

ПОТЕНЦИАЛ ПРОИЗВОДСТВА РАСЩЕПЛЯЮЩИХСЯ МАТЕРИАЛОВ В ЮЖНОЙ АЗИИ

А.Х. Найяр, А.Х. Тур, и Зиа Миан

Ситуация с Индией и Пакистаном показывает, как деятельность в области атомной энергии для мирных целей может внести потенциально существенный вклад в производство расщепляющихся материалов для военных целей. В статье приводятся оценки количества плутония оружейного качества, которое могло бы быть произведено на не поставленных под гарантии энергетических реакторах в Индии, если бы эти реакторы работали бы исключительно для указанной цели, и мощностей Пакистана по накоплению урана оружейного качества, для случая, в котором его запасы низкообогащенного урана использовались бы как исходный материал для его установок для обогащения урана. Эти оценки не являются суждениями по поводу того, что на самом деле делают эти страны, или что они намерены делать, но они должны привлечь внимание к вопросам, которые должны возникнуть при введении режима прекращения производства расщепляющихся материалов в Южной Азии, или в каком-нибудь другом месте.

А.Х. Найяр - доцент физического факультета университета Куаид-и-Азам в Исламабаде (Пакистан), А.Х. Тур - научный сотрудник того же университета, а Зиа Миан - научный сотрудник Института политики поддерживаемого развития в Исламабаде.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективы конвенции по прекращению производства расщепляющихся материалов поднимают важные вопросы о запасах накопленных расщепляющихся материалов в странах с известной способностью производства ядерного оружия. Мы рассмотрим здесь ситуацию с Индией и Пакистаном. В производстве расщепляющихся материалов эти две страны следуют по разным путям: Индия перерабатывает отработанное топливо из ядерных реакторов для выделения плутония, а Пакистан выбрал обогащение урана.

Хотя оценки производства плутония оружейного качества (ПОК) в Индии и доступны, в них предполагается, что индийская энергетическая программа не давала никакого вклада в это производство. Точно так же, при оценках обогащения урана в Пакистане основное внимание уделялось высокообогащенному урану (ВОУ), а накопление низкообогащенного урана (НОУ) и время, необходимое для переработки этого накопленного материала в материал оружейного качества, не рассматривались.

Данные, на основе которых можно было бы провести вычисления, относящиеся к этим тревожащим вопросам, ограничены. Тем не менее, имеются данные о полном производстве энергии в ядерных реакторах, изготовлении топлива и мощности перерабатывающих установок в Индии, которые могли бы быть использованы для проведения некоторого рода оценок наилучшего возможного варианта. Для Пакистана такие данные еще более редки, и оценки делались на основе более ранних предположений о мощности пакистанских установок по обогащению урана.

Имея в виду эти ограничения, мы оценили количество плутония оружейного качества, которое могло бы быть произведено на не поставленных под гарантии энергетических реакторах в Индии, если бы эти реакторы использовались исключительно для указанной цели. Мы рассчитали также время, которое необходимо Пакистану для удвоения своих оцениваемых запасов ВОУ, если он решит возобновить производство ВОУ и использовать возможные запасы НОУ как исходные материалы для процесса обогащения.

УЧЕТ ПЛУТОНИЯ В ИНДИЙСКОМ ЦИКЛЕ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Поскольку Индия обладает большой и разнообразной гражданской ядерной программой, и поскольку большая ее часть не поставлена под гарантии (см. рис. 1), было бы интересно сделать попытку анализа индийского цикла ядерного топлива. Из-за того, что Индия извлекала ПОК из своих реакторов, основной задачей анализа должна стать оценка размера накопившихся за годы плутониевых запасов.

Хотя плутоний любого изотопного состава может быть пригоден для оружия, большие концентрации изотопов, отличающихся от Pu-239, вызывают серьезные проблемы при использовании в оружии. Pu-240 обладает большой скоростью спонтанного распада, которая приводит к уменьшению мощности взрыва сравнительно простых конструкций ядерного оружия. Pu-241 распадается в Am-241, являющийся сильным источником рентгеновского и γ -излучения,

что приводит к затруднениям при работе с материалом¹. С другой стороны, основные элементы ядерного оружия, изготовленные из плутония оружейного качества (содержащего более 94 % Pu-239), могут легко храниться на складе в течение долгого времени. Именно поэтому при наличии возможности страна с ядерным оружием на основе плутония будет предпочитать ПОК.

В 1995 г. Олбрайт, Беркхут и Уолкер² оценили, что полные запасы ПОК, накопленные Индией, составляют примерно 425 кг. В них может входить плутоний, выделенный из топлива, выгруженного из двух крупнейших в Индии исследовательских реакторов, Цирус и Дхрува, и из первых выгрузок топлива из пяти энергетических реакторов, не поставленных под гарантии (Мадрас I и II, Нарора I и II, Какрапар I). Степень выгорания первых выгрузок была невелика, и поэтому в выделенном плутонии содержание Pu-239 было велико.

Коммерческая ядерная программа Индии в настоящее время включает два реактора с кипящей водой (BWR; Тарапур I и II), и восемь реакторов с тяжелой водой под давлением типа CANDU (PHWR). Шесть реакторов из последней группы (включая один новый реактор, Какрапар II), изготовлены в самой Индии и не поставлены под гарантии. Еще шесть реакторов местного производства, не ставящихся под гарантии, находятся на разных стадиях строительства.

Реакторы типа CANDU позволяют заменять топливо без останова, не оказывая влияния на общий уровень производства энергии. Это позволяет снижать степень выгорания для части его топлива с целью производства ПОК. По этой причине "Индия, в принципе, способна перевести один или несколько своих энергетических реакторов на производство плутония оружейного качества, хотя при этом заметно возрастет стоимость топлива".³

Является ли увеличение стоимости топлива реальным препятствием? Как много дополнительного топлива может позволить себе произвести Индия, если она будет следовать такому курсу? Имеются ли ограничения на переработку дополнительного отработанного топлива с малой степенью выгорания?

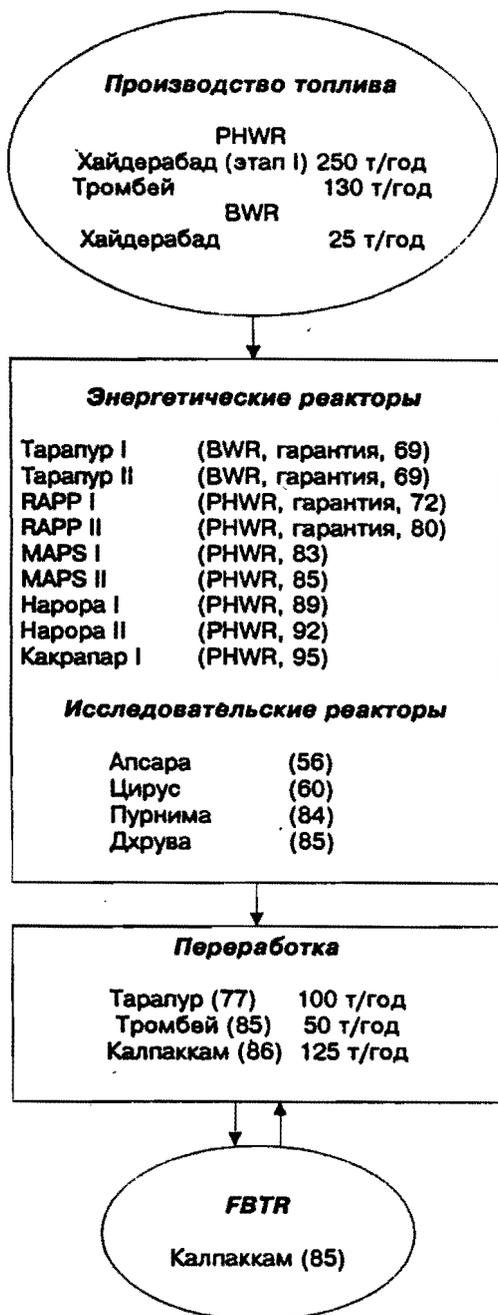
Ответы на эти вопросы можно получить, проведя анализ индийского цикла ядерного топлива, обращая внимание на те его части, которые соответствуют процессам от изготовления топлива до его переработки, показанным на рис. 1.

Исправленный анализ

Производство топлива. Общая учетная мощность производства топлива в Индии составляет 405 т тяжелого металла в год, из которых 25 т изготавливаются из низкообогащенного урана для двух реакторов с кипящей водой в Тарапуре. На установках в Тромбее и Хайдерабаде может производиться до 385 т топлива из природного урана, из которых 35 т в год расходуются на двух исследовательских реакторах Цирус и Дхрува⁴, а оставшиеся 350 т в принципе доступны для использования на энергетических реакторах с тяжелой водой. Ситуация стала такой с 1984 г., в котором начал работу первый из энергетических реакторов Индии, не

поставленный под гарантии; с этого года мы и начинаем пересмотренную оценку накопления запасов топлива.

Рисунок 1: индийский цикл ядерного топлива.



ное количество топлива, потребленного в 1984 и 1985 г.г. двумя поставленными под гарантии реакторами Раджастан, у каждого из которых проектная степень выгорания топлива равна 6700 Мвт·день/т. Реальное производство электроэнергии на этих поставленных под гарантии реакторах позволяет предполагать, что при номинальном требовании 720 т топлива за 12-летний период с 1984 по 1995 г. (2 x 30 т в год x 12 лет) реакторы израсходовали всего лишь около 260 т.

Таблица 1: потребление топлива энергетическими реакторами, поставленными под гарантии.

Год	Раджастан I		Раджастан II		СПТ
	ФН	ПТ	ФН	ПТ	
1984	0	0	51.53	15.5	15.5
1985	13.49	4.05	57.75	17.33	21.4
1986	0	0	70.05	21.01	21.0
1987	14.65	4.40	66.88	20.07	24.5
1988	24.23	7.27	72.21	21.66	28.9
1989	19.92	5.98	63.58	19.07	25.0
1990	23.29	6.99	63.15	18.95	25.9
1991	12.53	3.76	51.62	15.49	19.3
1992	4.27	1.28	50.45	15.14	16.4
1993	11.22	3.37	66.48	19.9	23.3
1994	0.44	0.13	32.9	9.87	10.0
1995	20.0	6.0	70.0	21.0	27.0
Всего		43.23		214.99	258.2

ФН - фактор нагрузки (%); ПТ - потребление топлива (т);
СПТ - суммарное потребление топлива (т).
Данные за 1995 г. - оценочные.

Аналогичные прикидки могут быть сделаны и для оставшихся шести энергетических реакторов; для каждого из них проектная электрическая мощность равна 220 МВт. Опубликованные данные по производству электроэнергии на этих реакторах позволяют рассчитать их фактор нагрузки. Эти данные приведены в табл. 2. После этого факторы нагрузки могут быть использованы для расчета требований по расходу топлива при различных предположениях о степени выгорания топлива. Если реакторы работали при проектной степени выгорания в 6700 Мвт·день/т, то общее потребление топлива на всех реакторах должно было бы составить примерно 730 т в течение 12 лет. Если это так, то общий расход топлива на всех восьми коммерческих реакторах был бы равен примерно 990 т, что намного меньше объявленной мощности производства топлива, доступной за этот период 4200 т (350 т/год x 12 лет).

Однако, если бы эти не поставленные под гарантии реакторы работали не при проектной степени выгорания топлива в 6700 Мвт·день/т, а при меньшем выгорании в 1000 Мвт·день/т, необходимом для производства плутония оружейного качества, необходимое количество топлива увеличилось бы в 6700/1000 раз. Требования по расходу топлива на шести не поставленных под гарантии энергетических реакторах в случае их использования для производства плутония оружейного качества показаны в табл. 2. Общие требования по топливу составляют в этом случае 3300 т, что опять не превышает производственных мощностей по изготовлению топлива. Следовательно, Индия, по-видимому, всегда обладала количеством топлива, достаточным для эксплуатации не поставленных под гарантии энергетических реакторов в режиме производства ПОК; в этом смысле у нее никогда не было запрещающего "повышения стоимости топлива". Если и возникал недостаток в топливе (как это было позднее, в 1992, 1993 и 1995 г.г.), он легко мог быть компенсирован неиспользованными запасами топлива прошлых лет. Однако, нам неизвестно, обладает ли Индия эксплуатационной возможностью в 6,7 раза более быстрой замены топлива на реакторах, или к какому повышению стоимости работ это могло бы привести.

Переработка. У Индии есть три предприятия по переработке топлива - в Тарапуре, Тромбее и Калпакаме - с общей проектной мощностью в 275 т тяжелого металла в год⁹. Считают, что предприятие в Тромбее с мощностью в 50 т/год предназначено для переработки металлического топлива с исследовательских реакторов Цирус и Дхрува. Оценки других мощностей по переработке в Индии неопределенны.

Потребление топлива. В настоящее время для использования в восьми тяжеловодных энергетических реакторах доступно около 350 т природного урана в год. Два из них, Раджастан I и II, поставленные под международные гарантии, требуют ежегодной загрузки 30 т топлива в год в каждый, а оставшиеся шесть реакторов, построенные по единым требованиям, при работе на 100 % мощности требуют ежегодной загрузки в 33 т. Первая загрузка топлива в шесть последних реакторов составляла 56 т в каждый. Эти данные определяют максимальные требования топлива для восьми реакторов¹⁰.

Но реальное потребление топлива реактором зависит от доли его рабочего времени и от мощности, на которой он работал. Фактор нагрузки реактора можно определить по опубликованным данным годового производства электроэнергии. Реальное ежегодное потребление топлива может быть рассчитано по фактору нагрузки и расчетной степени выгорания топлива в Мвт·день/т. В табл. 1 показано реаль-

Несмотря на то, что установка в Калпаккаме считается работающей с 1988 г. (по данным справочника World Nuclear Industry Handbooks и других изданий¹⁰), обычно полагают, что переработка отработанного топлива с энергетических реакторов может производиться только на предприятиях в Тарапуре. Для того, чтобы поддерживать наши оценки консервативными, мы будем считать, что эти предположения верны. Установка в Тарапуре не ставится под гарантии при переработке топлива из реакторов, не находящихся под гарантиями. Ее номинальная мощность переработки составляла 100 т/год в 1990 г., а в 1991 г. она была увеличена до 150 т/год.

Таблица 2: требования по загрузке топлива для не поставленных под гарантии реакторов с тяжелой водой под давлением при работе с низкой степенью выгорания 1000 МВт-день/т.

Год	Мадрас I		Мадрас II		СПТ
	ФН	ПТ	ФН	ПТ	
1984	65.1	144	-	56(1)	200
1985	45.9	101.5	38.1	85.3	186.8
1986	41.5	91.8	44	97.3	189.1
1987	58.3	128.9	62	137.5	266.4
1988	68.1	150.6	34.8	76.9	227.5
1989	23.9	52.8	25.2	55.7	108.5
1990	50.1	110.8	56.4	124.7	291.5
1991	28.6	63.2	60.5	135.8	317.3
1992	59.7	132	36.9	81.6	438.3
1993	29.8	65.9	52.9	117	335.1
1994	44.8	99.2	54.6	120.7	326.1
1995	-	100	-	120	425
	Нарора I		Нарора II		
1990	-	56(1)	-	-	
1991	28.2	62.3	-	56(1)	
1992	42.8	94.6	33.5	74.1	
1993	18.6	41.1	5.16	11.4	
1994	0	0	42.9	94.9	
1995	-	41	-	10	
	Какрапар I		Какрапар II		
1992	-	56(1)	-	-	
1993	45.1	99.7	-	-	
1994	5.1	11.3	-	-	
1995	-	98	-	56(1)	

ФН - фактор нагрузки; ПТ - потребность в топливе для низкой степени выгорания в 1000 МВт-день/т; СПТ - суммарная потребность в топливе для всех реакторов при низкой степени выгорания.

Как показано в табл.3, если Индия решила с самого начала эксплуатировать свои энергетические реакторы в режиме изготовления плутония, то производство ПЛОК будет ограничено мощностями переработки. Если это так, то Индия могла получить еще 1450 кг ПЛОК в дополнение к 425 кг, полученным из исследовательских реакторов (по оценке Олбрайта и др.¹¹). Неопределенность в мощностях переработки приводит к большой неопределенности окончательных оценок максимально возможного производства ПЛОК. Когда завод по переработке Калпаккам II (который классифицируется сейчас как строящийся с проектной мощностью в 1000 т/год¹²) будет закончен, то на нем, в принципе, можно будет за два года извлечь из непереработанного до сих пор топлива около 1500 кг ПЛОК.

Плутоний из реактора-размножителя на быстрых нейтронах

В индийском испытательном реакторе-размножителе на быстрых нейтронах (ИРРБН) в качестве топлива в активной зоне реактора используется смесь плутония и урана, причем плутоний составляет около 70% активной зоны по массе¹³. Реактор ИРРБН спроектирован таким образом, чтобы обеспечить воспроизводство плутония в кожухе из обедненного урана, окружающем активную зону. Наиболее примечательной особенностью ИРРБН можно считать то, что в активной зоне реактора используется плутоний реакторного качества, в то время как в кожухе образуется плутоний высшего качества, в котором содержится более 93% Pu-239. Фактически ИРРБН является очень хорошей установкой для производства плутония высшего качества.

В открытой литературе имеется не так много данных о степени выгорания в индийском реакторе ИРРБН. Олбрайт и др.¹⁴ отметили, что во в кожухе из U-238 французского реактора на быстрых нейтронах Феникс производится 0,365 кг плутония высшего качества на каждый мегаватт произведенной электроэнергии в год. Мы предположим, что для индийского ИРРБН справедливо то же самое. Индийский ИРРБН с электрической мощностью 11 МВт достиг критичности в 1985 г., но, по-видимому, он не достигал полной проектной мощности вплоть до 1990 г. Если мы предположим, что после 1990 г. его средняя мощность составляла 60 процентов, то в течение последующих пяти лет на нем можно было бы произвести около 12 кг плутония высшего качества.

Таблица 3: количество плутония, которое можно было бы получить от энергетических реакторов, не поставленных под гарантии.

Год	Плутоний в топливе ¹ , кг	Мощность переработки, т	Извлечение плутония, кг
1984	144	100	100
1985	187	100	100
1986	189	100	100
1987	266	100	100
1988	227	100	100
1989	108	100	100
1990	235	100	100
1991	261	150	150
1992	382	150	150
1993	335	150	150
1994	326	150	150
1995	369	150	150
Всего	3029	1450	1450

1 - образование плутония при степени выгорания в 1000 МВт-день/год
2 - извлечение 1 кг плутония из 1 т отработанного топлива с низкой степенью выгорания

Необходимость больших запасов

Вопрос заключается в том: вероятно ли, что Индия на самом деле производила плутоний оружейного качества на своих энергетических реакторах и на испытательном реакторе-размножителе? Для этого у нее должны были быть мощности, возможности и мотивация. Предыдущий анализ показывает, что мощности и возможности у Индии были. Представляется вполне возможным, что Индия могла бы использовать свои энергетические реакторы для производства 1450 кг ПЛОК в дополнение к 425 кг из исследовательских реакторов, хотя мы должны отметить, что у нас нет никаких указаний на то, что это произошло на самом деле.

Что можно сказать о мотивации? Очевидно, что Индия заявляет о том, что у нее есть причины придерживаться ядерного варианта. Одной из них является непосредственная обеспокоенность Китаем и Пакистаном, с которыми Индия давно ведет споры, и которых Индия и многие в мире подозревают о сотрудничестве в ядерной области. Говорится о том, что индийский ядерный вариант служит защитой от этой угрозы. Пока будет существовать это ощущение угрозы, вероятно, что Индия будет поддерживать свои ядерные возможности все более и более надежными.

Во-вторых, Индия постоянно отказывается оставить свой ядерный вариант, пока обладание и использование ядерного оружия рассматриваются пятью ядерными державами как легитимные. В частности, эту политику отражает противодействие Индии региональному ядерному разоружению в Южной Азии. Поскольку всегда было очевидным, что ядерные державы собираются сохранить свой статус на неопределенно долгое время, Индия заявляет, что у нее есть причины увеличения своих запасов ядерных материалов.

Однако, даже если у Индии есть желание добиться определенного ядерного потенциала, хватит ли запасов расщепляющихся материалов, достаточных для создания порядка сотни ядерных боеприпасов, для обеспечения ее воспринимаемых представлений о безопасности? Одной из возможных причин может быть желание обладать оружием большей мощности. Для создания одного боеприпаса может

хватить такого малого количества плутония, как 3 - 6 кг. Поэтому 425 кг ПОК, произведенных, по оценкам, на исследовательских реакторах Цирус и Дхрува, должно хватить на изготовление примерно 100 единиц ядерного оружия. Однако, известно, что мощность ядерного оружия возрастает с увеличением расщепляющегося материала нелинейно. При использовании только 2,5 критических масс мощность взрыва возрастает в 60 раз. Если Индия захочет перейти к ядерному оружию большей мощности, то ей потребуется больше критических масс для каждого боеприпаса, и поэтому потребности в запасах возрастут. В принципе, дополнительный ПОК можно будет получить при переработке, если отработанное топливо из энергетических реакторов, не поставленных под гарантии, сможет быть использовано для повышения мощности индийских ядерных боеприпасов.

Все новые указания на проведение перспективной программы создания водородного оружия в Индии позволяют предположить другое применение для дополнительного ПОК¹⁶. В конструкции водородного оружия Улама-Теллера, о которой говорится, что она надежна, вместе с первичной (запускающей) компонентой, используется цилиндрический инициатор синтеза, в котором может содержаться несколько критических масс плутония¹⁸.

УРАНОВЫЕ ЗАПАСЫ ПАКИСТАНА

В течение последних двадцати лет Пакистан создал производственные мощности по обогащению урана, которые, по общему мнению, были использованы для производства урана оружейного качества (содержащего по меньшей мере 90% U-235). Одним из явных подтверждений этого служит заявление министра иностранных дел Пакистана газете "Washington Post"¹⁷, о том, что "Пакистан навсегда остановил производство высокообогащенного урана и элементов ядерных боеприпасов". Другими словами, Пакистан производил высокообогащенный уран и изготавливал из него детали ядерного оружия, но больше не делает этого.

Эта интерпретация в точности соответствует оценкам официальных лиц США, по которым Пакистан способен "собрать" ядерное оружие в течение очень короткого времени¹⁸. Применение слова "собрать" вместо слова "изготовить" предполагает, что все детали (в том числе, предположительно, и детали из расщепляющегося материала) уже готовы.

Сложная история обогащения урана в Пакистане довольно противоречива¹⁹. Полагают, что обогащение урана до оружейного качества сначала было остановлено в 1989 г., затем было начато снова, и потом остановлено еще раз. Однако, дата второй остановки неопределенна; бывший министр иностранных дел говорил, что это было в 1991 г., а бывший начальник штаба армии заявлял, что это было в 1990 г. Однако достаточно ясно, что установки для обогащения урана не были закрыты, а работы были продолжены на меньшем по сравнению с ураном оружейного качества уровне обогащения. Бывший начальник штаба армии Пакистана предположил, что был установлен уровень обогащения в 3 - 5 процентов. История работ по обогащению урана привела к появлению двух компонентов в запасах обогащенного урана. Первый представляет собой запас урана оружейного качества (90% U-235), некоторая часть которого могла быть переработана в детали ядерного оружия. Очевидно, что эти запасы сейчас не увеличиваются. Второй компонент - это запасы низкообогащенного урана, или НОУ (3 - 5% U-235), которые стали накапливаться в 1990 - 1991 г.г. и продолжают накапливаться до сих пор.

Используя стандартное уравнение (1) для обогащения урана²⁰, мы рассчитали размеры запасов низкообогащенного урана в предположении, что работы по слабому обогащению урана велись в течение 5 лет (скажем, с июля 1991 г. по июль 1996 г.), что все мощности, использовавшиеся для получения урана оружейного качества, использовались для производства НОУ, и что содержание U-235 в отходах равнялось 0,3%.

Оценки общих мощностей Пакистана по обогащению урана составляют от 9000 до 15000 SWU (единицы работы разделения, измеряемые в кг/год)²¹. Эти оценки относятся к предприятию по обогащению в Кахуте. Сообщалось и о других предприятиях по обогащению в Пакистане: экспериментальной установке в Сихале и другой установке в Голре, для которых нет данных по мощности²².

В терминах концентрации U-235 N_F , N_P и N_W в сырье, продукте и отходах, и весе обогащенного продукта P в кг,

мощность разделения установки SWU (в кг/год) определяется следующим выражением:

$$SWU = P \cdot \left(V(N_P) + \frac{N_P - N_F}{N_F - N_W} V(N_W) - \frac{N_P - N_W}{N_F - N_W} V(N_F) \right) \quad (1)$$

где значение функции $V(N)$ определяется выражением:

$$V(N) = (2N - 1) \ln \left(\frac{N}{1 - N} \right) \quad (2)$$

По уравнению (1) было рассчитано общее производство общего производства обогащенного урана за 5 лет (с июля 1991 по июль 1996 г.) со степенью обогащения в 3, 5 и 20%. Результаты расчетов для двух предполагаемых значений мощности разделения приведены в табл. 4. Если Пакистан не производил ничего, кроме НОУ, на своей установке с центрифугами в Кахуте, то за последние пять лет при работе на полной мощности могло быть произведено от 6 до 22 т урана, обогащенного до 3 - 5% (или меньшее количество урана со степенью обогащения в 20%).

Комиссия Сената по иностранным делам²⁴ рекомендовала правительству изменить свою политику ограничения степени обогащения до 3 - 5% U-235 и возобновить производство материала оружейного качества до того, как вступит в силу конвенция по прекращению производства расщепляющихся материалов. Это оправдывалось тем, что большие запасы расщепляющихся материалов могут оказаться необходимыми для обеспечения достаточности.

Одним из способов быстрого достижения такой цели будет использование НОУ как сырьевого материала в каскаде обогащения урана до 90%. Интересным параметром описания потенциала такого каскада является наименьшее время производства указанного количества урана оружейного качества из доступных запасов НОУ. Это время можно рассчитать, выбрав концентрацию в отходах N_W таким образом:

$$N_W = \frac{FN_F - PN_P}{F - P} \quad (3)$$

где F и P представляют собой количества доступного сырья и продукта, а N_F и N_P - концентрации U-235 в сырье и продукте²⁵.

Искомое время определяется следующим выражением:

$$t = \frac{P}{SWU} \cdot \left(V(N_P) + \frac{N_P - N_F}{N_F - N_W} V(N_W) - \frac{N_P - N_W}{N_F - N_W} V(N_F) \right)^{-1} \quad (4)$$

Для иллюстрации этих расчетов мы примем количество продукта $P = 200$ кг при степени обогащения 90%, что должно примерно удвоить количество урана оружейного качества, оцениваемого Олбрайтом и др. в 130 - 220 кг. В табл.5 показаны результаты расчетов, основанные на этом предположении и оценках, приведенных в табл.4 для запасов НОУ, вероятно накопленных в Пакистане.

Таблица 4: Нижние и верхние оценки запасов НОУ (в кг), накопленных в течение 5 лет, в предположении загрузки природным ураном и концентрации U-235 в отходах, равной 0,3%. В этом расчете предполагается также, что поставки природного урана не ограничены. Данные для обогащения в 20% приводятся для полноты, поскольку такая степень обычно считается верхним пределом для классификации материала как НОУ.

Степень обогащения, %	Масса продукта для SWU = 9000	Масса продукта для SWU = 15000
3	13 123	21 871
5	6 245	10 407
20	1 173	1 956

Например, из табл.4 мы видим, что Пакистан мог накопить 13 123 кг НОУ со степенью обогащения 3% (при мощности обогащения в 9000 SWU). Тогда N_W может быть рассчитана по формуле:

БЛАГОДАРНОСТИ

$$N_{W'} = \frac{13123 \cdot 0.03 - 200 \cdot 0.90}{13123 - 200} = 0.0165$$

Подставив эту величину в уравнение 4, можно получить, что выражение в скобках равно 42,5 SWU. Это означает, что для производства 1 кг урана со степенью обогащения 90% при содержании U-235 в сырье и в отходах, соответственно равном 3% и 1.65%, потребуется 42,5 SWU. Для производства 200 кг урана со степенью обогащения 90% потребуется 8500 SWU, или приблизительно 49 недель работы каскада с производительностью 9000 SWU в год.

Таблица 5: Время в неделях, необходимое для производства 200 кг урана оружейного качества из запасов НОУ.

Степень обогащения сырья, %	Время в неделях для SWU = 9000	Время в неделях для SWU = 15000
3	49	26
5	33	17
20	10,5	5

Приведенные здесь результаты позволяют предполагать, что если Пакистан возобновит производство ВОУ либо в ответ на предстоящее заключение соглашения о прекращении производства расщепляющихся материалов, либо в результате серьезного политического кризиса с Индией, то ему потребуется от нескольких месяцев до года, чтобы внести существенный вклад в имеющиеся запасы ВОУ. Относительно небольшое требуемое время позволяет предположить, что вместо того, чтобы немедленно перейти к производству материала оружейного качества, Пакистан может вместо этого просто продолжать производство НОУ. Большие запасы НОУ позволят ему сохранять серьезный потенциал для производства урана оружейного качества без существенного увеличения затрат времени, необходимых для преобразования НОУ в материал оружейного качества.

ВЫВОДЫ

Большая часть обсуждений, связанных с конвенцией по прекращению производства расщепляющихся материалов, была посвящена производству материалов оружейного качества. Однако, ситуация с Индией и Пакистаном показывает, как очевидно гражданская ядерная деятельность (работа коммерческих энергетических реакторов в Индии и производство НОУ в Пакистане) предоставляет огромный потенциал для производства гораздо больших, чем ожидалось, количеств расщепляющихся материалов оружейного качества.

Следовательно, любые будущие усилия по включению Индии и Пакистана в рамки режима прекращения производства расщепляющихся материалов (регионального или международного) должны обеспечить адекватные гарантии гражданских ядерных программ.

Требование универсальности и отсутствия дискриминации международных договоров по контролю над вооружениями, которое вызвало трудности с договором по полному запрещению ядерных испытаний, предполагает, что любой процесс прекращения производства расщепляющихся материалов должен требовать включения всех гражданских ядерных программ в процесс контроля над вооружениями.

Эта работа основана на докладе, представленном на седьмом международном симпозиуме по науке и международным отношениям в Киэве (Украина, 17 - 24 сентября 1995 года). Мы благодарны бюллетеню INESAP за разрешение включить раздел по пакистанскому урану, впервые опубликованный в выпуске этого бюллетеня от 7 октября 1995 г. Мы выражаем также благодарность Фрэнку фон Хиппелю, Дэвиду Райту, и Харольду Фейвесону за полезные замечания. Эта работа частично поддержана грантом от фонда Плаушерс.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. См., например, F. von Hippel, "Physics Today", June 1995, p. 26.
2. Albright, D., F. Berkhout, and W. Walker, *World Inventory of Plutonium and Highly Enriched Uranium, SIPRI*, (Oxford University Press, 1993), p. 161.
3. Albright, et al., p. 159 (см. ссылку 2).
4. *World Nuclear Industry Handbook*, (1993 и 1994).
5. Оценка этого значения была получена из полного производства ПОК на двух исследовательских реакторах, оцененного Олбрайтом и др. (см. ссылку 2). Простое правило гласит: из каждой тонны топлива со степенью выгорания 1000 МВт·день/т выделяется 1 кг плутония.
6. *World Nuclear Industry Handbook*, (1993 и 1994).
7. Полное ежегодное производство электроэнергии на каждом из реакторов публикуется в *Nucleonics Week*.
8. Albright, et al., p. 159 (см. ссылку 2).
9. *World Nuclear Industry Handbook*, (1993 и 1994).
10. См., например, *A Guide in Nuclear Activities in India and Pakistan*, "US Arms Control and Disarmament Agency Report", (March 1994), и перечисленную в нем литературу.
11. Albright, et al., p. 161 (см. ссылку 2).
12. *World Nuclear Industry Handbook*, (1993 и 1994).
13. *World Nuclear Industry Handbook*, (1993 и 1994).
14. Albright, et al., p. 44 (см. ссылку 2).
15. W.P.S. Sidhu, "India's Nuclear Test's - Technical and Military Imperatives", *Jane's Intelligence Review*, (April 1996), pp. 170 - 173.
16. Hansen, C., "US Nuclear Weapons - The Secret History", *Aerofax Inc.*, (1988), pp. 24, 50.
17. *The Washington Post*, (February 7, 1992).
18. "Report to Congress On Progress Toward Regional Non-Proliferation in South Asia", (1983).
19. Mian, Z., "Verification of a cap on fissile material production in Pakistan", *INESAP Information Bulletin*, Issue No. 3, (October, 1994).
20. См., например, A. Crass et al., "Uranium Enrichment and Nuclear Weapons Proliferation", SIPRI, (1983).
21. Albright, et al., p. 161 (см. ссылку 2).
22. Spector, L., *Nuclear Ambitions - The Spread of Nuclear Weapons 1989-1990*, (Westview Press, 1990).
23. Для заданного количества продукта Р может нехватить сырья для того, чтобы обеспечить большее содержание U-235 в отходах. Каскад, работающий с меньшим содержанием U-235 в отходах, способен дать большее количество продукта, но за более длительное время.
24. "The Daily Dawn", Karachi, (July 21, 1995).