Диспут в Брюсселе о судьбе плутония

С 9 по 11 октября 2000 г. более 300 представителей разных областей науки собрались в Брюсселе, чтобы принять участие в международной конференции “Плутоний-2000”. Посвященная будущему этого уникального элемента, она была организована Бельгийским ядерным обществом (Belgian Nuclear Society) и поддержана аналогичными обществами Европы, США, России и Японии. Участники планировали обсудить проблемы:

- рост запасов очищенного плутония в результате переработки коммерческого ядерного топлива и сокращения ядерного вооружения;

- потенциальная ценность и опасность, которые эти запасы представляют;

- технические варианты обращения с данными материалами;

- политические решения, необходимые для их реализации.

*Современная ситуация: мировые запасы плутония*

Некоторые докладчики и слушатели, присутствовавшие на конференции, высказали обеспокоенность ростом мировых запасов гражданского (в результате деятельности атомных электростанций) и излишком оружейного плутония.

При эксплуатации АЭС на урановом топливе плутоний накапливается в облученном топливе, частично выгорает, частично остается в смеси с недогоревшим ураном-235, матричным ураном-238 и продуктами деления. Суммарное содержание изотопов плутония от Pu238 до Pu242 в отработанном топливе легководного реактора составляет около 1%. При ежегодной выгрузке 24 т облученного топлива из одного блока ВВЭР-1000 получается, что реактор производит примерно 240 кг энергетического, или гражданского, плутония в год.

Плутоний - радиоактивное вещество, опасное для здоровья; его хранение, транспортировка, утилизация сопряжены с финансовыми и техническими трудностями и требуют принятия особых мер безопасности \*. По данным **Йор-сан Чой** (МАГАТЭ), запасы гражданского плутония последние несколько лет быстро росли и сейчас превышают 200 т. Доктор Чой подчеркнул различие между странами, имеющими программы использования плутония, где его запасы скоро достигнут пика и начнут постепенно снижаться, и странами, у которых таких программ нет и где переработка сводится лишь к выделению плутония из отработанного топлива, - там запасы будут расти.

\* Подробно о том, опасен ли плутоний для нашей планеты и насколько, см.: *Кудрявцев Е.Г.* Плутоний: разнообразие подходов и мнений // Природа. 1995. №12. С. 3-11. - ***Примеч. ред.***

Что касается оружейного плутония, в настоящее время США имеют запас 99.5 т, российский запас приблизительно вдвое больше. Это частное мнение автора, не основанное на каких-либо фактических данных.

От части этих объемов страны намерены избавиться. В марте 1995 г. Б.Клинтон объявил о решении изъять из ядерных арсеналов США 200 т делящихся материалов. Б.Н.Ельцин со стороны России в ответ на это обещал постепенно вывести из военных программ около 500 т высокообогащенного урана и до 50 т плутония. 1 сентября 2000 г. было заключено соглашение между вице-президентом США А.Гором и премьер-министром России М.М.Касьяновым, предусматривающее, что каждая сторона примет все меры для сокращения военных запасов плутония не менее чем на 34 т начиная с 2007 г. Прогресс в переговорах по сокращению стратегических вооружений может привести к тому, что еще большее количество оружейного плутония станет лишним, и не только в Америке и России. Так, Великобритания уже заявила, что из ее заметно меньших ядерных арсеналов 4.1 т плутония является излишком.

*Ресурс или отходы?*

С тем, что мировые запасы плутония должны быть сокращены, на конференции согласились все. Но как оставить без внимания тот факт, что в 1.2 г способного к делению плутония заключено такое же количество энергии, как и в 1 г урана-235? Так принимать ли плутоний за ресурс или за отходы? В процессе обсуждения стало ясно, что мнения участников конференции по этому поводу расходятся.

Эти дебаты не ограничивались нынешней ситуацией на энергетическом рынке. Подобно приверженцам возобновляемых, но пока дорогостоящих источников энергии (солнца, ветра и др.), сторонники плутония как ресурса отмечали, что, хотя он сегодня и имеет ряд минусов с точки зрения рынка, не использовать вообще его энергетический потенциал нецелесообразно и даже безответственно. Ведь как и уран, плутоний способен стать ограничителем цен на исчерпаемые энергоносители и, плюс к этому, в отличие от урана может обеспечить нас практически неистощимым и возобновляемым источником энергии.

Напротив, сторонники концепции “плутоний - это отходы”, подобно **К.Эйзенбарт** из Протестантского института междисциплинарных исследований (Германия), призывали испробовать все, чтобы гарантировать недосягаемость существующего плутония, невозможность его повторного использования и остановку его производства.

**Г.Бей** из Швейцарской компании NOK выразил мнение, что, если плутоний остается лишь ресурсом, который можно передать будущим поколениям, это налагает серьезную ответственность на долгое время. Плутоний нуждается в системе безопасности в течение значительно большего срока, чем реактор, в котором он был произведен.

Тем не менее на конференции сторонники рассматривать плутоний как ресурс все же численно превосходили защитников точки зрения на плутоний как на отходы.

*Методы ликвидации плутония*

Основываясь на двух взглядах на плутоний, имеет смысл обсудить методы, преследующие целью ликвидацию запасов этого радиоактивного вещества. Сегодня есть два способа избавиться от его запасов. Первый - производство на основе плутония топлива и сжигание его в обычных реакторах на атомных электростанциях. Второй - захоронение.

Основой первого способа стал разработанный в конце 50-х годов Бельгийским центром ядерных исследований и компанией “Belgonucleaire” метод производства способной к делению смеси урана и плутония. Метод был назван MIMAS (**MI**cronized **MAS**ter blend); с 1985 г. данная компания начала промышленное производство топлива по этому методу и произвела порядка 50% всего MOX-топлива. Название MOX (**M**ixed-**OX**ide fuel) \* получило топливо, состоящее из диоксидов плутония и урана-238. С того момента, как было установлено, что оно может использоваться в обычных реакторах, многие страны стали его производить и более 30 европейских атомных станций перешли с уранового топлива на смешанное.

\* Подробно о том, что такое MOX-топливо и как его получают, см.: *Меньшикова Т.С., Антипов С.А.* Состояние и перспектива использования MOX-топлива в энергетических реакторах // Природа. 1996. №10. С.94 - 104. - ***Примеч. ред.***

На конференции в защиту MOX-технологии выступил **Ж.Бошар** из Французской комиссии по атомной энергии. Представленный на конференции перечень предприятий ядерной энергетики Европы, Японии и США, уже использующих или планирующих использование MOX-топлива, продемонстрировал, что MOX - готовая промышленная технология, дающая надежную стратегию безопасного уничтожения запасов очищенного плутония.

Если часть уранового топлива в реакторе на тепловых нейтронах заменить на MOX, т.е. уменьшить нагрузку по U235, можно добиться примерно равного количества плутония в загружаемом и выгружаемом материале. А реактор на быстрых нейтронах (например, разработанный институтами Минатома России реактор с натриевым теплоносителем БН-800) способен к полному сжиганию значительного количества плутония любого качества, причем содержание его в топливе может быть заметно больше, чем при работе на тепловых нейтронах. Сегодня разрабатываются новые виды ядерных топлив (например, карбидное, нитридное, с инертной матрицей), допускающие еще более высокие концентрации плутония, чем в MOX-топливе.

Что касается захоронения, то представитель России, заместитель министра по атомной энергии **В.Б.Иванов** выразил мнение, что если плутоний будет размещен на постоянное хранение в скальных породах, то когда-нибудь люди найдут способ извлечения его из этого хранилища - по сути плутониевой шахты. Поэтому единственный “реальный” способ ликвидировать запасы плутония - уничтожить, используя его энергетический потенциал в атомной энергетике.

Однако из выступлений на конференции стало ясно, что не обязательно “хоронить” плутоний навсегда: возможны консервация плутония с соблюдением всех мер безопасности и хранение его в пределах досягаемости, чтобы в будущем, когда технологически смогут обращаться с ним без риска, наши потомки воспользовались его потенциальной энергией. В поддержку такого способа решить проблему плутония высказалась **А.Макфарлейн** из Массачусетсского технологического института. Она заявила, что консервация, по-видимому, будет применяться за пределами США, в странах, противящихся переводу реакторов на использование MOX-топлива, и в случаях, когда включенные в плутоний загрязнения не позволят использовать его для производства MOX-топлива. Макфарлейн заверила, что метод консервации в лучшей степени обеспечивает геологическую изоляцию и предотвращает утечку в грунтовые воды, чем использование MOX-топлива. Однако, как она отметила далее, американская программа консервации излишков оружейного плутония в рамках концепции “банка в канистре” уже столкнулась с проблемой обеспечения цезием в достаточном количестве - для устройства радиационного барьера.

Американская концепция “банка в канистре” (“can-in-canister”) предполагает для предотвращения несанкционированного доступа и извлечения плутония заливать плутониевую керамику радиоактивным стеклом, содержащим мощный гамма-излучатель цезий-137. Таким образом создается “непроходимый” радиационный барьер на пути к плутонию, такой же эффективный, какой создают продукты деления в облученном MOX-топливе. Однако залитый стеклом плутоний сохраняет свой исходный оружейный изотопный состав, в то время как в MOX-топливе, прошедшем через реактор, он теряет “оружейное качество”.

Ряд выступающих выражал поддержку обоим решениям. Представитель Департамента по энергии США **Л.Холгейт** заявила, что для ликвидации излишков оружейного плутония решено одновременно использовать обе технологии - MOX и консервацию. Это позволит раньше начать ликвидацию плутония и застрахует от возможных трудностей реализации какой-нибудь одной программы. В Департаменте по энергии считают, что двусторонняя стратегия демонстрирует решимость США сокращать запасы плутония так быстро, как только возможно. 26 т плутония (из своих 34 по соглашению Гора - Касьянова) США намереваются обратить в MOX-топливо, оставшиеся 8 т законсервировать.

Существующий стандарт отработанного топлива, рекомендованный Национальной академией наук США в 1994 г. в докладе о ликвидации оружейного плутония и принятый впоследствии Департаментом по энергии США, устанавливает, что плутоний должен быть переведен в форму недоступную и/или непривлекательную для использования в качестве ядерного оружия. Однако доктор Макфарлейн заявила в своем выступлении, что в настоящее время Национальная академия изучает вопрос о пересмотре стандарта отработанного топлива и применении его для обеих форм ликвидации - через MOX и “банку в канистре”.

По мнению специалистов Минатома России, использовать энергетический плутоний для производства ядерного оружия чрезвычайно сложно. Некоторые американские эксперты, напротив, считают, что при современном уровне знаний террористы, получившие доступ к гражданскому плутонию, могут создать примитивную ядерную бомбу. Сегодня достигнут международный консенсус о необходимости тщательного учета и контроля ядерного материала, а также его охраны. Соответствующие необходимые процедуры осуществляются на всех объектах Минатома.

**Д.Фенстермахер** из Госдепартамента США отметил, что для доказательства приемлемой ликвидации плутония США и Россия будут использовать уровни выгорания и радиации отработанного MOX-топлива. Подписанное в 2000 г. межправительственное соглашение определяет уровень сжигания в минимум 20 ГВт·сут/т, а уровень радиации - в 1 Зв/ч на расстоянии одного метра от отработанного топлива спустя 30 лет после обработки топлива в реакторе.

*Как обращаться с военными излишками?*

Л.Холгейт отметила следующие позиции в соглашении Гора - Касьянова:

- достигнутую договоренность о сокращении каждой стороной 34 т излишков оружейного плутония Россия намеревается выполнить посредством перевода плутония в MOX-топливо и использовать его в реакторах, а США планирует применять как MOX-метод, так и метод захоронения;

- переработка плутония в промышленном масштабе должна начаться в США и в России в декабре 2007 г. Каждая сторона должна ликвидировать по крайней мере 2 т плутония в год;

- США и Россия должны достигнуть соглашения с МАГАТЭ по международному контролю над программами сокращения.

Россия собирается организовать производство MOX-топлива на ПО “Маяк” или в Железногорске. Росэнергоатом будет использовать MOX-топливо на блоках ВВЭР-1000 в Балаково и, возможно, в будущем на блоках Калининской атомной станции. Другим потребителем MOX-топлива станет уже действующий российский реактор на быстрых нейтронах БН-600. На то чтобы наладить промышленный выпуск MOX-топлива для российских программ, направлены исследовательские работы во многих странах. Они включают адаптацию европейского MOX-опыта к российским топливным разработкам, оценку возможности промышленного производства топлива в России, параллельные исследования во Франции и в Германии, производство опытных образцов топлива и прототипных сборок.

Не останавливаясь на заявленных 68 т, США и Россия намереваются изыскивать любые пути, чтобы ликвидировать как можно больше излишков плутония, включая использование российского MOX-топлива за пределами страны. Уже анализируется перспектива сжигания российского военного плутония в канадских реакторах КАНДУ (CANDU). Обе страны уже отправили около 600 г военного плутония в Канаду для производства таблеток MOX и экспериментального облучения их в исследовательском реакторе. В будущем в России могли бы быть построены новые, более совершенные реакторы, позволяющие утилизировать плутоний. Совместные усилия Министерства по атомной энергии (Россия) и компаний “General Atomics” (США), “Framatome” (Франция) и “Fuji Electric” (Япония) направлены на разработку прототипного реактора с газовым теплоносителем, который обладал бы высокой пропускной способностью по плутонию.

В июле 2000-го на саммите Большой восьмерки в Окинаве было решено подготовить многосторонние соглашения о международном финансировании программ ликвидации плутония \*. **М.Дефрен** из Европейской комиссии признался участникам конференции, что это будет *“важная и трудная задача”,* но *“если мы хотим начать ликвидацию к концу 2007 г., то необходимо учесть, что времени в обрез, и финансовые решения должны быть приняты”.*

\* О важности этой проблемы говорилось и в заявлении министров иностранных дел стран Большой восьмерки по итогам встречи в Риме в июле 2001 г. - ***Примеч. перев.***

*Возможно участие Европы*

Много внимания на конференции уделялось вопросу вовлечения европейской атомной промышленности в программу ликвидации излишков российского оружейного плутония, поскольку в Европе накоплен обширный опыт по изготовлению и использованию MOX-топлива. Французская компания “Cogema” при поддержке компаний “Electricite de France”, “Belgonucleaire” и “Tractebel” (Бельгия) уже играет лидирующую роль в американской программе. На очереди - вопрос европейской помощи России на уровне физического задействования имеющихся там мощностей. Иванов выступил на конференции с идеей производить MOX-топливо в России, сдавать его в аренду европейским энергокомпаниям для сжигания в их реакторах и в конечном итоге возвращать отработанное топливо в Россию для постоянного хранения. Этот сценарий обеспечит увеличение пропускной способности реакторов, позволяющее ускорить ликвидацию российского военного плутония.

На сессии, посвященной обсуждению опыта и планов использования энергокомпаниями MOX-топлива, ее руководитель **Ф.Деконинк,** председатель Бельгийского центра ядерных исследований, поставил вопрос: какая страна возьмется сжигать MOX-топливо, принадлежащее другой стране? Вопрос сразу вызвал позитивное отношение множества европейских энергокомпаний, но были и противники такого предложения. Вот замечания некоторых участников дискуссии:

- представитель EON (Германия) **Д.Броше**: если это топливо дешевле, компания его возьмет;

- представитель NOK **Г.Бэй**: лизинг топлива звучит привлекательно, особенно для таких небольших программ, какими занимается NOK. В отношении данной идеи сомнений нет, если это имеет экономический смысл. Однако надо торопиться, поскольку срок работы имеющихся реакторов ограничен;

- представитель OKG (Швеция) **С.Нордлоф**: компания не станет связываться с MOX-топливом, *“если за него придется бороться”;* опасение вызывает цена на топливо на нерегулируемом рынке (кстати, недавний опрос показал, что 72% шведов выступают за использование шведских реакторов для уничтожения излишков оружейного плутония);

- представитель “Duke Power” (США) **С.Несбит**: “Duke” намерена закупить MOX-топливо в случае, если это дает экономию по сравнению с покупкой эквивалентного количества уранового топлива;

- представитель “Electricite de France” **Ж. -Л.Прово**: на производственных мощностях нет места для чужого плутония, поскольку и так хватает проблем с переработкой собственного;

- представитель “Tokyo Electric Power” (Япония) **С.Муто**: японское правительство и Японский институт разработки ядерного цикла помогают России с программой уничтожения военного плутония на российском реакторе БН-600.

Эта дискуссия высветила очень интересную тенденцию. Пока французские и японские электрические компании будут продолжать перерабатывать свой плутоний, компании с опытом утилизации MOX-топлива из Бельгии, Германии, Швейцарии и в скором времени Швеции планируют постепенно, в течение следующих нескольких лет, по мере полной переработки собственных запасов выделенного плутония, прекратить работу с MOX-топливом. Но вполне можно ожидать, что одна (или несколько) из этих европейских компаний в дальнейшем обратится к новым программам утилизации MOX-топлива, включая программу уничтожения российского оружейного плутония, вместо того чтобы полностью исключить использование MOX, как видится сегодня. Конечно, это будет зависеть от экономических условий и позиций национальных правительств.

*Впереди сложные задачи*

На конференции высветились многочисленные проблемы, связанные с утилизацией гражданского и оружейного плутония. Например, необходимо срочно принять политические решения, намеченные в Окинаве; остается и ряд технических проблем. MOX-путь сокращения запасов оружейного плутония может стать положительным итогом опыта коммерческого производства и использования MOX-топлива, но для этого потребуется проведение тестового облучения непосредственно оружейного плутония, который отличается от гражданского. Пробные образцы будут облучены в американских и российских реакторах перед тем, как дать старт полномасштабной реализации программы. Для США должна быть разработана и продемонстрирована технология консервации оружейного плутония. Могут возникнуть трудности с обеспечением достаточным количеством цезия для устройства радиационного барьера. И необходимо провести испытания, подтверждающие, что метод “банка в канистре” удовлетворяет принятым требованиям безопасности.

На конференции профессор **А.Сузуки** из Токийского университета высказал мнение, что для решения технической части задачи потребуется более тесное сотрудничество членов международного технического сообщества, но задача в большей степени политическая, нежели техническая.

Помимо проблем новых технологий, основными вопросами остаются ресурсы - люди и деньги. **П.Д’Хонд** из Бельгийского центра ядерных исследований отметил истощение научного потенциала и нужду в привлечении в поле ядерных технологий новых ученых. **В.Гмелин** подчеркнул, что очень важно поддерживать на достаточном уровне финансирование Управления безопасности Евроатома со стороны Евросоюза.

Завершая конференцию “Плутоний-2000”, председатель программного комитета **П.Говарт** отметил, что в основном достигнут консенсус: надо не только решать проблему нераспространения запасов плутония, нарастающих в процессе разоружения, но и не забывать о мирном использовании ядерной энергии. Он назвал недавнее соглашение Гора - Касьянова призывом к другим заинтересованным странам определиться со своей политикой в области плутония. *“Первые переговоры о сокращении ядерных арсеналов, -* сказал Говарт, - *начались уже более 25 лет назад. Сейчас сложились все условия для реализации этого сокращения. Мы все обязаны вместе устранить страшные последствия холодной войны, найти правильное решение проблемы плутония. С этим веществом нужно обращаться осторожно, но содержащуюся в нем высокую энергию необходимо использовать в реакторах, а не терять зря”.* Как заметил в заключение президент Бельгийского ядерного общества **Ж.Корнэ**, конференция показала, что эффективные способы обращения с плутонием есть, и дело за правительствами, которые должны принять соответствующие решения.

Литература

Статья Барона *Андрэ Жомотта* (*Andre Jaumotte*), почетный председатель международной конференции “Плутоний-2000”,  
президент ассоциации “Бельгийская ядерная промышленность”.  
Был ректором и президентом Свободного университета Брюсселя.