

ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ РАСЩЕПЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В ИНДИИ

Р. Раджараман

Представлены оценки текущих запасов расщепляющихся материалов в Индии, вместе с прогнозами их будущего производства. Запасы индийского плутония (оружейного и реакторного качества) сначала рассчитывались в форме отработанного топлива. Затем принимались различные сценарии эффективности индийских перерабатывающих заводов, для того, чтобы оценить, как много плутония было выделено в самом деле. Аналогично были проведены наилучшие возможные оценки производства высокообогащенного урана (ВОУ) по публично доступной информации о производительности большого обогатительного завода в Индии. Кроме того, были сделаны прогнозы количеств этих различных расщепляющихся материалов, которые будут вероятно произведены в будущем с настоящего времени до 2020 года. Обсуждается также влияние индийско-американской сделки на будущее производство. Каждая оценка сопровождается подробным описанием основания, на котором она сделана.

Автор работает в Университете Джавахарлала Неру, Нью Дели, Индия.

Статья получена 26 июня 2008 года, принята к публикации 13 октября 2008 года.

Адрес для корреспонденции: R. Rajaraman, Emeritus Professor of Physics, Jawaharlal Nehru University, New Delhi 110067, India.

Адрес электронной почты: prof.rajaraman@yahoo.com

ВВЕДЕНИЕ

В этой статье представлена подробная оценка запасов индийских расщепляющихся материалов и прогнозе их будущего производства. Для такого анализа есть две причины.

Первая причина связана с Договором о прекращении производства расщепляющихся материалов (ФМСТ). На конференции по разоружению в Женеве продолжают усилия по началу переговоров о таком Договоре. Позиция, принимаемая индивидуальными странами в отношении к Договору о прекращении производства расщепляющихся материалов (ФМСТ)Ю очевидно базируется на трех факторах:

- a) воспринимаемых ими угроз национальной безопасности в настоящем и в будущем;
- b) их оценки требований к расщепляющимся материалам для встречи таких угроз; и
- c) их существующих запасов различных категорий расщепляющихся материалов, так же как и планируемый объем их будущего производства, если таковое имеется.

В этой статье исследуется последний фактор для случая Индии. Отметим, что Соединенные Штаты, Великобритания, Россия и Франция официально объявили мораторий на производство пригодных для оружия расщепляющихся материалов. Китай, как полагают, также остановил производство расщепляющихся материалов, хотя (вероятно для того, чтобы оставлять свой выбор открытым), он не сделал официальной декларации по этому поводу. Но Индия, Пакистан и Израиль не объявляли никакого моратория на свое производство расщепляющихся материалов. Это делает оценки будущего производства расщепляющихся материалов в Индии особенно значимыми.

Второй причиной этого исследования является заключенное недавно ядерное соглашение между Индией и США. Это соглашение подготавливалось в течение более трех лет. Оно окончательно стало официальным 11 октября 2008 года, когда Соглашение-123 было подписано министром иностранных дел Индии и государственным секретарем США, после того, как президентом Бушем был подписан Закон о гражданском ядерном сотрудничестве между США и Индией и усилении нераспространения. В течение этих трех лет ядерная сделка погрязла в противоречиях, в частности, в отношении того, как эта ядерная сделка может повлиять на производство расщепляющихся материалов для ядерного оружия в Индии.

Индийское правительство не публиковало никакой информации о своих запасах расще-

плюющихся материалов, которые оно рассматривает как весьма секретные с точки зрения национальной безопасности. Вся публично доступная информация приходит от внешних аналитиков и независимых индийских исследователей, которые работают на основании сообщений в прессе, интервью с официальными лицами, и своих собственных расчетов. Такие исследования в прошлом привели к оценкам индийских запасов плутония и ВОУ, которые, вероятно, являются достаточно точными для общеполитических дискуссий.

Первая оценка такого рода была сделана около десяти лет назад в книге Олбрайта, Беркхута и Уолкера 1997 года¹. Олбрайт и его коллеги с тех пор делали периодические обновления этих оценок². Более недавний обзор индийских запасов и перспектив производства расщепляющихся материалов был сделан в отчете Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам (IPFM)³, в качестве части более широкого анализа влияния предлагаемого индийско-американского ядерного соглашения по производству расщепляющихся материалов в Южной Азии.

По сравнению с обзором, представленным в этом отчете Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам (IPFM) 2006 года, в настоящей работе сделано несколько больше, чем обновление данных по Индии и исправление нескольких ошибок. В ней представлено также подробное основание для сделанных оценок, основанное на методологии, использованной в книге Олбрайта, Беркхута и Уолкера. Запасы индийского плутония (оружейного и реакторного качества) сначала рассчитывались в форме отработанного топлива, начиная с мощности и эффективности различных реакторов для производства плутония. На это накладывались сценарии с различной эффективностью индийских перерабатывающих заводов для того, чтобы оценить, как много этого плутония было на самом деле выделено. Аналогично, наилучшие возможные оценки производства высокообогащенного урана (ВОУ) были проведены по любой ограниченной публично доступной информации, о производительности (в единицах разделительной работы (SWU)) большого обогатительного завода в Индии.

Кроме того, были сделаны прогнозы количеств этих различных расщепляющихся материалов, которые будут вероятно произведены в будущем с настоящего времени до 2020 года. Обсуждается также влияние индийско-американской сделки на будущее производство.

ПЛУТОНИЙ ОРУЖЕЙНОГО КАЧЕСТВА (WgPu)

Существующие запасы

Индия использовала свои два производственных реактора, КИРУС и Дхрува, для производства плутония оружейного качества, эксплуатируя их при малой степени выгорания около 1 000 МВт·сутки/т. Ожидается, что, работая в этом режиме, эти реакторы с тяжелой водой и природным ураном производят около 0,9 г плутония оружейного качества на МВт·сутки, что соответствует 0,9 кг на 1 тонну топлива при такой степени выгорания⁴.

Реактор КИРУС генерирует 40 МВт тепловой мощности, и поэтому он может производить около 13 кг плутония оружейного качества в год, если он работает при 100% нагрузке. Он вступил в эксплуатацию в 1963 году и с тех пор эксплуатировался в течение трех десятилетий со средним коэффициентом нагрузки около 70%. Однако, полагают, что, начиная с 1991 года, проблемы старения уменьшили его мощность, что привело к его закрытию для модернизации в 1997 году. Он возобновил работу в 2003 году, и продолжает работать с тех пор⁵. На основании этой истории разумно предположить, что КИРУС работал с коэффициентом загрузки 70% с 1963 по 1991 год, затем с коэффициентом 60% до 1997 года, после этого был выключен до 2003 года, и снова работал с коэффициентом загрузки 70% с 2004 года.

Мощность реактора Дхрува равна 100 МВт, и он соответственно может производить 33 кг плутония в год при 100% нагрузке. Он работал на полной мощности с 1998 года в течение примерно 70% времени.

На основании этих предположений были оценены вероятные общие количества плутония оружейного качества, произведенного на реакторах КИРУС и Дхрува на начало 2008 года, приведенное в табл. 1.

Данные в этой таблице следует рассматривать с учетом следующих предупредительных замечаний. Общее количество плутония, показанное в третьем столбце, которое, как ожидается, было произведено на этих реакторах *при перечисленных выше предположениях*. В ча-

стности, средний коэффициент нагрузки предполагался равным 70% (за исключением реактора КИРУС в 1991 – 1997 годах). Но реальные значения могут быть меньше, если были периоды значительно меньшей эксплуатационной эффективности по сравнению с той, которая известна публично. Если средний коэффициент нагрузки, например, был равен 50%, то произведенное количество следует уменьшить до примерно 570 кг, что после вычета потребления составит всего 440 кг.

Таблица 1. Производство плутония оружейного качества на реакторах КИРУС и Дхрува, потребление и баланс запасов в 2008 году (в кг).

КИРУС	Дхрува	Всего произведено	Потребление*	Остаток запасов	Эквивалент боеголо- вок (5 кг на каждую)
342	437	779	131	648	130

* Подробности оценок потребления приведены в статье Зиа Миана, А. Х. Найяра, Р. Раджарамана и М. В. Раманы «Делящиеся материалы в Южной Азии и последствия американо-индийского ядерного соглашения», Наука и всеобщая безопасность, т. 14, № 3, стр. 3 – 14 (2007).

Кроме того, показанные ранее количества плутония оружейного качества соответствуют тому, что могло оставаться в отработанном топливе. Это отработанное топливо должно охлаждаться перед тем, как оно может быть переработано.

Если принять, что период охлаждения составляет три года, то тогда из упомянутых выше запасов в 648 кг около 97 кг все еще будут находиться в охлаждающемся отработанном топливе. Поэтому до сих пор могло накопиться не более 551 кг запасов выделенного плутония оружейного качества.

Так же возможно, что некоторая часть старого отработанного топлива все еще не была переработана. Полагают, что выделение плутония из этих двух реакторов делается на установке переработки в Тромбее. С 1964 года ее мощности по переработке составляли 30 тонн тяжелого металла в год, и после модернизации в 1985 году они увеличились до 50 тонн в год⁶. Между тем, отработанное топливо, выгружаемое из обеих реакторов КИРУС и Дхрува, при работе со средним коэффициентом использования в 70%, будет составлять примерно 36 тонн в год (в котором содержится 32 кг плутония оружейного качества). Поэтому разумно предположить, что перерабатывающая установка в Тромбее сможет переработать эту годовую загрузку после соответствующей временной задержки на охлаждение.

Здесь не были учтены небольшие вклады от первых разгрузок индийских энергетических реакторов КАНДУ.

Будущее производство

В течение 2008 и 2009 г.г. должна сохраняться текущая скорость накопления около 32 кг плутония оружейного качества в год (9 кг от КИРУС и 23 кг от Дхрува при коэффициенте использования в 70%).

Но в 2010 г. ожидаются два изменения. Во-первых, будет выключен КИРУС. Это согласовано в плане разделения Индии и США, и также внесено в парламент⁷. Но Дхрува будет функционировать так же, как и раньше. Во-вторых, строящийся сейчас прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) согласно планам, должен начать работать в 2010 г.

Прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) спроектирован для генерации мощности примерно в 1250 МВт (тепл.) с начальным запасом в 1910 кг плутония реакторного качества (которое должно быть получено из отработанного топлива энергетических реакторов, см. ниже) с равновесным коэффициентом размножения в 1,05. Подробное исследование Глэзера и Рамана показывает, что прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) может производить в его радиальном и аксиальном бланкетах примерно 144 кг плутония оружейного качества с содержанием делящегося компонента в 95% в год⁸. Используя только выход из радиальных бланкетов для военных целей позволит получить около 92 кг плутония оружейного качества. Отметим, что по ядерной договоренности между Индией и США прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) не

будет находиться под гарантиями.

Ожидается, что прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) выйдет на полную мощность и придет в равновесие не ранее 2011 года. После того, как это произойдет, производство плутония оружейного качества постепенно возрастет до 167 кг в год, если включать продолжающийся вклад в 23 кг от Дхрува. Отметим, что это станет пятикратным увеличением по сравнению с сегодняшним объемом производства в 32 кг/год.

На рисунке 1 показаны две оценки будущего производства плутония оружейного качества в Индии. Они дают некую идею того, как много запасов будет иметь страна, когда вступит в силу Договор о прекращении производства расщепляющихся материалов (FMCT), в предположении, что это случится в следующие 12 лет.

ПЛУТОНИЙ РЕАКТОРНОГО КАЧЕСТВА (RgPu)

В плутоний реакторного качества входит большое количество изотопов плутония помимо плутония-239. Основной составляющей является плутоний-239, но в нем присутствует заметная доля плутония-240, плутония-241 и плутония-242. Конкретный состав зависит от реактора и степени выгорания. Присутствие этих других изотопов делает его неидеальным для изготовления оружия из-за проблем преждевременной детонации и пониженной мощности взрыва, а также более высокой радиоактивности и тепловыделения.

Тем не менее, при дополнительной предосторожности и некоторой потере в мощности взрыва, можно изготовить оружие на делении из плутония реакторного качества⁹. так что важно трактовать его как серьезный пригодный к изготовлению оружия расщепляющийся материал. У Индии имеются большие запасы плутония реакторного качества, произведенного в отработанном топливе энергетических реакторов КАНДУ. Всего имеются 22 энергетических реактора, перечисленные в Приложении. Из них 17 находятся в эксплуатации (два вступили в строй в прошлом году). Еще пять реакторов строятся.

Существующие запасы

Из 17 действующих реакторов 4 находились под гарантиями с самого начала. Расчеты показывают, что в середине 2007 г. оставшиеся 13 реакторов не под гарантиями вместе произвели 164 триллиона киловатт-часов электроэнергии¹⁰. При тепловой эффективности 0,29 это эквивалентно 23 563 ГВт-день (тепл.) тепловой энергии. Все эти реакторы являются реакторами с тяжелой водой под давлением типа КАНДУ. Согласно эмпирической формуле, приведенной Олбрайтом и др., они производят приблизительно¹¹

$$0.9235 B^{-0.3054} \text{ г плутония на МВт-день}$$

где B – степень выгорания в ГВт-день/т. Средняя степень выгорания топлива в течение нескольких лет принимается равной $B = 7$ ГВт-день/т, которая приводит к выходу плутония в 0,55 г на МВт-день. 23 563 ГВт-день (тепл.) тепла, произведенного ими, соответствуют содержанию плутония в 13 тонн. Отметим, однако, что плутоний-241, на который приходится около 5% плутония реакторного качества, распадается с периодом полураспада 13,2 года, так что около 2% накопленного плутония будет потеряно из-за распада, так что останется 12,7 – 12,8 тонны плутония реакторного качества, выгруженного на середину 2007 г. из энергетических реакторов, не находящихся под гарантиями¹².

Оценки запасов переработанного плутония реакторного качества

Что касается плутония реакторного качества, определением «производства» является отделение от продуктов деления в отработанном топливе. Оцененные ранее примерно 13 тонн плутония реакторного качества сначала образовались в отработанном топливе индийских реакторов, не находящихся под гарантиями, и впоследствии выделялись на перерабатывающих предприятиях. Не имеется никакой официальной информации о том, сколько плутония на самом деле было выделено до сих пор. Самое лучшее, что мы можем сделать, это предложить следующую грубую оценку. Предполагая, что топливо охлаждается до перера-

ботки в течение трех лет, до сих пор в лучшем случае могло быть переработано отработанное топливо, произведенное до 2004 года. Количество отработанного топлива, произведенного реакторами, не находящимися под гарантиями, до сих пор было примерно равно 2 550 тонн¹³, в котором содержалось (,85 тонны плутония реакторного качества.

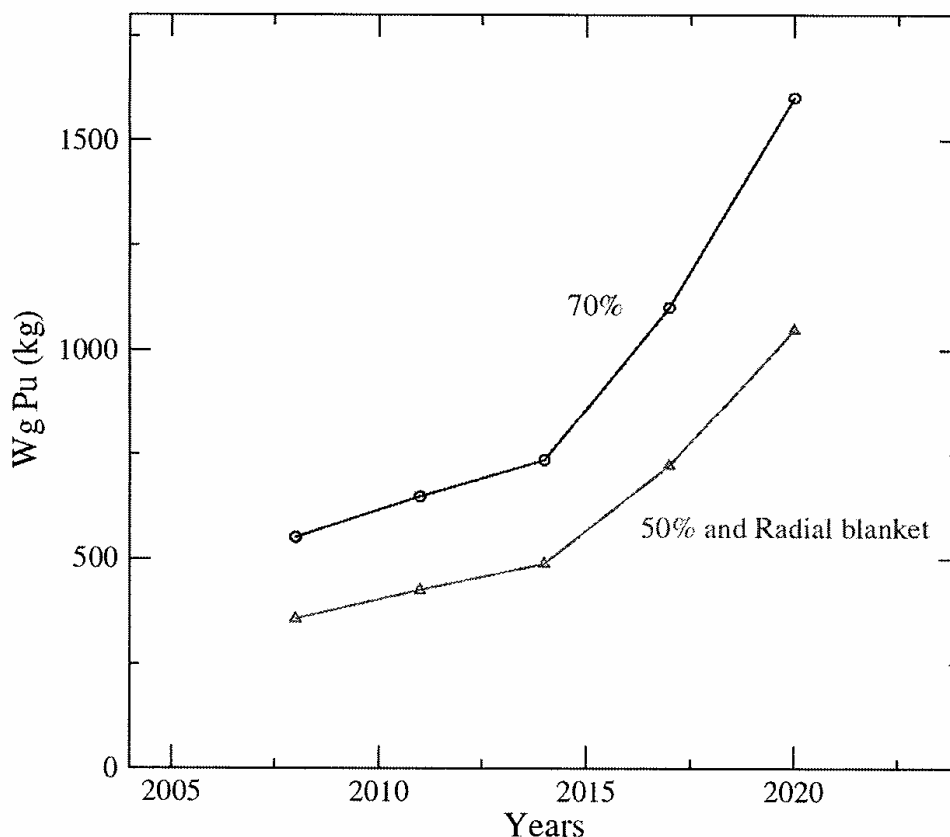


Рис. 1: Два графика дают оценки запасов оружейного плутония оружейного качества, которым будет обладать Индия, в зависимости от времени, рассчитанных по увеличениям за 3 года, начиная с 2008 г. Включены вклады от двух производственных реакторов КИРУС (который будет выключен в 2010 г.) и Дхрува (который будет продолжать работу), и от прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR), который планируется ввести в строй в 2010 г. Верхняя кривая соответствует реакторам на тяжелой воде под давлением (PHWR), работающим с коэффициентом использования 70% и извлечению плутония оружейного качества из радиального и аксиального бланкетов прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR). Нижняя кривая соответствует реакторам на тяжелой воде под давлением (PHWR), работающим с коэффициентом использования только 50% и извлечению плутония оружейного качества для оружия только из радиального бланкета прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR). При переработке отработанного топлива из реакторов на тяжелой воде под давлением (PHWR) предполагалась задержка в 3 года, и задержка в 5 лет для начала включения вклада от прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR), что привело к резкому подъему производства после этого. Однако, предполагается, что отработанное топливо из этих трех реакторов может быть переработано, как только оно будет готово после охлаждения. На вертикальной оси отложено количество плутония оружейного качества в килограммах, на горизонтальной оси указаны годы.

Сравним это с мощностями переработки. В Индии есть три перерабатывающих завода. Один из них в Тромбе, как можно ожидать, используется для переработки топлива из реакторов КИРУС и Дхрува с извлечением плутония оружейного качества, как обсуждалось ранее. Двумя другими перерабатывающими заводами являются:

1) Завод ПРЕФРЕ в Тарапуре, вступивший в строй в 1977 году, который может перерабатывать 100 тонн тяжелого металла в год. При 100% коэффициенте использования между 1977 и 2007 г.г. он мог переработать 3 000 тонн.

2) Перерабатывающий завод в Калпаккаме, вступивший в строй в 1998 году, также имеет мощность переработки в 100 тонн в год. Он мог бы переработать 900 тонн между 1998 и 2007 г.г.

Вместе взятые, эти два завода могли переработать 3 900 тонн отработанного топлива, если бы они работали при 100% мощности, и могли бы справиться со всем запасом отработанного топлива в 2 550 тонн и произвести 9,85 тонны плутония. Но эти перерабатывающие заводы, как сообщают, работают с очень низким использованием мощности¹⁴. Если средний коэффициент использования мощности был равен 25%, то они могли бы переработать всего 975 тонн отработанного топлива и произвести 3,73 тонны плутония реакторного качества. Если бы они работали на 50% мощности, то выход плутония реакторного качества удвоился бы, и составил 7,46 тонны.

Если ядерное соглашение между Индией и США вступит в силу, то некоторые реакторы, в настоящее время не находящиеся под гарантиями, перейдут под гарантии МАГАТЭ. Но это не повлияет на статус плутония реакторного качества, который они уже выгрузили. Этот плутоний останется за пределами гарантий, и правительство сможет использовать его, как оно пожелает. Поэтому 13 тонн плутония реакторного качества не являются «гражданским плутонием» и будут доступными для стратегических целей, таких, как конверсия в плутоний оружейного качества в реакторах-размножителях, не находящихся под гарантиями. Некоторые аналитики обеспокоены тем, что проект Договора о прекращении производства расщепляющихся материалов (FMCT), представленный Соединенными Штатами в мае 2006 года, может разрешить такую конверсию даже после того, как договор вступит в силу¹⁵.

Среди существующих запасов плутония реакторного качества гражданскими являются те, которые были произведены на четырех реакторах под гарантиями, двух в Тарапуре и двух в Раджастане. В исследовательском отчете Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам IPFM № 1 оценивается, что к середине 2006 г. на них было произведено около 6,8 т плутония реакторного качества.

Будущее производство

Как показывает таблица в Приложении, ожидается, что еще 5 реакторов вступят в строй к концу 2008 года, и число реакторов вырастет до 22, а их общая мощность достигнет 6,73 ГВт (эл.). Из них 6 реакторов общей мощностью 2,62 ГВт уже обозначены как находящиеся под гарантиями, включая новые строящиеся с участием России реакторы в Кугангуламе.

Статус остающихся 16 реакторов с общей мощностью 4,11 ГВт зависит от того, вступит ли в силу соглашение между Индией и США. Если этого не произойдет, то плутоний, произведенный на этих реакторах, останется доступным для военных целей. Снова предполагая тепловую эффективность в 0,29 и коэффициент использования в 70%, можно получить, что, начиная с 2009 года, из них будет выгружаться около 2 тонн плутония реакторного качества в год.

Если эта сделка вступит в силу, то она приведет под гарантии 8 из этих 16 реакторов. Это поэтапно завершится к 2014 году, как это показано в Приложении. Соответственно, производство плутония не под гарантиями начнет уменьшаться с 2 тонн в 2009 г. и стабилизируется на уровне 1,14 тонн в год, когда вне гарантий останутся только восемь реакторов с тяжелой водой под давлением (PHWR) с общей мощностью 2,35 ГВт (эл.).

Эти значения могут, конечно, возрасти, если Индия построит новые энергетические реакторы в дополнение к тем, которые рассматривались ранее, и выведет их из под гарантий; этот выбор предоставлен ей по условиям соглашения между Индией и США.

Имеются сообщения о том, что Индия строит еще два перерабатывающих завода, один в Тарапуре и другой в Калпаккаме¹⁶. До тех пор, пока они не начнут работать с лучшим использованием мощности, действительное количество выделенного плутония реакторного качества будет ограничиваться мощностями переработки. Даже 1,14 тонны плутония реакторного качества, которые могли бы производиться каждый год в реакторах, не находящихся под гарантиями, после 2014 года, если соглашение вступит в силу, превосходят существующие мощности перерабатывающих заводов, даже при 100% использовании мощности! По-

этому будущие запасы выделенного плутония реакторного качества будут расти с меньшей скоростью, чем та, которая соответствует росту количества выгруженного топлива. Оценки автора количества выделенного плутония реакторного качества, соответствующие двум возможным коэффициентам использования, показаны, в зависимости от времени, на рисунке 2.

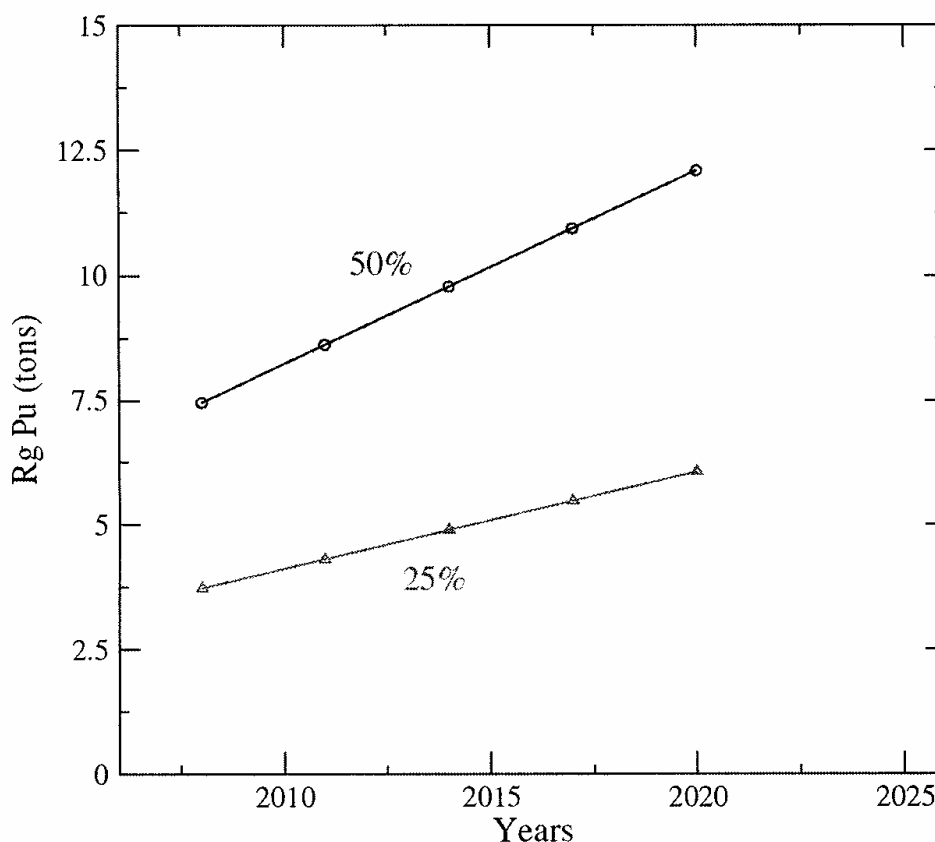


Рис. 2: Два графика оцениваемого выделения плутония реакторного качества из индийских реакторов, не находящихся под гарантиями. Как обсуждалось в тексте, этот рисунок соответствует плутонию реакторного качества, выделенному из отработанного топлива. Все выгружаемое отработанное топливо превышает возможности существующих перерабатывающих заводов в Тарапуре и Калпаккаме. Следовательно, количество выделенного плутония реакторного качества в настоящее время ограничивается мощностями переработки и эффективностью. Верхняя и нижняя кривые соответствуют двум перерабатывающим заводам, работающим со средним коэффициентом использования, соответственно равным 50% и 25%. На вертикальной оси отложено количество плутония реакторного качества в тоннах, на горизонтальной оси указаны годы.

ВЫСОКООБОГАЩЕННЫЙ УРАН (ВОУ)

Основным источником информации по ВОУ являются два исследования мощностей обогащения урана в Индии и запасов ВОУ. Первая работа Рамана была опубликована в 2004 г.¹⁷ и вторая является более новой оценкой, опубликованной Олбрайтом и Басу в 2007 г.¹⁸

Помимо небольшого пробного проекта в Атомном исследовательском центре Баба (BARC), в котором использовалось только около ста центрифуг, первым крупным заводом под названием «Проект редких материалов» был построен в Раттехалли и вступил в строй в 1990 г. Обычно считают, что он производит ВОУ с обогащением около 20-40%, в основном предназначенный для топлива для морского реактора для двигательной установки первой индийской атомной подводки, «Корабля усовершенствованной технологии» (ATV).

Рамана оценил мощность центрифужного завода, проследившая назад по времени от объявления о том, что прототип активной зоны этого реактора был испытан в 2000-2001 г.г. Он оценил требования мощности от подводной лодки, и пришел к выводу, что активная зона, которая была испытана, должна содержать 90 кг U-235, что, при 30% обогащении, соот-

ветствует примерно 300 кг ВОУ.

Для того, чтобы оказаться доступным для использования в испытаниях прототипа реактора в 2000-2001 г.г., этот ВОУ должен был быть произведен на центрифугах Раттехалли с 1991 по 1999 г. Для сырья из природного урана и в предположении, что «отвалы» обедненного урана содержат 0,3% U-235, потребуется около 60 килограммов единиц разделительной работы (кг ЕРР) для производства одного килограмма 30% ВОУ или 18 000 кг ЕРР для оцениваемых 300 кг в активной зоне¹⁹. Отсюда следует среднее значение в 2 250 кг ЕРР в течение 1991-1999 г.г. Предполагая, что эти мощности в 1991 г. Сначала составляли 1 500 кг ЕРР, и что с тех пор они постоянно увеличивались, Рамана получил для 1999 г. 3 000 кг ЕРР, для того, чтобы среднее значение в течение этого периода равнялось 2 250 кг ЕРР. Если мощности ЕРР продолжали расти линейно с той же скоростью (по 175 кг ЕРР в год), то сейчас у Индии может быть около 4 500 кг ЕРР, что достаточно для производства 75 кг 30% ВОУ в год.

В работе Олбрайта и Басу, которая была сделана на три года позже, оценка существенно выше. Они основывают свои выводы, привязываясь не только к потребностям, а именно, требованиям морского реактора, но также и к сообщениям о предположительных закупках Индией компонентов для центрифуг, таких, как сильфоны и роторы. Они оценили, что Индия разработала «сверхкритические» центрифуги, увеличивая их высоту соединением сегментов сильфонами. Их оценка такова, что в 2006 г. у Индии было 2000 – 3000 центрифуг, около 40% из которых были докритическими (2 – 3 кг ЕРР в год), а 60% - сверхкритическими (4 – 5 кг ЕРР в год). Они оценивают мощность как 9 600 кг ЕРР в год с интервалом неопределенности 5000 – 13000 кг ЕРР в год.

Олбрайт и Басу также ссылаются на более недавние заказы на покупку в 2005-2006 г.г. индийской компанией «Rare Earths Ltd.» 3 000 мартенситностареющих стальных труб с одиночным сильфоном в середине каждой трубки. Из этого они сделали вывод, что предприятие в Раттенхалли будет еще больше расширяться. Они прогнозируют, что в ближайшее время его мощность увеличится до 20 – 30 тысяч кг ЕРР в год со средним значением около 25 000 кг ЕРР в год. Такая повышенная мощность может понадобиться, если правительство, как сообщают, построит к 2015 г. еще две атомных подлодки²⁰.

Как отмечалось, произведенный в Раттенхалли ВОУ, как полагают, предназначается в основном для морских реакторов. Но некоторая часть ВОУ могла быть использована в ядерных испытаниях 1998 г. в качестве части термоядерного устройства. Отметим также, что в принципе одни и те же центрифуги могут быть перегруппированы в другие каскады для получения обогащенного до 90% урана оружейного качества (WgU). При мощности в 9 600 кг ЕРР в год можно ежегодно производить около 48 кг урана оружейного качества.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Во время дебатов по ядерному соглашению между Индией и США некоторые аналитики выражали озабоченность в отношении того, что соглашение позволит Индии значительно увеличить свое производство плутония оружейного качества. Хотя сейчас соглашение уже подготовлено и нет смысла в дальнейших дебатах, исследование такого опасения на основе сделанных в этой статье оценок количества индийских расщепляющихся материалов продолжает иметь технический и стратегический интерес. Аргумент состоит в том, что поскольку соглашение разрешает импорт урана для находящихся под гарантиями гражданских реакторов, весь внутренний индийский уран может освободиться для производства плутония оружейного качества в тех реакторах, которые по условиям соглашения остаются вне гарантий (перечень реакторов вне гарантий смотрите в Приложении).

Однако, эта точка зрения не является полностью убедительной. Сначала отметим, что 167 кг плутония оружейного качества, упомянутые ранее как будущее ежегодное производство, не попадают в эту категорию. Этого не требует соглашение. Как было описано ранее, этот плутоний будет производиться на реакторе Дхрува и реакторе-размножителе, которым не требуется много урана. Реактор Дхрува потребляет только около 21 тонны топлива в год, а для бланкетов реактора-размножителя требуется только обедненный уран, который в больших количествах доступен из переработки отработанного топлива тепловых реакторов. Даже при современном низком уровне добычи урана Индия производит около 250 – 300 тонн природного урана.

Поэтому это пятикратное увеличение от примерно 32 кг плутония оружейного качества, производимого сегодня для индийской программы ядерного оружия до примерно 167 кг после того, как свой вклад начнет давать реактор-размножитель, может быть спокойно достигнуто даже без соглашения или доступности дополнительного урана. *Единственным способом предотвратить это увеличение* было бы более ограничивающее соглашение между Индией и США, которое требовало бы приведения прототипа реактора-размножителя на быстрых нейтронах (PFBR) под гарантии.

Однако, соглашение *может* в принципе способствовать использованию внутреннего урана для *даже большего* производства плутония оружейного качества, если Индия пожелает этого. Это может быть сделано посредством использования любого из восьми не находящихся под гарантиями реакторов с тяжелой водой под давлением (PHWR), в настоящее время работающих при степени выгорания в 7000 МВт-день/т, при более низком выгорании, скажем, в 1000 МВт-день/т, для производства большего количества плутония оружейного качества. Эта интересная возможность обсуждалась с большими техническими подробностями в цитированном ранее отчете Международной рабочей группы по расщепляющимся материалам IPFM.

Но не очень вероятно, что Индия будет следовать этой альтернативе производства еще большего количества плутония оружейного качества. С одной стороны, это потребует гораздо более частой перезагрузки топлива в этих реакторах с тяжелой водой под давлением (PHWR), чем это может выдержать существующее оборудование. С другой стороны, 167 кг плутония оружейного качества, эквивалентные примерно 33 боеголовкам, которые все равно ежегодно будут производиться на реакторе Дхрува и реакторе-размножителе, должны быть достаточными для удовлетворения любой обоснованной оценки того, что необходимо для обеспечения минимального сдерживания – объявленной ядерной политики страны. Кроме того, имеются большие запасы уже произведенного плутония реакторного качества, которые будут дополнены тем, что будет произведено на восьми реакторах, не находящихся под гарантиями. Как уже отмечалось, они также в принципе могут быть использованы для изготовления ядерных боеголовок.

Кроме того, если Индия захочет производить еще больше плутония оружейного качества, у нее будет лучший вариант, согласно соглашению между США и Индией, построить больше реакторов-размножителей или производственных реакторов с меньшей степенью выгорания, и расположить их вне гарантий. Конечно, эти замечания базируются на личных суждениях автора, и не поддерживаются (и не опровергаются) любыми официальными заявлениями²¹.

Наконец, хотя все оценки запасов расщепляющихся материалов и их производства здесь были сделаны настолько надежными, насколько это возможно, те оценки, которые относятся к плутонию, вероятно, являются более надежными, чем для ВОУ. Базовая информация для расчетов производства плутония включает количество и типы ядерных реакторов в Индии, их мощность и эксплуатационную историю. Такие данные в основном общедоступны, поскольку реакторы образуют часть гражданской энергетической программы, связаны с национальной электрической сетью, и т.д. Оставшиеся стадии расчетов производства плутония основаны на хорошо известных принципах ядерной физики и техники.

Напротив, производство ВОУ содержит немного таких вторичных «гражданских» индикаторов. Единственным пользователем центрифуг являются военные, по всей вероятности, для топлива атомной подлодки – сильно засекреченной области. Остается опираться на журналистские расследования, сообщения и слухи об изготовлении центрифуг. Это повышает вероятность неправильных оценок.

Конечно, такие недостатки влияют на любой независимый анализ стратегических вопросов, проводящийся в условиях ограниченной публично доступной информации. Между тем, правительственные агентства имеют доступ к гораздо более точной информации по позициям, рассматриваемым в этой статье, и можно только дожидаться возможных поправок и опровержений с их стороны, если только они решат сделать их.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies* (Oxford University Press, Oxford, 1997).

2. David Albright, India's and Pakistan's Fissile Material and Nuclear Weapon Inventories, End of 1999, ISIS Report, October 11, 2000 и другие аналогичные сообщения на сайте <http://www.isis-online.org/publications/southasia>
3. Zia Mian, A. H. Nayyar, R. Rajaraman, and M. V. Ramana, *Fissile Materials in South Asia: The Implications of the U.S-India Nuclear Deal*, IPFM Research Report #1, September 2006; опубликовано в *Science and Global Security*, 14(2&3)(2006): 117-145.
4. См. стр. 247 Albright *et al.*, *op. cit.* (ссылка [1]).
5. См. ссылки на эту историю в IPFM Research Report # 1, *op. cit.*, (ссылка [3]).
6. "Third Reprocessing Plant Opened at Kalpakkam," *Nuclear News*, May 1996.
7. <http://mea.gov.in/treatiesagreement/2006/ltall05200601.pdf>
8. Alexander Glaser and M. V. Ramana, "Weapon-Grade Plutonium Production in the Indian Prototype Fast Breeder Reactor," *Science & Global Security*, 15 (2007): 85.
9. J. Carson Mark, "Explosive Properties of Reactor-Grade Plutonium," *Science and Global Security*, 4(1) (1993).
10. В работе IPFM Report #1, *op. cit.* (ссылка [3]), было приведено общее количество электроэнергии в 149 ТВт·час, выработанной до мая 2006 г. В течение 2000-07 г.г. было выработано еще 18,8 ТВт·час, из которых 3,8 ТВт·час приходилось на реакторы под гарантиями, что дает остаток в 15 ТВт·час. Всего на реакторах не под гарантиями до середины 2007 г. было выработано 164 ТВт·час электроэнергии. См. www.npcil.nic.in/NPCIL_annual_report_06_07.pdf
11. Albright *et al.*, *op. cit.* (ссылка [1]), p. 477.
12. Заметьте, что такая коррекция на распад не требуется при расчете производства плутония оружейного качества.
13. Это значение было получено следующим образом. Авторы уже оценили, что к середине 2007 г. в отработанном топливе содержалось около 13 тонн плутония реакторного качества. Это соответствовало 23 563 ГВт·день (тепл.) произведенной энергии, что, в свою очередь, при степени выгорания 7 000 МВт·день/т соответствовало 3 368 тоннам топлива. Из этого следует вычесть то, что было произведено между 2004 и 2007 г.г. В течение 2004-2005 г.г. мощность индийских реакторов не под гарантиями составляла 2 150 МВт (эл.). В 2006 г. вступил в строй реактор Тарапур 4 (540 МВт (эл.)), что увеличило общую мощность до 2 690 МВт (эл.). В предположении, что коэффициент использования равен 65%, эти реакторы произвели в течение 2004-2007 г.г. $[2 \times 2,150 + 2,690] \times 365 \times 0,65 = 1658$ ГВт·день (эл.) = 5718 ГВт·день (тепл.) энергии. При той же степени выгорания 7 000 МВт·день/т эта энергия соответствует 816 тоннам топлива, которое, предположительно, все еще охлаждается. Вычитая эту величину из общего количества в 3 368 тонны, мы получаем, что количество отработанного топлива, произведенного на реакторах не под гарантиями до 2004 года, равно 2 552 тонны.
14. См. Mark Hibbs, "Tarapur-2 to Join Twin BWR in Burning PHWR Plutonium," *Nuclear Fuel*, 20 (25 September 1995): 18f.
15. "Термин 'производить расщепляющиеся материалы' не включает деятельность, вовлекающую расщепляющиеся материалы, произведенные до вступления в силу Договора, при условии, что такая деятельность не увеличивает общее количество плутония, урана-233, или урана-235 в таких расщепляющихся материалах." Article II.3, "US Tables Draft FMCT Text at the Conference on Disarmament," Пресс-релиз, 18 мая 2006 г., <http://www.usmission.ch/Press2006/0518DraftFMCT.html>
16. Интервью с S. K. Munshi из отделения переработки Атомного исследовательского центра Баба (BARC); см. <http://www.nucwatch.com/platts/2007/platts070615.txt>
17. M. V. Ramana, "An Estimate of India's Uranium Enrichment Capacity," *Science & Global Security*, 12 (2004): 115.
18. David Albright and Susan Basu, *India's Gas Centrifuge Enrichment Program: Growing Capacity for Military Purposes*, Institute for Science and International Security, 18 January 2007.
19. Там же.
20. Sandeep Unnithan, "The Secret Undersea Weapon/" *India Today*, 28 January 2008, 52-55.
21. Дальнейшее развитие этого суждения см. в R. Rajaraman, "India and the Fissile Material (Cutoff) Treaty" in "Some National Perspectives on a Fissile Material (Cutoff) Treaty," International Panel on Fissile Materials Research Report #6, готовится для www.fissilematerials.org и R. Ra-

jaraman, "India-U.S. Deal and the Nuclear Ceiling," *The Hindu*, Editorial Page, 10 September 2005; "Fallout from the Nuclear Deal," *Economic and Political Weekly*, 5 August 2006, 3351-3353.

ПРИЛОЖЕНИЕ: ПЛАН ГАРАНТИЙ РЕАКТОРОВ, СФОРМУЛИРОВАННЫЙ В НАЧАЛЕ 2006 Г. В КАЧЕСТВЕ ЧАСТИ ДОГОВОРЕННОСТИ МЕЖДУ ИНДИЕЙ И США

Энергетические реакторы	Тип	Мощность МВт (Эл.)	Дата запуска	Текущее состояние гарантий	Предлагаемые гарантии
Действующие					
Кайга-1	PHWR	220	16 ноября 2000 г.	Никаких	Никаких
Кайга-2	PHWR	220	16 марта 2000 г.	Никаких	Никаких
Какрапар-1	PHWR	220	6 мая 2003 г.	Никаких	С 2012 г.
Какрапар-2	PHWR	220	1 сентября 2005 г.	Никаких	С 2012 г.
Мадрас-1	PHWR	170	17 января 1984 г.	Никаких	Никаких
Мадрас-2	PHWR	220	21 марта 1986 г.	Никаких	Никаких
Нарора-1	PHWR	220	1 января 1991 г.	Никаких	С 2014 г.
Нарора-2	PHWR	220	1 июля 1992 г.	Никаких	С 2014 г.
Раджастан-1	PHWR	100	16 декабря 1973 г.	Под гарантиями	Под гарантиями
Раджастан-2	PHWR	200	1 апреля 1981 г.	Под гарантиями	Под гарантиями
Раджастан-3	PHWR	220	1 июня 2000 г.	Никаких	С 2010 г.
Раджастан-4	PHWR	220	23 декабря 2000 г.	Никаких	С 2010 г.
Тарапур-1	BWR	160	28 октября 1969 г.	Под гарантиями	Под гарантиями
Тарапур-2	BWR	160	28 октября 1969 г.	Под гарантиями	Под гарантиями
Тарапур-4	PHWR	540	12 сентября 2005 г.	Никаких	Никаких
Тарапур-3	PHWR	540	15 августа 2006 г.	Никаких	Никаких
Кайга-3	PHWR	220	6 мая 2007 г.	Никаких	Никаких
Строящиеся					
Кайга-4	PHWR	220	2007 (план)	Никаких	Никаких
Куданкулам-1	VVER	1000	2007 (план)	Под гарантиями	Под гарантиями
Куданкулам-2	VVER	1000	2008 (план)	Под гарантиями	Под гарантиями
Раджастан-5	PHWR	220	2007 (план)	Никаких	С 2007 г.
Раджастан-6	PHWR	220	2008 (план)	Никаких	С 2008 г.
PFBR	BR	500	2010	Никаких	Никаких

Обозначения: PHWR – реактор на тяжелой воде под давлением, BWR – реактор на кипящей воде; VVER – водородной энергетический реактор; PFBR – прототип реактора-размножителя на быстрых нейтронах; BR - реактор-размножитель.