

ДЕЛЯЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ В ЮЖНОЙ АЗИИ И ПОСЛЕДСТВИЯ АМЕРИКАНО-ИНДИЙСКОГО ЯДЕРНОГО СОГЛАШЕНИЯ

Зиа Миан, А. Х. Найяр, Р. Раджараман и М. В. Рамана

Совместное американо-индийское заявление в июле 2005 года представляет собой фундаментальное изменение отношений между США и Индией и в то же время вызов режимам разоружения и нераспространения. Возникает опасение, что предложенный Индией в марте 2006 года разделительный план для установления различия между ее военными и гражданскими ядерными установками может позволить Индии быстро расширить свои возможности по производству оружейных ядерных материалов. В этом анализе мы сделали предположения об индийском потенциале производства ядерных материалов и о том, как он может измениться в результате американо-индийского соглашения. Мы рассматриваем текущие запасы ядерных материалов в Индии и Пакистане и оцениваем меняющийся производственный потенциал для ядерных материалов по мере того, как Индия последовательно помещает свои реакторы на тяжелой воде под контроль МАГАТЭ. Мы оцениваем ограничения на индийские запасы урана и дополнительное производство оружейного плутония в не находящихся под контролем реакторах на тяжелой воде, что может оказаться возможным при ввозе урана, разрешенном по соглашению. Мы оцениваем также производство оружейного плутония на индийском реакторе-размножителе на быстрых нейтронах, который сооружается и должен быть поставлен под контроль.

Статья получена 11 июля 2006 г. и принята к публикации 29 июля 2006 г.

Зиа Миан работает по программе «Наука и всеобщая безопасность», Школа имени Вудро Вильсона по общественным и международным проблемам, Принстонский университет, Принстон, Нью Джерси, США.

А. Х. Найяр – сотрудник Института устойчивого развития, Исламабад, Пакистан.

Р. Раджараман – сотрудник Школы физических наук, университет Джавахарлала Неру, Нью Дели, Индия.

М. В. Рамана работает в Центре междисциплинарных исследований по окружающей среде и развитию, Бангалор, Индия.

Статья первоначально готовилась в виде доклада для Международной группы по делящимся материалам. Авторы благодарны Группе за разрешение направить переработанный материал в журнал «Наука и всеобщая безопасность». Авторы благодарят Фрэнка фон Хиппеля и Хала Фейвесона за плодотворные обсуждения, а Александра Глейзера за тесное сотрудничество.

Адрес Зиа Миана для почтовой связи: Program on Science and Global Security, Woodrow Wilson School of Public and International Affairs, Princeton University, 221 Nassau St., Floor 2, Princeton, NJ 08542, USA. Электронный адрес: zia@princeton.edu.

ВВЕДЕНИЕ

Президент США Джордж Буш и премьер-министр Индии Манмохан Сингх выпустили 18 июля 2005 года в Вашингтоне совместное заявление, заложившее основы для возобновления американской и международной ядерной торговли с Индией¹. Эти связи были запрещены в течение почти тридцати лет, поскольку Индия не подписывала Договор о нераспространении ядерного оружия и не позволяла МАГАТЭ осуществлять контроль над всеми своими ядерными установками. Июльское соглашение возбудило политические споры в США и Ин-

¹ Текст соглашения смотрите в <http://www.whitehouse.gov/news/releases//2005/07/200507.18-6.html>.

дии и тревогу со стороны ряда других стран². Среди затрагиваемых вопросов было опасение, что соглашение способствует нормализации статуса Индии как ядерного государства и ослабляет тем самым Договор о нераспространении и сам режим нераспространения. Важная озабоченность была связана с тем, что соглашение может побудить Индию к потенциальному расширению своих возможностей по созданию ядерного оружия и тем самым помешать международным усилиям по прекращению производства делящихся материалов для ядерного оружия.

В качестве части июльской сделки США предложили поправить свои законы и свою политику в отношении передачи ядерной технологии и стремиться к необходимым изменениям международного контроля над поставками ядерного топлива и ядерных технологий, чем управляет группа стран – ядерных поставщиков (ГЯП), чтобы позволить им вести торговлю с Индией. В обмен на ослабление ограничений правительство Индии обещало идентифицировать гражданские ядерные установки и программы и отделить их от комплекса по производству ядерного оружия, а также поставить эти гражданские установки под гарантии МАГАТЭ и придерживаться дополнительного протокола МАГАТЭ в отношении таких установок. Однако окончательный вид и статус этого соглашения еще неясен, потому что Конгресс США должен внести поправки в существующие законы и требуется консенсус всех стран ГЯП. В обоих случаях могут быть выдвинуты такие условия, с которыми Индия не согласится³.

На встрече в Дели в марте 2006 года между президентом Бушем и премьер-министром Сингхом было объявлено, что правительство США удовлетворено предложенным Индией планом разделить ядерную программу на гражданский и военный компоненты⁴. Разделительный план предполагает отнести под гарантии МАГАТЭ восемь индийских ядерных электростанций, которые или уже работают, или сооружаются, в добавление к шести реакторам, уже являющимся субъектами для гарантий, поскольку они были закуплены за границей (смотрите Приложение 1, где приведен список работающих и строящихся индийских реакторов). Эти «гражданские» реакторы будут постепенно поставлены под гарантии к 2014 году и останутся открытыми для инспекции без всякого ограничения по срокам. Оставшиеся восемь индийских ядерных электростанций и все ее исследовательские реакторы, включая программу реактора на быстрых нейтронах с плутониевым топливом, являются частью военной программы. Индия предложила также заглушить к 2010 году реактор, поставленный Канадой для мирных целей, но плутоний от него был использован для ядерного испытания в 1974 году. Индия также заявила, что имеет право классифицировать, как военный или гражданский, любой будущий реактор, который может быть построен.

Ядерное соглашение вызвало большую озабоченность у Пакистана, который потребовал у США (но получил отказ) такой же сделки, какая была предложена Индии⁵. Китай призвал к тому, чтобы все возможности международного ядерного сотрудничества и торговли, согласованные между странами ГЯП, стали открытыми и для Пакистана⁶. США и ряд других членов ГЯП возражали против этого⁷.

Пакистанский премьер-министр Шаукат Азиз отмечал, что «ядерное нераспространение и стратегическая стабильность в Южной Азии окажутся возможными, когда США выполнят

² Политика и более широкие политические вопросы соглашения обсуждаются в статье Zia Mian and M.V. Ramana, "Wrong Ends, Means and Needs: Behind the U.S. Nuclear Deal with India." *Arms Control Today* (January/February 2006), <http://www.armscontrol.org/act/2006.01-02/JANFEB-IndiaFeature.asp>.

³ В состав группы ядерных поставщиков входят Аргентина, Австралия, Австрия, Белоруссия, Бельгия, Бразилия, Канада, Китай, Кипр, Чехия, Дания, Эстония, Финляндия, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Ирландия, Италия, Япония, Казахстан, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Голландия, Новая Зеландия, Норвегия, Польша, Португалия, Южная Корея, Румыния, Россия, Словакия, Словения, Южная Африка, Испания, Швеция, Швейцария, Турция, Украина, Великобритания, и США; <http://www.nuclear-suppliersgroup.org>.

⁴ Пресс-конференция президента Буша и премьер-министра Сингха, Нью Дели, 2 марта 2005 г., <http://www.whitehouse.gov/news/releases/2006/03/20060302-9.html>.

⁵ "Pakistan Seeks Nuclear Deal on Par with India," *Dawn* November 8, 2005; Khalid Hasan, "No Indian-Style Nuclear Deal for Pakistan," *Daily Times* (November 7, 2005).

⁶ Mark Hibbs, "China Favors NSG Solution on India That Facilitates Trade with Pakistan." *Nuclear Fuel*, November 7, 2005.

⁷ Mark Hibbs and Shahid-ur-Rehman, "NSG, USA won't Accommodate new Pakistan-China Commerce." *Nucleonics Week*, March 2, 2006.

пожелания Пакистана и Индии по гражданской ядерной технологии» и предупредил, что «выборочный и дискриминационный подход вызовет серьезные последствия для безопасной обстановки в Южной Азии»⁸. Пакистанский национальный руководящий совет (НРС), возглавляемый президентом Первезом Мушаррафом и ответственный за политику и производство ядерного оружия, заявил: «в связи с тем, что соглашение между США и Индией даст возможность Индии изготовить достаточное количество ядерных материалов и ядерного оружия от не находящихся под контролем ядерных реакторов, НРС выражает твердое убеждение, что наши требования надежного минимального сдерживания будут удовлетворены»⁹. Но в то же время пакистанский посол в США и бывший командующий армией генерал Джахангир Карамат предложил, что «если США в двустороннем порядке могут способствовать мораторию на производство делящихся материалов или на испытания, мы будем рады участвовать в этом»¹⁰.

Мы обсуждаем здесь технические вопросы, которые связаны с делящимися материалами и имеют отношение к тревогам по поводу соглашения¹¹. Сначала мы рассмотрим оценки производства делящихся материалов и арсеналов в Южной Азии. Затем мы рассмотрим важность для будущего индийского потенциала производства делящихся материалов оружейного качества той линии, которую Индия провела между своими гражданскими и военными установками.

ЯДЕРНЫЕ ПРОГРАММЫ В ЮЖНОЙ АЗИИ

Индия и Пакистан имеют давно существующие программы ядерного оружия, которые связаны с их гражданской ядерной инфраструктурой. Международная поддержка играла ключевую роль для развития этих комплексов в обеих странах. Значительная часть такой поддержки последовала после начала американской программы «Атомы для мира», которая стремилась воодушевить страны третьего мира, чтобы те стали союзниками США, путем предоставления ядерной технологии, и привела к несчастливым последствиям для нераспространения в Южной Азии и в других местах¹².

Индия

Образованная в 1948 году индийская комиссия по атомной энергии обратилась к Великобритании по поводу конструкции и обогащенного урана для своего первого ядерного реактора. Таким же образом Канада поставила реактор CIRUS, а тяжелая вода для него пришла из США. Первые индийские ядерные электростанции в Тарапуре и Раватхате были поставлены Соединенными Штатами и Канадой, соответственно.

Американская конструкция была использована для первого завода по переработке отработанного топлива в Тромбее. Некоторые из этих технологий и материалов внесли свой вклад в производство и выделение плутония, который был использован для ядерного испытания в Индии в 1974 году. Из-за этого испытания и последующего отказа избавиться от своего ядерного оружия и подписать Договор о нераспространении Индия надолго осталась вне системы торговли ядерной технологией, разработанной за последние 30 лет.

В течение длительного времени Индия создавала программу ядерной энергетики с 15 реакторами (смотрите Приложение 1), обеспечивающими установленную мощность по электроэнергии 3310 МВт(э), что составляет около 3% от общего энергопотребления Индии. Тринадцать реакторов работают на тяжелой воде под давлением (ТВДР), причем первые два из них имеют канадское происхождение. Остальные ТВДР большей частью основаны также на канадской технологии. Последнее изменение конструкции увеличило мощность от 220 до 540 МВт(э). Два других энергетических реактора, работающих на кипящей воде, поступили из США.

⁸ "Aziz Pleads for Pak-US N-Deal." *Daily Times*, April 6, 2006.

⁹ Shakil Sheikh, "Pakistan vows to maintain credible N-deterrence." *The News*, April 13, 2006.

¹⁰ "Pakistan totally committed to non-proliferation restraint regime." *Associated Press of Pakistan*, April 9, 2006, <http://www.app.com.pk/n87.htm>.

¹¹ Некоторые из этих вопросов обсуждались в недавнем докладе: Ashley Tellis, *Atoms for War*, Carnegie Endowment 2006, <http://www.carnegieendowment.org/files/atomsforwarrevised1.pdf>.

¹² Leonard Weiss, "Atoms for Peace," *Bulletin of the Atomic Scientists* (November/December 2003).

Только четыре реактора, поставленные из-за границы, находятся сейчас под гарантиями МАГАТЭ. Под гарантии встанут и два реактора с мощностью по 1000 МВт(э), построенные в России по соглашению 1988 года. Эти два крупных реактора увеличат мощность индийской ядерной энергетики более чем на 50% в течение нескольких следующих лет.

В течение десятилетий индийское министерство по атомной энергии (ИМАЭ) работает над честолюбивой программой разработки воспроизводящего реактора на быстрых нейтронах (ВРБН). Сюда входят выделение плутония из отработанного топлива реакторов на естественном уране и применение его в качестве топлива для ВРБН, которые, в свою очередь, могут быть использованы для получения урана-233. Он, в конечном счете, послужит топливом для воспроизводящих реакторов, которые будут работать в замкнутом топливном цикле торий – уран-233¹³. Эти усилия шли с переменным эффектом: первый испытательный ВРБН, который предполагали построить в 1976 году, вступил в строй только в 1995 году и с тех пор испытывает проблемы¹⁴. Прототип ВРБН вряд ли будет завершен до 2010 года. Если все пойдет по плану, Индия начнет также работу над перспективным реактором на тяжелой воде (ПТВР), где в качестве топлива применяется смесь тория, плутония и урана-233. чтобы приобрести опыт работы с топливным циклом на тории и уране-233¹⁵.

Индия провела первое испытание ядерного оружия в мае 1974 года. Затем прошли еще пять испытаний в 1998 году, куда входили оружие на делении и термоядерное оружие. Есть сообщения, что в одном (по крайней мере) испытании был использован плутоний недостаточно высокого качества (с повышенным содержанием плутония-240)¹⁶. Считается, что индийский ядерный арсенал сдержит 40-50 боеголовок, а в одном из сообщений говорится о планах иметь 300-400 единиц ядерного оружия через 10 лет¹⁷.

Пакистан

Пакистан получил первый исследовательский реактор из США в рамках программы «Атомы для мира». Первый энергетический реактор – ТВДР на 137 МВт(э), изготовленный в Канаде, начал работать в 1972 году, а водяной реактор под давлением (ВДР) на 325 МВт(э), сконструированный и изготовленный в Китае, работает с 2001 года в Хашиме. Второй реактор того же типа сооружается в том же месте. Все эти реакторы находятся под гарантиями МАГАТЭ (Приложение 1).

После индийского ядерного испытания 1974 года Пакистан стремился получить технологии выделения плутония и обогащения урана для своей программы ядерного оружия. Соглашение в 1974 году с Францией по поводу завода по переработке было отменено в 1978 году в связи с сильными опасениями по поводу возможной пакистанской программы ядерного оружия¹⁸. Но пакистанский металлург А. К. Хан, работавший для европейской компании по обогащению URENCO, смог приобрести технологию центрифуг. В результате Пакистан добился успеха в обогащении урана на обогатительном предприятии с центрифугами в Кахуте в 1982 году¹⁹. В 1998 году Пакистан начал также работать с реактором в Хушабе, который производил плутоний²⁰.

В 1998 году Пакистан вслед за Индией провел ядерное испытание. По оценкам на 2001

¹³ R.Chidambaram and C. Ganguly, "Plutonium and Thorium in the Indian Nuclear Programme." *Current Science*, 70(1) (1996).

¹⁴ K. V. Suresh Kumar, R. P. Kapoor, P. V. Ramalingam, G. Srinivasan, and K.V. Kasiviswanathan "Fast Breeder Test Reactor: 15 Years of Operating Experience." (Paper presented at the Technical meeting on Operational and Decommissioning Experience with Fast Reactors, IAEA-TM-25322), IAEA (2002): 15-27.

¹⁵ B. Battacherjee, "An Overview of R&D in fuel cycle activities of AHWR" (Paper presented at the 14th Indian Nuclear Safety Conference, Kalpakkam, December 17-19, 2003; <http://www.indian-nuclear-society.org/conf/2003/1/pdf>).

¹⁶ George Perkovich, *India's Nuclear Bomb: The Impact on Global Proliferation* (Berkeley: University Press, 1989). 428.

¹⁷ Nuclear Notebook, "India's Nuclear Forces. 2005" *Bulletin of the Atomic Scientists* (September/October 2005). Министерство обороны Индии упоминает о 300-400 единицах ядерного оружия. Vivek Raghuvanshi, "India to Stay the Course on Nuke Doctrine." *Defense News*, November 1, 2004.

¹⁸ Leonard Spector, *Nuclear Proliferation Today* (Vancouver: Vintage Books, 1984), 75-81.

¹⁹ A. Q. Khan, "Dr. A. Q. Khan Laboratories, Kahuta. Twenty Years of Excellence and National Service." *Friday Times*, September 5-11, 1996.

²⁰ "Pakistan's Indigenous Nuclear Reactor Starts Up." *The Nation* (April 13, 1998).

год считалось, что Пакистан мог иметь арсенал из 24-48 единиц ядерного оружия²¹ на то время.

ТЕКУЩИЕ ЗАПАСЫ ДЕЛЯЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В ИНДИИ И ПАКИСТАНЕ

Индия и Пакистан изготавливают делящиеся материалы для своих программ ядерного оружия. Если учесть Израиль и, возможно, Северную Корею, то это единственные государства, которые в настоящее время заняты подобным делом. Пять ядерных стран, заявленных в Договоре по нераспространению: США, Россия, Великобритания, Франция и (неформально) Китай, сообщили о прекращении производства делящихся материалов для ядерного оружия.

Плутоний оружейного качества

Индийский плутоний оружейного качества стали получать сначала от реактора CIRUS с мощностью 40 МВт(т) (по тепловой энергии) и от реактора Друва с мощностью 100 МВт(т). Реактор CIRUS достиг критичности в 1960 году и заработал на полную мощность с 1963 года. Расширенная переделка этого реактора была проведена с октября 1997 года по октябрь 2003 года²². Реактор Друва вступил в строй в 1985 году, но начал работать на полную мощность в 1988 году²³.

Детали истории работы этих реакторов немногочисленны. Одним из опубликованных параметров является коэффициент использования, то есть, доля времени, когда реактор работал. Этот фактор для реактора CIRUS «превышает 70%»²⁴. В 2000 году было заявлено, что реактор Друва «достигнул коэффициента выше 68% в течение года, что является самым высоким значением, полученным до сих пор»²⁵. Если допустить, что в этот промежуток времени реактор работал на полную мощность, можно получить верхний предел оценки производства плутония. При полной мощности и в течение 70% времени реактор CIRUS мог бы получить 10.2 тонны отработанного топлива, содержащего около 9.2 кг плутония оружейного качества, а реактор Друва получил бы около 25.6 тонн отработанного топлива, содержащего 23 кг плутония оружейного качества²⁶.

У Пакистана был меньший потенциал производства плутония от реактора Хушав с мощностью 50 МВт(т)²⁷. Он заполняется естественным ураном, работает на тяжелой воде и, как представляется, похож на индийский CIRUS. Имеется мало сведений об истории и опыте работ на Хушабе за исключением того, что сооружение начато в 1985 году, а работать реактор стал с начала 1998 года²⁸. Если предположить, что реактор Хушав работает аналогично индийскому CIRUS, он мог бы производить всего 12 кг плутония в год²⁹.

²¹ Nuclear Notebook, "Pakistan's Nuclear Forces, 2001." *Bulletin of the Atomic Scientists* (January/February 2001).

²² После запуска мощность реактора была повышена до 30 МВт(т) в феврале 2004 года и до 40 МВт(т) в ноябре 2004 года, "Barc's Refurbished Reactor Attains Full Power Operation." *The Hindu News Update Service*, November 2004.

²³ Mark Hibbis, "Dhruva Operating Smoothly within Refueling, Availability Limits." *Nucleonics Week* 33 (13) (1992). Brahma Chellaney, "Indian Scientists Exploring U Enrichment, Advanced Technologies." *Nucleonics Week* 28 (10) (1987).

²⁴ R. C. Sharma and S. K. Agarwal, "Research Reactor: Its Refurbishment and Future Utilization." *BARC Newsletter* (June 2004).

²⁵ *Annual Report 2000*, Bhabha Atomic Research Centre, 2001.

²⁶ Это предполагает выгорание 1000 МВт-дней на тонну тяжелого металла (МВт.д/т.ТМ) и содержание плутония в отработанном топливе 0.9 кг/т.

²⁷ Mark Hibbs, "After 30 Years, PAEC Fulfills Munir Khan's Plutonium Ambitions." *Nucleonics Week*, 41 (24) June 15, 2000.

²⁸ "Pakistan's Indigenous Nuclear Reactor Starts Up." *The Nation* April 13, 1998.

²⁹ В предположении выгорания 1000 МВт.д/т.ТМ при 0.9 г плутония оружейного качества на МВт(т)-день и при работе реактора на 70% полной мощности.

Табл. 1. Оценки полного количества плутония оружейного качества (кг), полученного до 2006 г.

| Реактор | Индия | | Пакистан |
|-----------------------------|-------|-------|----------|
| | CIRUS | Друва | Хушаб |
| Полное производство Pu (кг) | 234 | 414 | 92 |

Оценки полного производства плутония оружейного качества в Индии и Пакистане представлены в Табл.1³⁰. Не учитывалась возможность получения нескольких десятков кг плутония от начальной разгрузки топлива с меньшим выгоранием на не находящихся под гарантиями индийских ТВДР. Этот плутоний мог бы быть добавлен к указанному выше запасу³¹. Как для Индии, так и для Пакистана трудно узнать, сколько плутония, выделенного из отработанного топлива, действительно пошло на оружие.

Отработанное топливо от реакторов CIRUS и Друва перерабатывалось на предприятии в Тромбее. Оно начало функционировать в 1964 году с производительностью 30 тонн/год, но было закрыто после первого индийского ядерного испытания для переделки и повышения производительности. После возобновления работы в 1985 году производство выросло до 50 тонн/год³². Индия имеет также два более крупных завода по переработке в Тарапуре и Калпаккаме, где из отработанного реакторного топлива выделяется плутоний (Табл. 2)³³. Индия планирует увеличить полную производительность переработки до 550 тонн/год к 2010 году и до 850 тонн/год к 2014 году, чтобы справляться с потребностями своей программы ВРБН и программы ПТВР³⁴.

Отработанное топливо от пакистанского реактора Хушаб, как считается, должно перерабатываться на установке «Новые лаборатории» (НЛ) около Исламабада, имеющей производительность по тяжелому металлу около 10-20 тонн/год³⁵. В марте 2000 года сообщалось, что «недавние секретно взятые образцы воздуха» указали на «начало переработки в Пакистане»³⁶. Похоже, что это сообщение согласуется с оценками обнаружения криптона-85, выделяемого при переработке на установке НЛ³⁷.

Табл. 2. Производительность предприятий по переработке в Индии и Пакистане (тонны тяжелого металла в отработанном топливе за год).

| | Индия | Пакистан |
|-----------------|-------|----------|
| Тромбей | 50 | |
| Тарапур | 100 | |
| Калпаккам | 100 | |
| НЛ (Равалпинди) | | 10 – 20 |

Часть индийского плутония оружейного качества была потрачена с годами на ядерные испытания и в качестве топлива для реакторов, а также ушла в отходы при переработке. По

³⁰ Мы предполагаем, что оба реактора – CIRUS и Друва (с 1988 г.), имели средний ежегодный коэффициент использования 70% за исключением реактора CIRUS в период 1991-97 гг., где коэффициент использования принимается равным 60% из-за проблем со старением, о которых сообщалось в ссылке [24]. Мы считаем, что реактор Хушаб работал с 1998 года с 70%-ным использованием.

³¹ Около 35 кг плутония при работе ТВДР с низким уровнем выгорания можно было получить к концу 2004 года; ISIS, *India's Military Plutonium Inventory, End 2004*, www.isis-online.org/global.stocks/end2003/india.military.plutonium.pdf

³² "Third Reprocessing Plant Opened at Kalpakkam." *Nuclear News* (May 1996).

³³ З. Миан, А. Х. Найяр, « Предварительный анализ производства и распространения криптона-85 от предприятий по переработке ядерного топлива в Индии и Пакистане», *Наука и всеобщая безопасность*, 10, вып.3 (2003).

³⁴ Там же.

³⁵ Milton Benjamin, "Pakistan Building Secret Nuclear Plant," *Washington Post*, September 23, 1980.

³⁶ "Pakistan is Reprocessing Fuel Rods to Create Plutonium Nuclear Weapons." *CBS News Transcripts* (6:30 PM ET), March 16, 2000.

³⁷ Смотрите [33].

нашим оценкам, около 6 кг ушло на индийское ядерное испытание 1974 года³⁸. Мы считаем, что еще 25 кг были использованы в пяти испытаниях возможно более совершенного оружия в 1998 году. Что касается реакторного топлива, то, по нашим соображениям, Индия использовала 20 кг для активной зоны исследовательского реактора Пурнима I и 60 кг для первой активной зоны (Марк 1) испытательной модели РРБН³⁹. По нашим оценкам, около 20 кг должно было потеряться при переработке. Приведенные цифры предполагают, что всего было использовано 131 кг плутония оружейного качества. Это оставляет Индии текущий запас плутония оружейного качества в 500 кг, чего достаточно примерно для 100 единиц ядерного оружия⁴⁰.

Гражданский плутоний

Энергетические реакторы образуют плутоний в своем топливе как нормальный побочный продукт при выделении энергии. Индия выбрала путь обращения с отработанным топливом путем его переработки, что приводит к крупному дополнительному запасу выделенного плутония. Этот плутоний также можно использовать для создания ядерного оружия⁴¹.

По состоянию на май 2006 года Индия выработала на неконтролируемых реакторах около 149 ТВт-часов электроэнергии. В соответствующем отработанном топливе хранится примерно 11.5 тонн плутония⁴². Темпы производства составляют около 1.45 тонн плутония в год. Это отработанное топливо должно охлаждаться в течение нескольких лет до переработки, но полное содержание плутония при остывании при этом меняется незначительно⁴³. Предположим, что топливо охлаждается в среднем три года. Тогда к 2006 году будет переработано только то топливо, которое было создано до 2003 года. В этом случае можно выделить не более 9 тонн плутония (Табл.3). Непонятно, сколько было выделено на самом деле⁴⁴. Единственное перерабатывающее предприятие, предназначавшееся для работы с отработанным топливом от энергетических реакторов до 1998 года и расположенное в Тарапуре,

³⁸ Это устройство называли индийским «Толстяком» по прозвищу американской бомбы, сброшенной на Нагасаки и содержавшей около 6 кг плутония; Raj Chengappa, *Weapons of Peace: The Secret Story of India's Quest to be a Nuclear Power* (New Delhi: Harper Collins, 2000), 175-195.

³⁹ Согласно Центру атомных исследований имени Баба, полный вес топлива в реакторе Пурнима-1 составил 21.6 кг оксида плутония. Утверждается, что этот плутоний был переработан и использован при ядерном испытании 1974 года из-за нехватки делящегося материала (смотрите статью из предыдущей ссылки). Мы не учитывали эту возможность при оценке потребления плутония. К 1970 году отработанное топливо реактора CIRUS одержало более 90 кг плутония, достаточно остывшего для переработки. Количество плутония в испытательном РРБН взято из следующего источника: Mark Hibbs, "Kalpakam FBR to Double Core, Load First Thorium-232 Blanket." *Nucleonics Week*, 38 (48) (1997).

⁴⁰ Подчеркнем, что весь этот плутоний мог оказаться неразделенным. По оценкам, Индия могла набрать 575 кг плутония оружейного качества к концу 2004 года (смотрите указание на статью и ее адрес в Интернете в ссылке [31]).

⁴¹ Дж. Карсон Марк, «Взрывные свойства плутония реакторного качества», *Наука и всеобщая безопасность*, 4. вып.1 (1994).

⁴² Если допустить, что выгорание составило 7000 МВт.д/т.ТМ, а тепловая эффективность равна 0.29, то оценки Александра Глейзера и Джангмина Канга указывают на содержание примерно 3.8 кг плутония на тонну тяжелого металла в свежем отработанном топливе. По мере охлаждения отработанного топлива из-за распада плутония-241 с периодом полураспада 14 лет полное содержание плутония падает примерно на 1% за пять лет и становится равным 3.75 кг на тонну отработанного топлива. Индийские ДТВР могут иметь среднее выгорание 7000 МВт.д/т.ТМ, К. С. Sahoo and S. A. Bhardwaj, "Total Performance in Water Cooled Nuclear Reactors" (Paper presented at the 14th Indian Nuclear Society Annual Conference, Kalpakam, December 17-19, 2003); <http://www.indian-nuclear-society.org.in/conf/2003/12.pdf>.

⁴³ Как сообщается, отработанное топливо индийских ТВДР охлаждается, как минимум, 430 дней до отправления на установку по переработке, Р. К. Dey, "An Indian Perspective for Transformation and Storage of Spent Fuel." *26th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors*, Vienna (November 7-12, 2004). Оно может быть поставлено на хранение в течение 5-10 лет до переработки; V. K. Chaturvedi, "Economics of fuel cycles of PHWRs, VVERs and TAPS BWRs" (Paper presented at the 14th Indian Nuclear Society Annual Conference, Kalpakam, December 17-19, 2003). В предыдущей ссылке приведен адрес трудов этой конференции в Интернете.

⁴⁴ Теоретически все это отработанное топливо может быть переработано, поскольку еще нескольких лет тому назад полная проектная производительность предприятий по переработке превышала уровень производства отработанного топлива. Но при разумном коэффициенте использования представляется маловероятной возможность переработки всего отработанного топлива.

похоже, работало с очень низким коэффициентом использования⁴⁵.

Индийские энергетические реакторы, находящиеся под контролем, выработали 108 ТВт-часов электроэнергии и 1266 тонн отработанного топлива, содержащего около 6.8 тонн плутония⁴⁶. Малая часть отработанного топлива была переработана. Оно хранится в бассейнах, а затем переводится на сухое хранение⁴⁷.

Табл. 3. Оценки полного количества произведенного гражданского плутония реакторного качества (на май 2006 года).

| | Содержание плутония в отработанном топливе (кг) | |
|----------|---|----------------|
| | Неконтролируемое | Контролируемое |
| Индия | 11500 | 6800 |
| Пакистан | - | 1200 |

У Пакистана отсутствуют неконтролируемые запасы гражданского плутония. Оба его энергетических реактора – Канупп (ТВДР на 137 МВт(э)) и Чашма (ВДР на 325 МВт(э)), находятся под контролем. По состоянию на май 2006 года они вместе наработали около 22 ТВт-часов электроэнергии и выгрузили отработанное топливо, содержащее примерно 1.2 тонн невыделенного плутония⁴⁸.

Обогащенный уран

Индия имеет две установки с газовыми центрифугами для обогащения урана. Комплекс в Центре атомных исследований имени Баба (БЦАИ) обладает исследовательской установкой небольшого размера с 1985 года, а более крупное производственное предприятие находится в Раттехалли вблизи Майсора и работает с 1990 года.

Как считается, в Раттехалли уран обогащается для топлива наземного прототипа реактора в рамках проекта индийской ядерной подводной лодки – перспективного технологического корабля (ПТК). Если предположить, что активная зона прототипа ПТК содержит 90 кг ВОУ (высокообогащенного урана) и этот уран присутствовал при испытаниях активной зоны в 2000-2001 гг., то, как показывают оценки, обогатительная мощность предприятия в Раттехалли составляла около 4000 единиц работы по разделению (SWU) в год⁴⁹. Это соответствует производительности около 40-70 кг/год урана с обогащением 45-30%, соответственно. При такой производительности можно получить за год 20 кг урана оружейного качества (93% урана-235).

Для Пакистана предполагалось, что обогатительная мощность в Кахуте могла вырасти за последние 20 лет⁵⁰. В этом случае можно было изготовить запас в 1100 кг ВОУ к концу 2003 года⁵¹. Если продолжать производство на уровне 100 кг/год, то Кахута изготовит около 1400 кг урана оружейного качества к концу 2006 года (Табл. 4)⁵².

Эти оценки не учитывают, что Пакистан может иметь другие обогатительные установки.

⁴⁵ Mark Hibbs, "PREPRE Plant Used Sparingly, BARC Reprocessing Director Says." *Nuclear Fuel*, 17 (7) (1992); Mark Hibbs, "Tarapur-2 to join Twin BWR in Burning PHWR Plutonium." *Nuclear Fuel*, 20 (20) (1995).

⁴⁶ Сейчас под гарантии поставлены реакторы Тарапур-1 и -2, а также Раджастан -1 и -2. Реакторы Тарапур обладают тепловой эффективностью 31.2% и средним выгоранием топлива 19500 МВт.д/т.ТМ. Они производят 8 кг плутония на тонну тяжелого металла.

⁴⁷ Смотрите статью Sahoo and Bhardwaj в ссылке [42].

⁴⁸ Данные о производстве электроэнергии на май 2006 года еще не были доступны, но мы считаем, что они мало отличаются от данных за предыдущие месяцы.

⁴⁹ Это предполагает 0.3 г урана-235 в год для наилучших условий и десятилетний топливный цикл для реактора ATV. М. В. Рамана, «Оценка производственных мощностей обогащения урана в Индии», *Наука и всеобщая безопасность*, 12, вып.2 (2004). Предполагается, что потенциал обогащения растет линейно со временем.

⁵⁰ От 3000-5000 SWU/год в 1986 году до 9000-15000 SWU/год в 1990-91 годах и 13000-22000 SWU/год в конце 90-х годов; David Albright, Frans Berkout and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996* (New York: Oxford University Press, 1987), 278.

⁵¹ ISIS Estimates of Unirradiated Fissile Material in De Facto Nuclear Weapon States, Produced in Nuclear Weapon Programs, June 30, 2005; www.isisonline.org/global.stocks/end2003/de.facto-nws.pdf .

В 1980 году Министерство торговли США опубликовала список установок с центрифугами в Голре, Сихале и Гадвале, для которых экспорт был ограничен⁵³. Нет открытых указаний об их производительности.

Пакистан утверждает, что испытал в 1998 году шесть ядерных устройств. Если допустить, что в каждом случае использовалось по 20 кг ВОУ, то всего было потрачено 120 кг урана оружейного качества. Это говорит о том, что сейчас у Пакистана есть запас в количестве около 1300 кг ВОУ, которого достаточно для изготовления около 65 единиц ядерного оружия⁵⁴. Неизвестно, какая часть этого делящегося материала находится в виде, пригодном для немедленной сборки бомбы.

Табл. 4. Оценки полного производства обогащенного урана (кг) в Южной Азии.

| | Оценки производительности, SWU (2005) | ВОУ (кг) |
|----------|---------------------------------------|-----------------------------|
| Индия | 4100 | 460-700 (обогащение 45-30%) |
| Пакистан | 20000 | 1400 (обогащение 90%) |

УСТАНОВЛЕНИЕ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

Центральная особенность американо-индийского соглашения заключается в разделении индийских ядерных установок на гражданские и военные, причем первая категория открыта для гарантий МАГАТЭ. Когда эта статья готовилась к печати, США получили план разделения, представленный премьер-министром Индии Манмоханом Сингхом парламенту Индии 7 марта 2006 года⁵⁵. В соответствии с этим предложением гражданские установки «после разделения не будут больше вовлекаться в деятельность стратегического значения» и «установка «будет исключена из гражданского списка, если она занимается более крупной деятельностью, имеющей стратегическое значение, несмотря на то, что обычно она не вовлечена в деятельность, имеющую стратегическое значение». Более того, разделение будет обусловлено «на основе ответных действий США».

Из 22 действующих или сооружаемых в настоящее время энергетических реакторов Индия предложила поставить под контроль еще 8 реакторов в период между 2006 и 2014 годами (каждый имеет мощность 200 МВт(э)):

- Два реактора в Раджастане, которые еще строятся (RAPS-5 и -6). Они будут готовы для гарантий МАГАТЭ после начала работы в 2007 и 2008 гг., соответственно;
- Реакторы RAPS-3 и RAPS-4, которые уже работают, но поступят под гарантии в 2010 году;
- Два реактора в Какрапаре, которые станут доступными для инспекций в 2012 году;
- Два реактора в Нароре, которые станут доступными для инспекций в 2014 году⁵⁶.

Сейчас под гарантиями МАГАТЭ находятся четыре реактора: два американских Тарапур-1 и Тарапур-2 и два канадских Раджастан-1 и Раджастан-2. Два реактора в Куданкулуме, которые сооружаются Россией, также станут субъектами гарантий в соответствии с контрактом между Индией и Россией.

Некоторые из установок комплекса ядерного топлива в Хайдерабаде были определены

⁵² Производительность на уровне 20000 SWU/год позволит получать за год 100 кг урана оружейного качества.

⁵³ U. S. Department of Commerce, Bureau of Export Administration, 15 CFR Part 742 and 744, *Federal Register*, 63 (223), November 19, 1998; <http://chaos.fedworld.gov/whatsnew.cgi/in-pak.pdf>.

⁵⁴ Это соответствует оценкам, что Пакистан, возможно, имел 24-48 единиц ядерного оружия в 2001 году с учетом дополнительного производства обогащенного урана с тех пор; Nuclear Notebook, "Pakistan's Nuclear Forces." *Bulletin of the Atomic Scientists* (January/February) 2001).

⁵⁵ Заявление премьер-министра Маммохана Сингха при обсуждении сотрудничества с США в области гражданской ядерной энергии: последствия индийского плана разделения.

<http://www.indiaembassy.org/newsite/press.release/2006/Mar/24.asp>.

⁵⁶ *Implementation of the India – United States Joint Statement of July 18, 2005: India's Separation Plan*, <http://mea.gov.in/treatiesagreement/2006/11ta1105200601.pdf>.

как гражданские и должны быть предложены для гарантий в 2008 году⁵⁷. Другие установки, которые должны быть объявлены гражданскими, включают три установки с тяжелой водой (как минимум, еще две будут выведены из под контроля), а также два автономных хранилища отработанного топлива, обслуживающие находящиеся под контролем реакторы Тарапур и Раджастан.

Индия заглушит навсегда в 2010 году сделанный в Канаде реактор CIRUS, который служил для получения плутония оружейного качества. Она также переведет отработанное топливо от реактора Апсара на площадку, находящуюся за пределами БЦАИ, и сделает ее доступной для контроля в 2010 году. Значительная часть индийского ядерного комплекса останется вне гарантий МАГАТЭ и будет продолжать выполнять «стратегические» функции. В этот военный ядерный комплекс войдут реакторы Тарапур-3 и -4, каждый из которых имеет мощность 540 МВт(э), реакторы Мадрас-1 и -2 и четыре энергетических реактора в Кайге⁵⁸. Все эти реакторы, не находящиеся под гарантиями МАГАТЭ, обладают полной мощностью 2350 МВт(э). Индия также не поставит под контроль прототип ВРБН и испытательный ВРБН – оба находятся в Калпаккаме. Связанные с программой ядерной подлодки установки не будут выставляться для гарантий МАГАТЭ. Установки для переработки отработанного топлива и для обогащения также остаются вне контроля⁵⁹.

Наконец, по соглашению за Индией остается право определять, какая из будущих строящихся ядерных установок будет гражданской и открытой для контроля. а какая не будет.

Ограничения на уран

Одна важная причина для желания ИМАЭ согласиться иметь больше своих ядерных установок под контролем МАГАТЭ заключается в острой и все растущей нехватке своего внутреннего урана. По сведениям Индийской корпорации по ядерной энергетике, большинство реакторов работало в последние годы с пониженным коэффициентом использования⁶⁰. Индийская плановая комиссия отметила, что такое уменьшение загрузки «в основном связано с недоступностью ядерного топлива, потому что разработка отечественных шахт не успевает за ростом производства энергии»⁶¹. Индийский чиновник заявил ВВС вскоре после объявления об американо-индийском соглашении, - «Правда в том, что мы находимся в отчаянии. У нас есть ядерное топливо только до конца 2006 года. Если бы не это соглашение, нам пришлось бы закрывать свои ядерные реакторы и вслед за ними свои ядерные программы»⁶². Бывший руководитель Регулятивного совета по атомной энергии сообщил, что «нехватка урана» была «основной проблемой... на какое-то время»⁶³.

Мы анализируем здесь степень, до которой влияние ограничения на уран будет ослаблено, если ядерная сделка будет развиваться, и пути, какие можно будет использовать в условиях облегчения поставок урана, для увеличения скорости получения плутония в интересах создания оружия.

Напомним, что если отвлечься от импорта урана с низким обогащением для двух очень старых реакторов, поставленных из США, Индия полагается на свои внутренние урановые

⁵⁷ Предприятия топливного цикла, подлежащие передаче под гарантии: ураново-оксидный завод (блок А), завод по производству керамического топлива – изготовление паллет (блок А), завод по производству керамического топлива – сборка (блок А), завод по производству оксида обогащенного урана, завод по производству обогащенного топлива и установка по производству гадолиния. Похоже, что имеются другие производственные установки в комплексе ядерного топлива которые не будут переданы под гарантии, например, новый завод по производству топлива из оксида урана; <http://www.aerb.gov.in/t/annrpt/anr99/arnp.htm>, and T. S. Subrammanian, "Fuelling Power." *Frontline*, March 16-29, 2002, <http://www.frontlineonnet.com/fl1906/19060840.htm>.

⁵⁸ Смотрите ссылку [56].

⁵⁹ Завод PREFRE по переработке уже находился под гарантиями, когда занимался отработанным топливом от реакторов Раджастан-1 и -2.

⁶⁰ Индийская корпорация по ядерной энергетике, <http://www.npcil.nic.in/PlantsInOperation.asp>.

⁶¹ Planning Commission, Government of India, *Mid-Term Appraisal of the Tenth Five Year Plan (2002-2007)*; <http://planningcommission.nic.in/midterm/cont.eng1.htm>. Chapter10, p. 229-230.

⁶² Sanjeev Srivastava, "Indian P.M. Feels Political Heat." *British Broadcasting Corporation*, July 26, 2005; <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/2/hi/south.asia/47157971stm>.

⁶³ A. Gopalskrishnan, "Indo-US Nuclear Cooperation: A Nonstarter?" *Economic and Political Weekly*, July 9, 2005.

резервы, чтобы снабжать топливом свои ядерные реакторы. По состоянию на май 2006 года полная мощность всех энергетических индийских реакторов, работающих на отечественном топливе, составила 2990 МВт(э) – сюда входят реакторы Раджастан-1 и -2, которые находятся под гарантиями МАГАТЭ, но которым приходится пользоваться отечественным ураном. При загрузке на 80% всем этим реакторам требуется около 430 тонн естественного уранового топлива в год. Реакторы для производства плутония оружейного качества (CIRUS и Друва) каждый год потребляют еще 35 тонн урана. Установки для обогащения урана потребуют около 10 тонн естественного урана в год. Таким образом, полная потребность во внутреннем естественном уране составит около 475 тонн в год⁶⁴.

Для сравнения мы оценили, что текущая добыча урана внутри Индии составляет менее 300 тонн в год, что заметно ниже приведенных требований, но разрыв быстро расширяется⁶⁵. ИМАЭ сумело продолжать работу своих реакторов путем использования запасов, накопленных в то время, когда мощности индийских реакторов были еще низкими. Наши оценки таковы, что при отсутствии сокращения выработки ядерной энергии или отсутствии импорта этот запас истощится к 2007 году.

По оценкам, полные индийские запасы естественного урана составляют около 96500 тонн, чего достаточно для обеспечения полной мощности 10 ГВт(э) в течение примерно 40 лет⁶⁶. Но попытки ИМАЭ открыть новые урановые рудники встречаются с твердым сопротивлением, главным образом, из-за тревоги местных властей вокруг существующих рудников в связи с влиянием на здоровье добычи и дробления урановой руды⁶⁷. Правительства штатов Андхра Прадеш и Мегалайя, где ИМАЭ обнаружило значительные залежи урана, еще должны одобрить новые лицензии для работ по добыче и дроблению руды⁶⁸. Впрочем, возможно, что ИМАЭ сумеет преодолеть такое сопротивление. Наиболее возможные новые места для рудников находятся в округе Налгонда штата Андхра Прадеш, с потенциальным уровнем добычи 100-200 тонн урана в год⁶⁹. Если разработать эти рудники, Индия сможет удовлетворить свои текущие внутренние потребности в уране, как для энергетических реакторов, так и для оружейной программы. В настоящее время старые рудники открываются заново, а в Джадугуде расширяются существующие рудники⁷⁰.

За несколько следующих лет внутренние потребности в уране для индийских реакторов, не поставленных под гарантии, вырастут еще на 140 тонн/год до 575 тонн/год, когда будут завершено сооружение реакторов Тарапур-3 на 540 МВт(э), а также Кайга-3 и Кайга-4 на 220 МВт(э) каждый, и они начнут работу в 2007 г. Впрочем, полные внутренние потребности в уране начнут уменьшаться по мере того, как ныне не находящиеся под гарантиями реакторы начнут открываться для проверки в 2010, 2012 и 2014 гг., а также когда реакторы Раджастан-1 и -2 можно будет снабжать импортируемым ураном (Рис.1).

⁶⁴ Руководитель комплекса ядерного топлива Р. Калидас сказал, что текущая индийская ежегодная потребность в уране составляет порядка 400-500 тонн оксида урана (340-424 тонн урана), *RWE Nukem* (December 2004), 24.

⁶⁵ Мы считаем, что Индия добывает и размельчает 2000 тонн урановой руды в день (300 рабочих дней в году), а руда в среднем содержит 0.05% урана. В действительности, добываемая руда может быть беднее (около 0.03%), потому что богатые руды уже использованы. Мельницы в Ядугуде могут перерабатывать около 2100 тонн руды ежедневно и производить 230 тонн урана в год, *RWE Nukem*, December 2004, 24. В официальном докладе отмечается, что одна мельница переделывается в Бандухуранге, Джаркхенд и ожидается, что она вступит в строй в середине 2006 года. Идет работа на другой мельнице в Тюрамдихе, которая имеет производительность 3000 тонн руды в день (примерно 400 тонн урана в год), *Project Implementation Status Report of Central Sector Projects Costing Rs. 20 Crore and Above* (October-December 2005), Infrastructure and Project Monitoring Division, Government of India, April 2006, <http://mospi.nic.in/pi.status.report.oct.dec2005.pdf>. Завод в Тюрамдихе, как ожидается, будет завершен к декабрю 2006 года, "UCIL exploring uranium ore in Chattisgarh, Rajasthan, Karnataka." *PTI*, June 5, 2006.

⁶⁶ "Interview with R. Kalidas." *RWE Nukem*, December 2004.

⁶⁷ Xavier Dias, "DAE's Gambit." *Economic and Political Weekly*, August 6, 2005.

⁶⁸ T. S. Subramanian, "Uranium Crisis." *Frontline*, January 13, 2006.

⁶⁹ Урановая корпорация Индии утверждает, что надеется добывать ежедневно по 1250 тонн урановой руды, "Environmental Clearance for Uranium Mining." *Hindustan Times*, December 12, 2005. Если предположить, что среднее содержание урана в руде составляет 0.04-0.05%, то это подразумевает 150-187 тонн урана в год. Как указано в [72], Индия ожидает крупное увеличение производительности обработки руды в 2006 году, что поможет с избытком обращаться с возросшей потребностью.

⁷⁰ T. S. Subramanian, Suhrid Sankar Chattopadhyay, "Back to Singhbhum." *Frontline*, January 13, 2006.

Следовательно, если Индия способна удовлетворить дополнительные потребности в отечественном уране до 2010 года, доступ к импорту урана, что разрешается Американо-индийской сделкой, даст ей растущую избыточную возможность производства урана, которую можно использовать для военной программы.

Индия предложила поставить под гарантии МАГАТЭ несколько ТВДР с полной мощностью 1760 МВт(э) (включая два еще сооружаемых реактора) в добавление к двум ТВДР Раджастан с полной мощностью 300 МВт(э), которые уже находятся под гарантиями. Без доступа к международному урану все эти реакторы придется снабжать своим ураном, При коэффициенте использования 80% они потребуют около 300 тонн урана в год. Если сделка осуществится, ИМАЭ будет иметь возможность закупить эти 300 тонн урана на международном рынке, что фактически освободит эквивалентное количество всего текущего производства урана в Индии для возможного использования на военных установках. При учете Налгонды количество урана, доступного для не поставленных под гарантии энергетических реакторов и реакторов, которые производят плутоний оружейного качества, а также для программ обогащения, возрастает до 450-500 тонн/год. Это приведет к избытку урана в количестве 75-125 тонн/год после 2014 года.

Существует несколько путей, по которым Индия может использовать свой освободившийся отечественный уран. В частности, возникло опасение по поводу возможности, когда можно будет повернуть этот уран для использования в оружейной программе. Такой вариант предложил (в числе других) К. Субраманьям – бывший глава Национального совета по безопасности, который приводил следующий аргумент: «С учетом нехватки урановой руды в Индии и необходимости создания нашего минимального гарантированного арсенала сдерживания в как можно короткие сроки преимущество Индии в том, чтобы объявить столько, сколько возможно, энергетических реакторов гражданскими, чтобы они получали импортный уран и сохраняли наш внутренний уран для производства плутония оружейного качества»⁷¹.

Существуют другие пути, как это можно сделать. Один заключается в том, что Индия может выбрать решение построить третий реактор, ориентированный на производство плутония для ее ядерного оружия. В течение многих лет поступали предложения соорудить еще один крупный реактор для производства плутония в БЦАИ (Бомбей)⁷². Предлагаемый реактор будет похож на реактор Друва мощностью 100 МВт(т), который работал в БЦАИ с 1985 года. Решение ожидается в начале 2007 года⁷³. Если будет создан реактор с таким же уровнем мощности, как у Друвы, он сможет изготавливать дополнительные 20-30 кг плутония в год, что добавляет нескольких бомб.

Индия может также выбрать еще один путь – использовать часть домашнего урана для создания плутония оружейного качества на одном из не поставленных под гарантии ДТВР. Это можно сделать, если настроить реактор на режим «производства», где ограничено время облучения топлива и производится быстрая перезагрузка топлива⁷⁴. Такой процесс не соответствует нормальным проектным требованиям ДТВР, но с ним можно работать. Если предположить, что такие высокие темпы перезагрузки сохраняют устойчивость реактора, то типичный ДТВР с мощностью 220 МВт(э) сможет производить 150-200 кг плутония оружейного качества в год при работе с уменьшенной до 60—80% производительностью⁷⁵. Даже всего один такой реактор при работе в режиме производства сможет увеличить текущие темпы получения плутония в 6-8 раз⁷⁶. Итоговая плата за работу одного реактора на 220

⁷¹ K. Subrahmanyam, "India and the Nuclear Deal." *Times of India*, December 12, 2005.

⁷² "BARC Planning New Dhruva Reactor." *Hindustan Times*, April 28, 1999.

⁷³ Mark Hibbs, "Replication of Dhruva Reactor Proposed for Next Indian Economic Plan." *Nuclear Fuel*, May 8, 2006.

⁷⁴ Эта возможность была предложена Олбрайтом, Беркаутом и Уолкером ([50], 287). При нормальной работе машина для перезагрузки ТВДР на 200 МВт(э) должна менять восемь связок топливных стержней в день. Типичной машине для перезагрузки требуется 2-3 часа, чтобы заменить 4-8 топливных связок. При выгорании 1000 МВт.д/т.ТМ каждая перезагрузка должна повторяться семь раз в день (смотрите, например, *CANDU Fundamentals*, <http://canteach.candu.org/library/200407700.pdf>, p.179).

⁷⁵ А. Х. Наджар, А. Х. Тур и З. Миан, «Потенциал производства расщепляющихся материалов в Южной Азии», *Наука и всеобщая безопасность*, 6, вып. 2 (1996).

⁷⁶ Энергетический реактор с мощностью 220 МВт(э) при работе с выгоранием 1000 МВт.д/т.ТМ потребует в семь раз более высокую скорость перезагрузки, чем при работе в нормальном режиме с выгоранием 7000 МВт.д/т.ТМ. Это представляется возможным при установке непрерывной линии перезагрузки на таком реакторе.

МВт(э) в режиме производства составит 190 тонн естественного урана⁷⁷.

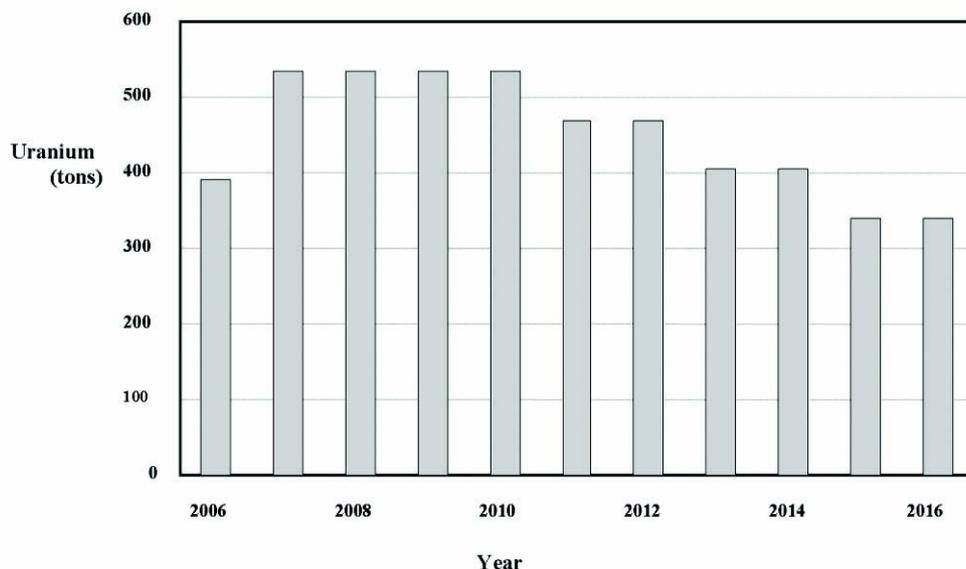


Рис.1: Оценки потребности в домашнем уране для не поставленных под гарантии энергетических реакторов на тяжелой воде. (Сюда включены сооружаемые ТВР по мере того, как они входят в строй, а работающие ТВР исключаются, как только они поступают под гарантии и начинают работать на импортируемом топливе. Исключены также реакторы Сигус и Друва и потребности в уране для программы обогащения, которые добавляют примерно 45 тонн/год.). По оси X отложены годы, а по оси Y – количество урана (тонны).

Чтобы увидеть, как можно поддерживать эти варианты при снабжении индийским домашним ураном, мы рассмотрели в Таблице 5 различные возможности. В таблице приведены оценки потребности в уране для реактора Друва и для работающего на мощности 220 МВт(э) энергетического реактора, не поставленного под гарантии МАГАТЭ, с очень малым выгоранием, чтобы оптимизировать производство плутония оружейного качества (А). В таблице приводятся также общие потребности в уране для восьми энергетических реакторов, которые не поставлены под гарантии и работают в нормальном режиме (Г).

Если рассматривать оценки для реактора Друва и варианта (Б), то они показывают, что при одном энергетическом реакторе, работающем на производство плутония, и при нормальном режиме работы остальных, не поставленных под гарантии реакторов (с учетом реактора Друва) Индии потребуется почти 560 тонн урана в год, для которых придется находить внутренние источники снабжения.

Чтобы возместить дополнительные 190 тонн урана в год, требуемые в том случае, если Индия будет работать с одним ТВДР (220 МВт(э)) для получения плутония оружейного качества, она может использовать некоторое количество обедненного урана, выделенного из реакторного отработанного топлива, для семи энергетических реакторов, не поставленных под гарантии МАГАТЭ. Такая схема включает в себя заполнение четверти активной зоны обедненным ураном (содержащим 0.61% урана-235) и завершается экономией 20% потребностей в нормальном естественном уране, причем усредненное выгорание уменьшается до 5400 МВт.день на тонну тяжелого металла⁷⁸.

Итоговая 20%-ная экономия примерно 306 тонн/год на семи энергетических реакторах эквивалентна 61 тонн/год естественного урана. Оставшаяся плата за работу одного реакто-

⁷⁷ Потребление урана составляет около 222 тонн/год в режиме производства по сравнению с 32 тоннами в энергетическом режиме.

⁷⁸ Baltej Singh, P. D. Krishnani, and R. Srivenkatesan, "The Use of Depleted Uranium in Equilibrium Core of Standard PHWRs: A Complete Study" (Paper presented at the 16th Annual Conference of the Indian Nuclear Society, 2005), <http://www.indian-nuclear-society.org.in/conf/2005/pdf.3/topic.1/T1.CP5.Baltrj.Singh.pdf>. Обедненного урана требуется в два раз больше, чем заменяемого им естественного урана, чтобы сохранить режим работы реактора.

ра в производственном режиме сократится от 190 тонн/год до примерно 130 тонн/год⁷⁹. Это значит, что Индия могла бы работать на ТВДР (220 МВт(э)) в режиме производства, если Налгонда и другие рудники смогут выработать дополнительные 200 тонн/год урана, и что Индия имеет достаточные мощности переработки, чтобы поддерживать необходимый поток обедненного урана.

Индия уже снабжает некоторые ТВДР смесью естественного урана и обедненного урана, который получается как побочный продукт при получении плутония оружейного качества. В число этих реакторов входят Раджастан-1 и -2, Кайга-2 и Мадрас-2⁸⁰. Индия пользуется обедненным ураном, который выделяется из отработанного топлива с малым уровнем выгорания от реакторов CIRUS и Друва⁸¹. На этих реакторах получается только около 30 тонн/год отработанного топлива. Но существует накопленный запас такого отработанного топлива в размере около 750 тонн⁸². Этого хватит, грубо говоря, на 4-5 лет работы всех реакторов с активными зонами, заполненными смесью естественного и обедненного урана.

Отработанное топливо от энергетических реакторов

Ядерная сделка не ограничивает использование Индией плутония из отработанного топлива, выгруженного из любого, пока еще не поставленного под гарантии реактора. Шесть работающих в настоящее время реакторов, которые будут поставлены под гарантии, добавят к текущему запасу 11.5 тонн плутония реакторного качества до того, как они станут открытыми для инспекций. При работе на 80% полной мощности каждый реактор добавит около 120 кг/год плутония в течение срока, оставшегося до постановки на гарантию. Полный вклад от этих шести реакторов составит около 4300 кг до того, как все они окажутся под гарантиями МАГАТЭ (Табл.6).

Полное ежегодное производство плутония на реакторах, не поставленных на гарантию, вырастет с нынешних 1450 кг/год по мере того, как строящиеся реакторы будут входить в строй, а затем станет уменьшаться по мере того, как реакторы начнут открываться для инспекций. Производство плутония сократится от примерно 2000 кг/год в 2007 году до 1250 кг/год после 2014 года, когда оно стабилизируется, если только не будут построены дополнительные, не стоящие на гарантии реакторы. Таким образом, план разделения послужит уменьшению индийского ежегодного производства плутония, не поставленного на гарантию, примерно на одну треть.

Плутоний реакторного качества, содержащийся в отработанном топливе с высоким выгоранием, который разгружается из этих реакторов, имеет иной состав смеси изотопов по сравнению с плутонием оружейного качества. Впрочем, плутоний реакторного качества можно использовать для создания ядерной взрывчатки и, как было упомянуто выше, при индийских ядерных испытаниях в мае 1998 года был использован такой материал⁸³.

⁷⁹ Эти 130 тонн представляют собой разницу между 467 тоннами в четвертой строке и 338 тоннами в пятой строке Таблицы 5.

⁸⁰ Смотрите доклад из [78], который касался реакторов Тарапур-3 и -4, а также следующий доклад V. K. Chaturvedi, "Economics of fuel cycles of PHWRs, VVERs and TAPS BWR" (Paper presented at the 14th Conference of the Indian Nuclear Society Annual Conference, Kalpakkam, December 17-19, 2003), <http://www.indian-nuclear-society.org.in/conf/2003/2.pdf>.

⁸¹ Топливо из обедненного урана изготавливается в Комплексе ядерного топлива на основе урана, полученного на заводе по переработке, который использует отработанное топливо от реакторов CIRUS и Друва; S. Ganguli, "Manufacturing Experience Of PHWR and LWR Fuels." (Paper presented at the 14th Indian Nuclear Society Conference, Kalpakkam, December 17-19, 2003), <http://www.indian-nuclear-society.org.in/conf/2003/8.pdf>. В ДТВР при выгорании 1000 МВт.д/т.ТМ содержание урана-235 в топливе из естественного урана сокращается от 0.7% до 0.6%, а при выгорании, в семь раз более сильном, остается только 0.2% урана-235.

⁸² По состоянию на 2003 год комплекс ядерного топлива в Хайдерабаде произвел около 76 тонн топлива из обедненного урана. Это дополнение к [82].

⁸³ Смотрите [16]. На стр.428-430 этой книги утверждается следующее: «осведомленные индийские источники подтверждают» использование плутония невоенного качества в одном из испытаний 1998 года. Радж Ченнапа в своей книге (ссылка [38]) на стр.417-418 сообщает, что « в одном из устройств... применялся грязный (реакторного качества) плутоний».

Табл.5. Потребности в уране для индийских реакторов, не поставленных под гарантии, при различных режимах работы.

| | Выгорание (МВт.д/т.ТМ) | Потребности в уране (т/год) | Плутоний ре- акторного ка- чества (кг/год) | Плутоний оружейного качества (кг/год) |
|---|---------------------------|-----------------------------------|---|--|
| Друва | 1000 | 29 | | 26 |
| Один реактор на 220 МВт(э) ра- ботает для получения плутония оружейного качества | 1000 | 222 | | 200 |
| Семь реакторов работают в энергетическом режиме, а один (220 МВт(э)) – в производствен- ном | | 528 | 1147 | 200 |
| Семь реакторов работают в энергетическом режиме с актив- ными зонами, частично запол- ненными обедненным ураном, а один (220 МВт(э)) – в произ- водственном режиме | | 467 | | 200 |
| Все восемь реакторов работают в энергетическом режиме | 7000 | 338 | 1265 | - |
| Все восемь реакторов работают в энергетическом режиме, но их активные зоны частично содер- жат обедненный уран | | 270 | | - |
| Примечания: Считается, что все реакторы работают при 80%-ной мощности. Если для производства оружейного плутония выбран реактор Мадрас-1 на 170 МВт(э), ежегодная потребность которого в уране составляет 170 тонн, то полная потребность в уране для варианта (Б) уменьшится до 485 тонн вместо 528 тонн. | | | | |

Судя по оценкам, потребуется 8 кг плутония реакторного качества для создания простого ядерного взрывного устройства⁸⁴. Если не поставить этот плутоний на гарантии, он может обеспечить арсенал, содержащий свыше 1300 единиц оружия.

Обычно упоминаемая проблема при использовании плутония реакторного качества связана с возрастающим риском «хлопка», когда преждевременное возбуждение цепной реакции, вызванное нейтронами, которые выделяются при спонтанном делении плутония-240, ведет к преждевременному взрыву оружия, в результате чего мощность взрыва составляет только несколько процентов от проектного значения. В отработанном топливе индийских ТВДР содержание плутония-240 превышает 22% (в плутонии оружейного качества – только 5%)⁸⁵. Повышенное содержание других (отличных от плутония-239) изотопов плутония в плутонии реакторного качества приводит к избыточному выделению тепла и повышенной радиоактивности этого материала. Но это не является непреодолимой инженерной трудностью.

Министерство энергетики США отметило, что «на самом низком уровне сложности потенциальная страна или международная группа, стремящиеся к распространению ядерного оружия, используя конструкции и технологии, которые не более сложны, чем ядерное оружие первого поколения, могут создать ядерное оружие из плутония реакторного качества, которое будет обладать надежной и гарантированной мощностью от одной до нескольких кт (а возможная мощность может быть значительно выше). На другом конце спектра продвину-

⁸⁴ Смотрите [41].

⁸⁵ Плутоний, полученный на индийских ТВДР при выгорании 7000 МВт.д/т.ТМ, типичном для энергетических реакторов, имел примерно 72% плутония-239 и более 22% плутония-240, а при выгорании 1000 МВт.д/т.ТМ для получения плутония оружейного качества состав таков: почти 95% плутония-239 и около 5% плутония-240.

тые ядерные страны (например, США и Россия), используя современные конструкции, могут создавать ядерное оружие из плутония реакторного качества, обладающее характеристиками (надежная мощность взрыва, вес и т.д.), которые сравнимы с показателями оружия, которое изготовлено из плутония оружейного качества»⁸⁶. Индия, по-видимому, попадает куда-то в этот спектр.

Есть одна особенность «современной конструкции», позволяющая плутонию реакторного качества использоваться для оружия в режиме «усиления», где газовая смесь дейтерия и трития вводится в полость внутри ядерного запала импловзивного типа, который начинает детонировать⁸⁷. Запущенная термоядерная реакция освобождает большое количество нейтронов, способных, в свою очередь, инициировать дополнительные деления в более значительной массе делящегося материала, чем при нормальной цепной реакции. При этом уменьшается требуемая масса делящегося материала и значительно возрастает мощность взрыва. Индийские конструкторы ядерного оружия утверждают, что испытали термоядерное оружие с усиленным запалом на реакции деления в 1998 году⁸⁸. В одном из воспоминаний о программе индийского ядерного оружия четко указано на использование усиления при испытании устройства из плутония реакторного качества в 1998 году и отмечено, что «в случае успеха значительно вырастет запас индийского ядерного материала»⁸⁹.

Табл. 6. Предсказуемое производство плутония с 2007 года до того, как реакторы будут поставлены на гарантию.

| Реактор | Предполагаемая дата постановки на гарантию | Производство плутония (кг) до того, как реактор встанет на гарантию |
|-------------|--|---|
| Раджастан-3 | 2010 | 475 |
| Раджастан-4 | 2010 | 475 |
| Какрапар-1 | 2012 | 712 |
| Какрапар-2 | 2012 | 712 |
| Нарора-1 | 2014 | 950 |
| Нарора-2 | 2014 | 950 |
| ВСЕГО | | 4274 |

Программа воспроизводящего реактора на быстрых нейтронах

Индийское министерство атомной энергии последовательно обращало внимание на возможную нехватку отечественного урана и на большие индийские резервы тория в качестве оправдания программы ВРБН с плутониевым топливом. Теперь Индия получит доступ к международному рынку урана в результате соглашения с США, и придет конец перспективе нехватки урана в будущем.

Важная озабоченность заключается в том, что ИМАЭ решило не помещать программу ВРБН под гарантии МАГАТЭ в результате ядерной сделки. Для поддержки такого решения ИМАЭ подняло тревогу по поводу того, что гарантии чрезмерно ограничат программы НИ-ОКР для ВРБН⁹⁰. Но гарантии МАГАТЭ, как представляется, не затрудняют или ограничивают разработку программ коммерческих ВРБН в Германии и Японии. Это же касается новых поколений ТВДР в Канаде. Многочисленные технические трудности и проблемы надежности, которые испытывают программы ВРБН в разных странах, происходят по иным причинам.

⁸⁶ U S. Department of Energy; Nonproliferation and Arms Control Assessment of Weapon-Usable Fissile Material Storage and Excess Plutonium Disposition Alternatives, DOE/NN-0007, Washington, D.C., Jan. 1997, pp. 37-39, <http://www.cenr.org/plute.html>

⁸⁷ На индийских реакторах CIRUS и Друва, а также на тяжеловодных реакторах производится тритий в качестве побочного продукта.

⁸⁸ Смотрите [16], стр. 427.

⁸⁹ Смотрите [38], стр.416-418.

⁹⁰ Pallava Bagla, "On the Record: Anil Kakodkar." *Indian Express*, February 8, 2006.

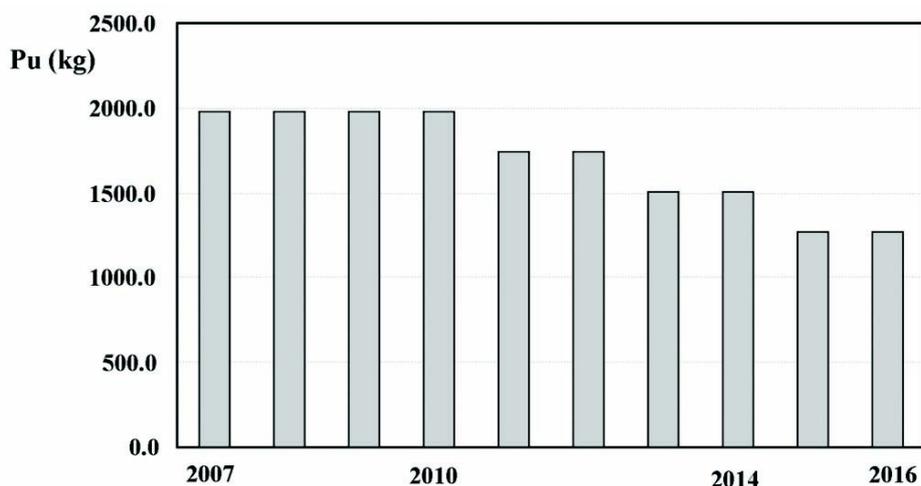


Рис. 2. Ежегодное производство плутония, не поставленного на гарантию от индийских энергетических реакторов от 2007 года до 2016 года по мере того, как реакторы ставятся нам гарантию. По оси X отложены годы а по оси Y – количество плутония (кг).

Руководитель ИМАЭ Анил Какодкар заявил также, что « с точки зрения поддержания долгосрочной энергетической безопасности и для поддержания минимального надежного сдерживания программа ВРБН не может быть помещена в гражданский список»⁹¹. Это наводит на мысль, что ВРБН может быть использован для получения плутония оружейного качества.

Первый крупный индийский реактор на быстрых нейтронах (500 МВт(э)) - это прототип ВРБН (ПВРБН), расположенный в Калпаккаме вблизи Мадраса. Он входит в более крупный комплекс, содержащий реакторы ТВДР типа Мадрас и завод по переработке. Весь этот комплекс не будет поставлен под гарантии⁹². Как ожидается, ПВРБН будет построен в 2010 году.

ПВРБН будет поначалу работать на плутонии реакторного качества, выделенном из отработанного топлива ТВДР. Затем ПВРБН будет производить плутоний оружейного качества в радиальных и торцевых зонах воспроизведения из обедненного урана, а плутоний, выделенный из активной зоны и топливных сборок зон воспроизведения, подлежит отдельной переработке. Сюда входит отделение торцевой зоны воспроизведения от топливной сборки, находящейся в активной зоне, что может быть сделано ножницами, которые применяются для разрезания топливныхборок перед переработкой⁹³. Разрабатываются планы специализированного завода по переработке для ВРБН⁹⁴.

Конструкция ПВРБН рассчитана на тепловую мощность 1350 МВт с начальной загрузкой активной зоны плутонием весом 1910 кг⁹⁵. Сообщается, что современный проект предпола-

⁹¹ Там же.

⁹² Все четыре реактора Кайга были разработаны как военные. Можно предполагать, что на этой площадке имеются еще один завод по переработке топлива и не поставленный под гарантии воспроизводящий реактор, похожий по устройству на реактор в Мадрасе.

⁹³ Индия уже режет на большие куски топливные сборки перед порубкой на мелкие кусочки, что связано с переработкой. Это делается, например, с отработанным топливом от реактора Друва, M. S. Rajkumar, "Remote Technologies for Handling Spent Fuel" in *Remote Technologies in Spent Fuel Management* (Proceedings of an Advisory Group meeting, Vienna, September 22-25, 1997), IAEA TECDOC-1061, 1999, 35-48.

⁹⁴ Индия собирается иметь несколько «парков ВРБН», в каждом из которых будет по 2-4 ВРБН, специализированный завод по переработке отработанного топлива и завод по производству топлива (включая завод в Калпаккаме); T. S. Subramanian, "A Milestone at Kalpakkam." *Frontline*, Nov. 6, 2004.

⁹⁵ *Design of Prototype of Fast Breeder Reactor*, Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Dec. 2003, <http://www.igcar.ernet.in/broucher/design.pdf>. Содержание плутония, как сообщается, должно составлять 20.7% во внутренней активной зоне и 27.7% - во внешней. В активной зоне генерируется примерно 91% всей энергии; D. G. Roychowdhury, P. P. Vinayagam, S. C. Ravichandar, and M. V. Sridhar Rao. "Thermal Hydraulic Design of PFBR Core." *LMFR Core Thermohydraulics: Status and Prospects*, IAEA-TECDOC-1157, June 2000, <http://www.iaea.org/inis/awfs/nss/fulltext/1157.3.pdf>.

гает коэффициент воспроизводства 1.05 в полном равновесном цикле⁹⁶. При нейтронном равновесии в типичном РБН с однородной активной зоной можно проводить оценки первого порядка для образования плутония в активной зоне и в зонах воспроизводства (радиальной и торцевой)⁹⁷. С учетом таких неопределенностей можно найти, что при работе реактора на 80% мощности ПВРНБ может производить в зонах воспроизводства примерно 135 кг плутония оружейного качества в течение каждого года (1/3 в торцевой зоне и 2/3 – в радиальной)⁹⁸. Это соответствует примерно 25-30 единицам плутониевого оружия, что в 4-5 раз превышает современный уровень производства оружейного плутония в Индии.

Индия планирует построить четыре дополнительных ВРБН к 2020 году, а затем еще более крупные ВРБН на 1000 МВт(э), доведя в конечном итоге потенциал всех ВРБН до 500 ГВт(э)⁹⁹. Каждый из четырех запланированных РРБН на 500 МВт(э) будет нуждаться поначалу в двух активных зонах до того, как они окажутся способными начать переработку собственного плутония, составляющего около 16 тонн¹⁰⁰. Может показаться, что у Индии окажется больше, чем нужно, плутония, не находящегося под гарантиями, чтобы помещать все четыре запланированных ВРБН в военный сектор. Если будут созданы все пять ВРБН и они останутся военными, то через 15 лет Индия сможет производить на них ежегодно до 500-800 кг плутония оружейного качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Заключенное в июле 2005 года соглашение между США и Индией выдвигает угрозу для режима разоружения и нераспространения. В частности, предложенный в марте 2006 года план разделения, выдвинутый Индией в качестве основы для разграничения ее военных и гражданских установок, закладывает предпосылки потенциально быстрого расширения возможностей производства делящихся материалов для ядерного оружия.

В этой статье мы привели оценки индийских возможностей производства делящихся материалов и того, как они могут измениться в результате американо-индийской сделки.

Мы оценили текущий индийский запас плутония оружейного качества от реакторов CIRUS и Друва и нашли, что он составляет около 500 кг. Если считать, что на одну ядерную боеголовку требуется 5 кг плутония, этот запас окажется достаточным для создания, грубо говоря, сотни боеголовок.

В рамках заключенного соглашения Индия получит возможность выработать еще 45 кг плутония оружейного качества от реактора CIRUS до его закрытия в 2010 году. Реактор Дру-

⁹⁶ "National Presentation: India." in *Primary Coolant Pipe Rupture Event in Liquid Metal Cooled Reactors*, IAEA TECDOC-1406, August 2004, <http://www.iaea.org/inis/aws/fnss/fulltext/te.1406.web.pdf>. Коэффициент воспроизводства равен отношению массы делящихся изотопов, полученных в реакторе, к затраченной массе делящихся изотопов. Похоже, что для ВРБН это коэффициент снизился до 1.049 после изменения конструкции радиальной зоны воспроизводства. Первоначально приводилось значение 1.07; S. M. Lee, S. Govindarajan, R. Indira, T. M. John, P. Mohanakrishnan, R. Shankar Singh, S. B. Bhoje, "Conceptual Design of PFBR Core." *Conceptual Designs of Advanced Fast Breeders*, IAEA-TECDOC- 907, 1996, <http://www.iaea.org/inis/aws/fnss/fulltext/1157.3.pdf>.

⁹⁷ Мы предполагаем грубо, что 2/3 всех делений во внутренней и внешней активных зонах происходит от ядер плутония-239, 13.5% - от плутония-241 и 1.5% - от урана-235. Предположим также, что в активных зонах отношение захват/деление для плутония-239, плутония-241 и урана-235 равно 0.25, 0.1 и 0.25, соответственно. Но действительные значения для ВРБН могут быть иными, Alan E. Waltar and Albert B. Reynolds, *Fast Breeder Reactors*, (New York: Pergamon Press., 1981), 123-134.

⁹⁸ Мы считаем, что коэффициент воспроизводства (КВ) для активной зоны равен 0.68, а полный КВ – 1.05. Отметим, что у японского ВРБН Монжу и у закрытого американского ВРБН Клинч Ривер значения КВ лежат в интервале 0.6-0.75; S. Usami *et al.*, *Reaction Rate Distribution Measurement and the Core Performance Evaluation in the Prototype FBR Monju* (last updated July 5, 2005), <http://aec.jst.go.jp/jicst/NC/tyo-ki/sakutei2004/sakutei17/siry041.pdf>. В этом диапазоне значений КВ для активной зоны ВРБН может произвести около 164-109 кг плутония оружейного качества. Предварительные результаты расчетов производства плутония в ВРБН совпадают с приведенным выше диапазоном массы получаемого плутония (Александр Глейзер, частное сообщение).

⁹⁹ T. S. Subramanian, "A Milestone at Kalpakkam." *Frontline*, November 6-19, 2004. <http://www.hindoonet.com/fline/fl2123/stories/2004111903210200.htm>.

¹⁰⁰ Отработанное топливо от ВРБН надо охлаждать до тех пор, пока его можно будет перерабатывать, а плутоний использовать в качестве топлива. Таким образом, начальный запас плутония для двух активных зон (всего около четырех тонн) надо иметь для каждого ВРБН.

ва продолжит работу и будет добавлять еще 20-25 кг в год. Второй реактор такого же размера (эта возможность рассматривается) может удвоить эту величину.

Наиболее важное потенциальное возрастание производства индийского плутония оружейного качества будет связано со свободным от гарантий МАГАТЭ прототипом ВРБН, который должен быть завершен в 2010 г. По нашим оценкам, он сможет производить около 130 кг плутония оружейного качества ежегодно, что в четыре раза превышает текущие производственные возможности Индии. Отметим, что даже без соглашения Индии с США этот ВРБН остался бы вне гарантий МАГАТЭ и выдавал бы такое же количество плутония.

У Индии имеются планы постройки еще четырех ВРБН к 2020 году, которые будут ежегодно производить свыше 500 кг плутония оружейного качества. Пока не объявлено, будут ли эти реакторы поставлены под гарантии.

Топливо для этих ВРБН будет поступать из индийского запаса примерно в 11 тонн плутония реакторного качества, не связанного гарантиями МАГАТЭ. Этот запас сейчас увеличивается примерно на две тонны в год. По соглашению между США и Индией шесть индийских ТВДР будут постепенно поставлены под гарантии до 2014 года, как добавление к шести импортированным реакторам, которые должны быть под гарантиями. Мы оценили, что ТВДР, предназначенные сейчас для постановки под гарантии, произведут еще четыре тонны плутония реакторного качества, не охваченного гарантиями, до того, как станут открытыми для инспекций. Тем временем, реакторы, которые отнесены к военным и остаются вне инспекций МАГАТЭ, будут увеличивать запас плутония реакторного качества на 1250 кг/год.

Без соглашения с США Индии пришлось бы иметь 16 ядерных реакторов, не поставленных под гарантии (в том числе, пять строящихся и подлежащих завершению в 2007-2008 гг.). Они бы вместе производили 2200 кг/год плутония реакторного качества. Индия предложила план размежевания ядерных установок, который послужит уменьшению ежегодного производства не охваченного гарантиями плутония примерно на 40% - до 1250 кг/год. Весь этот плутоний реакторного качества может быть, в принципе, использован для создания ядерного оружия.

В настоящее время в Индии работают 13 тяжеловодных реакторов с полной мощностью 2990 МВт(э) на уране, добываемом в Индии. В результате сделки восемь из них будут поставлены под гарантии и смогут пользоваться импортируемым ураном. Сейчас сооружаются пять тяжеловодных реакторов, из которых два будут поставлены под гарантии, а три окажутся военными и, следовательно, не подлежащими инспекциям. Это даст Индии дополнительные мощности в размере 2350 МВт(э) от ТВР, которые не будут находиться под гарантиями и поэтому топливом для них окажется индийский уран.

Мы нашли, что текущая добыча естественного урана в Индии в количестве около 300 тонн/год недостаточна для питания всех, не поставленных под гарантии реакторов и поддержания текущего производства плутония оружейного качества и обогащенного урана, которые совместно требуют добычи в размере около 475 тонн/год. Индия имеет возможность избавиться от этого ограничения путем использования добытого ранее и переработанного урана. По мере того, как в 2007-2008 гг. появятся новые реакторы, не находящиеся под гарантиями, индийские потребности вырастут в общем примерно до 615 тонн отечественного урана в год. Впрочем, это требование снизится от 615 тонн/год примерно до 380 тонн/год, так как Индия получит возможность импортировать уран для реакторов, которые будут становиться под гарантии в 2010, 2012 и 2014 годах.

Для удовлетворения растущих требований Индия рассчитывает на расширение добычи урана. Существует надежда, что на предполагаемых рудниках в Налгонде будет добываться около 150-200 тонн/год, что увеличит полную добычу до 450-500 тонн/год. Если предположить, что так и произойдет, а потребности уменьшатся до 380 тонн урана в год, то Индия сможет перевести дополнительные 70-120 тонн/год на производство 60-100 кг/год плутония реакторного качества путем частичного перевода одного из не поставленных под контроль реакторов на режим с малым выгоранием топлива. Это потребует от оборудования по перезагрузке реактора более быстрых темпов работы, нежели при нормальном режиме, и может ограничить возможный масштаб работы в новом режиме.

Мы нашли, что потребуются дополнительные 190 тонн естественного урана ежегодно, если все тяжеловодные реакторы с мощностью 200 МВт(э) будут переведены от производства электроэнергии на получение плутония оружейного качества. Мы рассмотрели воз-

возможность для Индии отказаться от части естественного урана путем перехода на переработанный обедненный уран (содержащий 0.61% урана-235), содержащийся в топливе других реакторов, не поставленных под гарантии. Мы нашли, что это уменьшит потребности в естественном уране на 130 тонн/год, что не очень далеко от дополнительных 70-120 тонн, которые могут оказаться доступными. Основным ограничением переработки обедненного урана в таком масштабе могут стать возможности индийских заводов по переработке.

Следует отметить, что всего лишь плутоний оружейного качества, который можно было бы получить на не поставленных под гарантии реакторах (из-за доступности импортируемого урана), является прямым следствием американо-индийской сделки. ВРБН и производственные реакторы остались бы без гарантий МАГАТЭ, даже если бы сделка не состоялась. Только сделка, которая поставит ВРБН и все энергетические реакторы под контроль, будет гарантировать, что индийское производство делящихся материалов для оружия останется примерно на текущих уровнях.

Расширение запасов делящихся материалов в Южной Азии не будет соответствовать заявленным доктринам Индии и Пакистана о следовании принципам «минимального сдерживания». Было показано, что 5-6 единиц оружия с умеренной мощностью типа хиросимской бомбы смогут убить более миллиона человек, если сбросить их на крупные города в Южной Азии¹⁰¹. Это наводит на мысль, что нескольких десятков единиц ядерного оружия будет более, чем достаточно, чтобы удовлетворить любому разумному критерию «минимального сдерживания»¹⁰². Такое количество позволяет провести ядерную атаку с десятком боеголовок и обеспечивает достаточное дублирование в отношении любых опасений, связанных с выживаемостью, надежностью и перехватом¹⁰³.

Как Индия, так и Пакистан уже добились требований к делящимся материалам, необходимых для «минимального» арсенала, и какое-то время утверждали, что они должны покончить с производством делящихся материалов для ядерного оружия.¹⁰⁴ Вместо того, чтобы следовать по пути крупного расширения своих ядерных материалов, им следовало бы приостановить производство делящихся материалов для оружейных целей, продолжая переговоры и вводя в действие Договор о прекращении производства делящихся материалов. Это также является необходимым шагом для движения к ядерному разоружению.

¹⁰¹ M. McKinzie, Z. Mian, A. H. Nayyar, and M. V. Ramana, "The Risks and Consequences of Nuclear War in South Asia." in *Out of the Nuclear Shadow*, Smitu Kothari and Zia Mian, (eds). (Delphi: Lokayan and Rainbow Publishers and London: Zed Books, 2001).

¹⁰² R. Rajaraman, "Save the Indo-US Agreement." *Hindustan Times*, November 5, 2005.

¹⁰³ R. Rajaraman, "Cap the Nuclear Arsenal Now." *The Hindu*, January 25, 2005. R. Rajaraman, "Towards De-Nuclearization of South Asia" (paper presented at the 2nd Pugwash Workshop on South Asian Security; Geneva, Switzerland, May 16-18, 2003).

¹⁰⁴ Zia Mian, M.V Ramana, "Beyond Lahore: From Transparency to Arms Control." *Economic and Political Weekly*, April 17-24, 1999; Zia Mian, A. H. Nayyar, and M. V. Ramana, "Making Weapons, Talking Peace: Resolving The Dilemma of Nuclear Negotiations." *Economic and Political Weekly*, July 17, 2004; R. Rajaraman, "India-US Deal and the Nuclear Ceiling." *The Hindu* (Sept. 10, 2005); R. Rajaraman, "Nurturing the Indo-US Agreement" in *The Debate on the Indo-US Nuclear Cooperation*, Delphi Policy Group and Bibliophile South Asia, 2006.

Приложение 1: Энергетические реакторы в Индии и Пакистане

| Энергетический реактор | Тип | Мощность (МВтэ) | Дата ввода | Гарантии (июнь 2006) | Открытость к гарантиям |
|--|------|-----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| Индия | | | | | |
| Работающие: | | | | | |
| Кайга-1 | ТВДР | 220 | 16.11.00 | Нет | Военный |
| Кайга-2 | ТВДР | 220 | 16.03.00 | Нет | Военный |
| Какрапар-1 | ТВДР | 220 | 06.05.93 | Нет | 2012 |
| Какрапар-2 | ТВДР | 220 | 01.09.95 | Нет | 2012 |
| Мадрас-1 | ТВДР | 170 | 27.01.84 | Нет | Военный |
| Мадрас-2 | ТВДР | 220 | 21.03.86 | Нет | Военный |
| Нарара-1 | ТВДР | 220 | 01.01.91 | Нет | 2014 |
| Нарара-2 | ТВДР | 220 | 01.07.92 | Нет | 2014 |
| Раджастан-1 | ТВДР | 100 | 16.12.73 | Да | Да |
| Раджастан-2 | ТВДР | 200 | 01.04.81 | Да | Да |
| Раджастан-3 | ТВДР | 220 | 01.06.00 | Нет | 2010 |
| Раджастан-4 | ТВДР | 220 | 23.12.00 | Нет | 2010 |
| Тарапур-1 | ТВДР | 160 | 28.10.69 | Да | Да |
| Тарапур-2 | ТВДР | 160 | 28.10.69 | Да | Да |
| Тарапур-4 | ТВДР | 540 | 12.07.05 | Нет | Военный |
| Сооружаемые: | | | | | |
| Кайга-3 | ТВДР | 220 | 2007 (план) | Нет | Военный |
| Кайга-4 | ТВДР | 220 | 2007 (план) | Нет | Военный |
| Куданкулам-1 | ВВЭР | 1000 | 2007 (план) | Да | Да |
| Куданкулам-2 | ВВЭР | 1000 | 2008 (план) | Да | Да |
| Раджастан-5 | ТВДР | 220 | 2007 (план) | Нет | 2007 |
| Раджастан-6 | ТВДР | 220 | 2008 (план) | Нет | 2008 |
| Тарапур-3 | ТВДР | 540 | 2007 (план) | Нет | Военный |
| ПРРБН | ВРБН | 500 | 2010 | Нет | Военный |
| Пакистан | | | | | |
| Работающие: | | | | | |
| Чашма-1 | ВДР | 325 | 13.06.00 | Да | |
| Карачи | ТВДР | 137 | 28.11.72 | Да | |
| Сооружаемые: | | | | | |
| Чашма-2 | ВДР | 325 | 2011 (план) | Да | |
| Примечания: 1) Военные реакторы не будут открыты для гарантий МАГАТЭ. 2) ТВДР – тяжеловодный реактор под давлением; КВР – кипящий водяной реактор; ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор; ВРБН – воспроизводящий реактор на быстрых нейтронах; ПВРБН – прототип ВРБН; ВДР – водяной реактор под давлением. | | | | | |