦ, 1997. 572 с.
2. Иванов Г.А., Волошин Н.П., Ганеев А.С. и др. Взрывная дейтериевая энергетика. Снежинск: РФЯЦ, 1997. 138 с.
3. Бонюшкин Е.К., Завада Н.И., Новиков С.А., Учаев А.Я. Кинетика динамического разрушения металлов в режиме импульсного объемного разогрева. Саров: РФЯЦ, 1998. 274 с.

* * *

Станислав Александрович Новиков, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой “Теоретическая и экспериментальная механика” филиала № 4 МИФИ, начальник отдела Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики. Действительный член Российской академии естественных наук, член-корреспондент Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Область научных интересов – исследование поведения материалов и конструкций при интенсивных импульсных нагрузках, создаваемых взрывом, высокоскоростным ударом, импульсным разогревом. Автор и соавтор более 250 статей, четырех монографий, одного открытия.