

На секциях техники ядерной спектроскопии и прикладной ядерной спектроскопии была рассмотрена техника изготовления и применения полупроводниковых детекторов α - и β -частиц, γ -излучения и нейтронов, методы анализа спектрометрической информации с помощью ЭВМ, применение метода возмущенных угловых корреляций в физике твердого тела и др.

Совещание было хорошо организовано и, несомненно, окажется очень полезным для развития исследований в области структуры ядра. К началу совещания издательством «Наука» отдельной книгой были изданы тезисы докладов. Материалы совещания будут опубликованы в журнале «Известия Академии Наук СССР. Серия физическая».

Четвертое Международное совещание по мирному использованию подземных ядерных взрывов

Совещание было организовано МАГАТЭ и проходило 20—24 января 1975 г. в Вене. В нем участвовали 68 представителей и наблюдателей из 31 страны и двух международных организаций.

С сообщениями о национальных программах и работах по проблеме мирного использования подземных ядерных взрывов выступили представители СССР, США, Великобритании, Таиланда, Мексики, Индии, Швеции, Франции, Австралии. Они показали неослабевающий интерес к данной проблеме. Было сделано 19 докладов, из которых семь посвящены радиационной безопасности мирных ядерных взрывов.

Все доклады условно можно разделить на три группы: феноменология процессов при взрывах, применение и проекты, радиационная безопасность.

Феноменология процессов при взрывах. В докладе от СССР «Оценка возможных остаточных напряжений в горном массиве после взрыва» обращено внимание на большую протяженность упругого поля напряжений, окружающего зону неупругих деформаций. Существенное изменение напряженного состояния (увеличение одних компонентов тензора напряжений и уменьшение других) при взрыве заряда мощностью 100 кт будет наблюдаться в зоне радиусом более 1 км. Учитывая, что времена релаксации напряжений в большинстве горных пород велики, указанное поле напряжений можно рассматривать как постоянное. Этот эффект, на который до сих пор при разработке проектов мирных взрывов не обращали внимания, может оказаться полезным при организации добычи руд в высоконапряженных массивах или при регулировании гидродинамического режима фильтрующихся жидкостей на больших глубинах.

В докладе представителя Мексики «Термодинамические уравнения при подземных ядерных взрывах» показано, что основные уравнения ударной волны можно преобразовать с помощью безразмерных переменных в цифровые выражения, которые могут быть использованы для получения дополнительных сведений о поведении твердых материалов при ударных нагрузках. В основе проведенных исследований лежит известное уравнение Гюгонио.

В докладе специалистов СССР «Модельное исследование дробящего действия взрыва» приведены экспериментальные данные о дроблении блоков канифоли при ударном сжатии. Показано, что в диапазоне изменения амплитуды ударной волны 6—25 кбар дробление материала происходит на фронте волны, а при падении амплитуды ниже 6 кбар фронт разрушения начинает отставать от фронта волны, но сохраняет стабильную скорость распространения вплоть до 2 кбар. Ожидается, что наблюдаемый механизм дробления, распространяющийся как фронт разрушения, будет приобретать решающее значение с увеличением масштаба взрыва.

Применение и проекты. Заслуживают серьезного внимания и изучения результаты американского эксперимента «Рио-Бланко», проведенного 17 мая 1973 г. в США (шт. Колорадо) для интенсификации добычи газа. Подготовка, осуществление и результаты эксперимента описаны в двух докладах («Проведение операций по подготовке ядерного взрыва» и «Заключительный отчет по эксперименту»). В эксперименте были взорваны одновременно три заряда по 33 кт каждый на глубинах 1780, 1900 и 2040 м. После пробной откачки газа из верхней полости обнаружилось, что она оказалась изолированной от подостей, лежащих под нею. При последующем бурении выяснилось, что нижняя полость также изолирована. Этот факт пока не имеет объяснения и представляется странным, так как расстояние между зарядами было слишком малым, чтобы можно было предположить существование между ними неразрушенных пород.

В докладе специалистов Индии «Некоторые исследования по мирному использованию ядерных взрывов в Индии» содержатся результаты первого испытательного взрыва, проведенного 18 мая 1974 г. Заряд мощностью 10—12 кт был взорван на глубине 107 м в относительно слабых породах плотностью 2,1 г/см³. В момент взрыва в эпицентре образовался купол с максимальной высотой 34 м и диаметром в основании 170 м. После взрыва возникла провальная воронка диаметром 47 м и глубиной 10 м, по краям которой был расположен навал породы высотой 1—6 м. Ведется бурение в полость взрыва для изучения его механического и радиационного действия.

С большим интересом были встречены советские доклады «Групповой экскавационный ядерный взрыв в аллювиальных породах» и «Применение ядерных взрывов для создания подземных емкостей и опыт эксплуатации их при хранении газового конденсата».

Оживленную дискуссию вызвал проект строительства канала Кра, представленный в докладе «Проект тайландского канала Кра. Предварительная оценка пригодности ядерной экскавации на одной из трасс канала» (Таиланд). Канал длиной 102 км, глубиной 33,5 м и шириной по дну 198 м предназначен для соединения Сиамского залива с Андаманским морем. Предусматривается с помощью ядерных взрывов построить участок канала длиной 45 км. При строительстве канала необходимо переместить 2,8 млрд. м³ грунта, на что при обычных способах строительства потребуется около 12 лет и примерно 6 млрд. долл. Проект, предусматривающий применение ядерных взрывов, составленный с участием американских специалистов, позволит сократить сроки строительства на 2—4 года и затраты на 2 млрд. долл.

В докладе от США «Извлечение нефти из нефтеносных сланцев на месте их залегания с помощью ядерных

взрывов» представлен проект, в случае успешного осуществления которого запасы нефти в США, как ожидается, возрастут в четыре раза: в раздробленных с помощью ядерных взрывов нефтеносных сланцах создается очаг горения; под действием высокой температуры происходит возгонка нефти, которая собирается внизу столба обрушения и выкачивается на поверхность. Расчеты показали, что капитальные затраты при атом могут быть снижены примерно в 20 раз по сравнению с затратами на перегонку сланцев на поверхности.

Американские ученые продолжают исследования по разработке технологии выщелачивания медных руд с предвзрывательным их дроблением подземными ядерными взрывами. Последние достижения нашли отражения в докладе «Выщелачивание меднорудных месторождений на месте залегания с помощью ядерных взрывов». Приведенные в докладе расчеты показывают, что в случае положительных результатов исследований запасы меди в США могут быть увеличены в несколько раз.

В докладе от Великобритании «Возможные случаи использования ядерных взрывов в мирных целях для добычи полезных ископаемых, залегающих под морским дном», показано, что наиболее перспективно использование подземных взрывов в указанных целях для стран с большой плотностью населения. Аналогичное мнение высказано в докладе руководителя французской делегации.

Радиационная безопасность. Радиационной безопасности при промышленных ядерных взрывах большое внимание было уделено в ряде докладов американских специалистов.

В докладе «Возможные пути облучения человека радиоизотопами при экскавационных ядерных взрывах» предлагается оценивать дозы, вызванные радиоактивными продуктами от данного взрыва (или серии взрывов), как непосредственно на ближайшем следе радиоактивных выпадений, так и на всем земном шаре. Рассматриваются процесс образования кратера, распространение выброшенных радиоактивных продуктов, осаждение частиц разных размеров в различных зонах. Считается, что 80—95% радиоактивных продуктов остается в полости, в зоне воронки и навале грунта. На расстояниях от нескольких сот до 1000 км и более радиоактивные выпадения при отсутствии осадков обусловлены в основном диффузионным осаждением.

Полученные ранее оценки доз в разных зонах от единичного взрыва мощностью 170 кт были использованы для прогноза радиационных последствий при проектировании канала Кра в Таиланде. Оценены дозы для населенных территорий, прилегающих к Таиланду (Никотарские о-ва, о. Суматра), а также потенциальные общемировые дозы.

Оценки показали, что общемировая доза от выделившегося трития при строительстве однопутевого канала (общая мощность используемых ядерных зарядов 40 Мт) составит 0,08 мбэр, двухпутевого (общая мощность 100 кт) 0,2 мбэр.

В докладе «Возможные пути облучения человека радиоизотопами при камуфлетных мирных ядерных взрывах» рассматриваются процессы плавления породы, температурные изменения при образовании полости, распределение радиоактивных изотопов в материале расплава и зоне обрушения. Для прогноза последствий камуфлетных взрывов используется опыт подземных испытаний на полигоне в шт. Невада. Рассмотрены три возможных случая промышленного использования камуфлетных взрывов: для стимуляции выхода газа,

добычи нефти из нефтеносных сланцев и выщелачивания меди. Оцениваются медленное истечение газов и возможные дозы облучения рабочих. Эти дозы оказываются очень небольшими.

Как выяснено, наибольшую потенциальную опасность представляет тритий, поэтому для камуфлетных взрывов предлагается применять заряды, основанные на реакции деления. При использовании газа, извлеченного с помощью ядерного взрыва, в количестве $3,4 \cdot 10^{12}$ фут³/год, средняя индивидуальная доза равна менее 1 мбэр/год. Оценка последствий радиации во всех рассматриваемых случаях использования продуктов, получаемых с помощью мирных ядерных взрывов, показала, что дозы для населения США, например, составят менее 0,5% фонового облучения.

В докладе «Методология CUEX для оценки радиологических последствий по нормам рекомендаций МКРЗ» вводится величина CUEX — индекс суммарного накопления облучения. Разработанная методология имеет ряд машинных кодов для расчета облучения во всех возможных случаях поступления изотопов в организм человека. Она включает прогноз распространения радиоактивных продуктов в атмосфере, определение приземных концентраций в воздухе, переход от концентраций к плотностям загрязнения земной или водной поверхности и поступление изотопов в пищевые цепочки. С помощью различных кодов можно рассчитать дозы от ингаляционного поступления, внешнего облучения от загрязненной поверхности и от поступления изотопов с пищей и водой, а также дозы от погружения в воду.

В докладе приводится пример расчета доз, обусловленных ¹³¹I только при ингаляционном поступлении, а также в случае других путей облучения. Методология дает возможность выделить критические изотопы и оценить вклад в дозу различных путей облучения в конкретных условиях.

В докладе «Моделирование расчета доз возможного облучения человека парами тритированной воды» предлагается новый метод расчета доз от трития. Применяемая ранее методика давала значительно завышенную оценку доз от трития по сравнению с фактическими дозами, полученными при осуществлении проекта «Рулисон». Предлагаются две модели: одна для переноса НТО при отсутствии осадков или при очень слабых осадках, вторая может быть использована в случаях небольшого, среднего или сильного дождя. Входные параметры для первой модели — приземная концентрация НТО в воздухе, абсолютная влажность и необходимые экспериментально определенные константы для выбранных путей облучения. Новое в этой модели — более реалистические оценки поглощения НТО растительностью. Для случаев, когда осадков нет или они слабые, рассматривается загрязнение растительности через листья вследствие влагообмена с воздухом. Определенная по этой модели доза, вызванная потреблением молока, в 400 раз меньше, чем полученная ранее. Вторая модель основана на решении уравнения, описывающего изменение плотности мокрых выпадений радиоизотопов в зависимости от времени как функцию толщины облака, интенсивности осадков и абсолютной влажности.

Первая модель использовалась для прогноза доз от экспериментов по стимуляции выхода газа. С учетом вымывания трития из атмосферы модель применялась для оценок доз в нескольких случаях экскавационных ядерных взрывов. Американские ученые считают тритий потенциально наиболее опасным изотопом как при экскавационных, так и при камуфлетных взрывах.

Общемировое облучение от трития оценивалось по модели Джекобса. Предполагается, что тритий равномерно распределяется по всей гидросфере земли в верхнем 75-метровом слое; доза рассчитывается по среднему отношению Т/Н в теле человека.

В докладе «Способы расчетов и оценок доз от радиоактивности естественного газа при стимуляции добычи ядерными взрывами» оцениваются возможные дозы от содержащихся в газе $^{85}\text{Kг}$ и трития при использовании газа в отопительных системах (выбрасывание продуктов сгорания через трубы) или для приготовления пищи.

Для сравнения рассматриваются начальные концентрации радиоизотопов в газе от трех взрывов: «Гэсбагги», «Рулисон» и «Рио-Бланко». При взрыве «Рио-Бланко» использовался заряд деления, предназначенный специально для стимуляции выхода газа, поэтому содержание трития в газе оказалось в 25 и шесть раз меньше, чем при взрывах «Гэсбагги» и «Рулисон» соответственно.

Оценки индивидуальных и популяционных доз от выбросов продуктов сгорания из труб и от поступления в дома показали, что самое сильное облучение может быть получено от трития в случае приготовления пищи в неветилируемой кухне. При использовании газа от взрыва «Рулисон» или «Гэсбагги» дозы могут достигать 1,3 мрад/год. Дозы от предполагаемого использования газа, извлеченного с помощью ядерных взрывов, не превысят 1% от доз, получаемых от естественных источников.

В докладе советских специалистов «Возможные технические основы для выработки норм безопасного проведения ядерных взрывов в мирных целях» при выборе подходов к установлению некоторых критериев предлагается в качестве допустимых доз облучения принять некоторую малую долю от генетической дозы и от доз, принимаемых в рекомендациях МКРЗ как предельные для критических органов, и малую долю от доз за счет естественного облучения. Кроме того, выпадения долгоживущих продуктов ^{90}Sr и ^{137}Cs не должны увеличивать уже существующего уровня доз от этих изотопов, вызванного прошлыми испытаниями ядерного оружия, и должна сохраняться тенденция к снижению этого уровня. В докладе рассматривается современная радиа-

ционная обстановка в Северном полушарии и некоторые вопросы прогноза радиоактивных выпадений в дальней зоне. Использование зарядов, соответствующих современному уровню ядерной технологии, позволяет осуществить ряд проектов с помощью экскавационных ядерных взрывов при соблюдении условий радиационной безопасности для населения.

В другом советском докладе «Диффузия и осаждение радиоактивных продуктов из облака подземного ядерного взрыва» рассмотрено распространение радиоактивных продуктов от экскавационного ядерного взрыва на большие и промежуточные расстояния. Сравниваются расчетные и экспериментальные данные о концентрациях и выпадениях на примере эксперимента 1003. Рассмотрен механизм выпадения радиоактивных продуктов с осадками, приводящий к повышению плотности выпадений в зависимости от расстояния, интенсивности осадков, их продолжительности и т. д.

В целом советские и американские оценки показывают, что применение мирных ядерных взрывов (как экскавационных, так и камуфлетных) для осуществления больших инженерных проектов (например, создание канала Кра в Таиланде, программа добычи природного газа) не приведет к дозам облучения широких масс населения, превышающим один или несколько процентов от естественного фона.

Впервые было принято решение с рекомендациями в адрес МАГАТЭ по подготовке технических основ для выработки норм безопасного проведения экскавационных ядерных взрывов, по сейсмической безопасности и другим аспектам рассматриваемой проблемы.

Совещание показало, что мировая научно-техническая общественность проявляет большой интерес к проблеме мирного использования ядерных взрывов. Обмен новой информацией подтвердил единство взглядов специалистов по всем основным вопросам проблемы и взаимно обогатил участников совещания. Принято решение о проведении следующего совещания.

МОРОХОВ И. Д., МЯСНИКОВ К. В., РОДИОНОВ В. Н., ПЕТРОВ В. Н., ГРЕЧУШКИНА М. П.

Второй Международный конгресс по волнам и неустойчивостям в плазме

Конгресс был организован Институтом теоретической физики Инсбрукского университета и проходил 17—21 марта 1975 г. в Инсбруке. В нем приняли участие около 230 ученых, представлявших большинство крупных термоядерных лабораторий мира, а также основные университетские центры, в которых проводятся исследования по физике плазмы. Было проведено пять пленарных и 14 секционных заседаний. На пленарных заседаниях заслушано 17 обзорных докладов, на секционных — около 110 оригинальных сообщений. Кроме того, состоялся внепрограммный семинар по физике термоядерных установок. Обзорные доклады в большинстве случаев, кроме обзоров последних результатов исследований в данной области, содержали сообщения об оригинальных работах авторов. Около 30% работ представляли интерес для термоядерных приложений, остальные посвящены тем или иным

вопросам физики плазмы. К сожалению, к началу работы Конгресса были изданы только аннотации к докладам; обзорные доклады (полный текст) будут изданы несколько позднее, а тексты оригинальных сообщений отдельно издаваться не будут.

Очень широко был представлен раздел, посвященный нелинейным волнам в плазме, причем основное внимание уделено двум типам задач: задачам, связанным с фазовым размещиванием резонансных частиц, захваченных монохроматическими (или квазимонохроматическими) волнами, и задачам исследования ponderomotive сил (солитоны, каверны и т. п.). В обзорной лекции Д. Д. Рютова (СССР) рассмотрено затухание Ландау пакетов ленгмюровских волн конечной амплитуды. Из экспериментальных работ особенно следует отметить работу М. Биттера и Р. Париса (Швейцария), в которой при возбуждении монохроматической стоя-