

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА В ИНДИИ

М.В. Рамана

Несмотря на то, что о существовании индийской программы обогащения урана было известно в течение долгого времени, в открытой печати появлялось немного технической информации о программе. Здесь мы попытаемся оценить ее производственные мощности на основании предположения о том, что она позволила произвести достаточно обогащенного урана для активной зоны прототипа реактора для атомной подводной лодки, которая разрабатывается в Индии. Хотя здесь существуют большие неопределенности в данных, и, следовательно, в наших оценках, эта попытка, тем не менее, полезна для того, чтобы дать ощущение масштаба и она может быть использована для грубых оценок количества урана оружейного качества, которое могло бы быть произведено на этой установке, если бы Индия использовала ее для этой цели.

Статья получена 8 января 2004 г. и принята к опубликованию 8 января 2004 г.

Автор выражает благодарность Олегу Бухарину, Харольду Фейвесону, Александру Глезеру, Юнгмину Кангу, Мортону Бремеру Маерли, Хейди Тофт, и Фрэнку фон Хиппелю за полезные замечания и обсуждения.

Эта работа была частично поддержана Исследовательским и писательским грантом от фонда Джона Д. и Кэтрин Т. Макартур и стипендией от фонда Джона Саймона Гуггенхайма.

М.В. Рамана работает в программе по науке и всеобщей безопасности Принстонского университета.

Почтовый адрес для корреспонденции: M. V. Ramana, Centre for Interdisciplinary Studies in Environment and Development, ISEC Campus, Nagarabhavi, Bangalore 560072, India. Электронный адрес: ramana@princeton.edu

В Индии есть два предприятия для обогащения урана на центрифугах¹. Интерес к обогащению урана был проявлен еще в начале 70-х гг². Но только в 1986 г. председатель индийской Комиссии по атомной энергии Раджа Раманна объявил, что было успешно осуществлено обогащение урана³. Согласно одному отчету, опытная промышленная установка работала в комплексе Атомного исследовательского центра Баба с 1985 г⁴. Большой завод с центрифугами, как сообщалось, работает в Раттехалли, Карнатака, с 1990 г⁵. Строительство завода Раттехалли началось в середине 80-х гг⁶. В течение начальных лет эксплуатации, как сообщалось, на заводе происходили остановки в результате коррозии и поломки деталей⁷. Однако, в 1997 г. сообщалось, что департамент атомной энергии «планирует построить и остановить роторные уз-

¹ Существует также экспериментальная программа лазерного обогащения.

² David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium*, 1996 (New York: Oxford University Press, 1997), pp. 269-270.

³ Brahma Chellaney, "Indian Scientists Exploring U Enrichment, Advanced Technologies," *Nucleonics Week*, 5 March 1987, p. 9.

⁴ Ivan Fera and Kannan Srinivasan, "Keeping the Nuclear Option Open: What It Really Means," *Economic and Political Weekly*, 6 December 1986, pp. 2119-2120.

⁵ Mark Hibbs, "Second Indian Enrichment Facility Using Centrifuges Is Operational," *Nuclear Fuel*, 26 March 1992, p. 9.

⁶ Ivan Fera and Kannan Srinivasan, "Keeping the Nuclear Option Open: What It Really Means," *Economic and Political Weekly*, 6 December 1986, pp. 2119-2120.

⁷ David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, *Plutonium and Highly Enriched Uranium*, 1996, (New York: Oxford University Press, 1997), p. 270.

лы улучшенной конструкции»⁸.

Похоже, что основной задачей завода Раттехалли является обогащение урана для атомной подлодки, официально называемой программой «Судна с улучшенной технологией» (ATV). Одним из указаний на военную природу проводившихся в Раттехалли работ явился перевод предприятия в министерство обороны вскоре после ядерных испытаний в мае 1998 г.⁹. Возможно также, что обогащенный уран с этого предприятия применялся в водородной бомбе, испытанной 11 мая 1998 г.¹⁰. Высокообогащенный уран используется в термоядерном оружии США и России.

Имеются некоторые указания на технические характеристики обогатительного завода Раттехалли. Согласно сообщению в начале 90-х гг., цитирующему неназванные официальные источники, предприятие состоит из «нескольких сотен работающих центрифуг, изготовленных из мартенситной стали отечественного производства» с «вероятной проектной производительностью менее трех единиц разделительной работы (SWU) на машину в год»¹¹. Можно считать, что это означает общую производительность около 1000 – 2000 SWU в год. В 1997 г. сообщалось, что департамент атомной энергии планирует «построить и остановить роторные узлы улучшенной конструкции»¹². Сообщались различные уровни обогащения на выходе предприятия и требования для реактора подлодки, они лежат в пределах 6 – 45%.

Если, как заявляют индийские официальные лица, главной задачей предприятия Раттехалли является производство топлива для программы ATV, то анализ требований к реактору подлодки может помочь оценить производственные мощности обогащения урана¹³. Несмотря на относительно богатое освещение программы индийской атомной подлодки в прессе, имеются значительные разногласия по ее техническим характеристикам. В частности, это отражает тот факт, что программа началась около 25 лет назад и заметно эволюционировала на протяжении десятилетий¹⁴.

После многочисленных задержек и неудач, в конце 90-х гг. проект реактора был завершен и начались испытания прототипа реактора в ядерном комплексе Калпаккам в южной Индии¹⁵. Это указывает на то, что между 1990 г. и концом 90-х гг. Комплекс Раттехалли должен был предоставить количество урана, по крайней мере, достаточное для изготовления активной зоны реактора¹⁶.

Количество обогащенного урана, требующееся для реактора атомной подводной лодки, за-

⁸ Mark Hibbs, "India to Equip Centrifuge Plant with Improved Rotor Assemblies," *Nuclear Fuel*, 1 December 1997, p. 7.

⁹ "BARC Secret Programme will be Transferred to the Defence Ministry," *Indian Express*, 17 May 1998.

¹⁰ Хотя мощность ядерного испытания и, следовательно, успешность конструкции оставались под вопросом, не имеется оснований не верить официальным уверениям Индии в том, что было испытано двухступенчатое термоядерное устройство.

¹¹ Mark Hibbs, "Second Indian Enrichment Facility Using Centrifuges Is Operational," *Nuclear Fuel*, 26 March 1992, p. 9.

¹² Mark Hibbs, "India to Equip Centrifuge Plant with Improved Rotor Assemblies," *Nuclear Fuel*, 1 December 1997, pp. 7-8.

¹³ Строго говоря, это может предоставить нижнюю границу. Тем не менее, поскольку программа сталкивалась с трудностями при эксплуатации, весьма вероятно, что реальные возможности близки к нижней границе.

¹⁴ Полезную историю программы можно найти в работе T S Gopi Rethinaraj, "ATV: All at Sea Before it Hits the Water," *Jane's Intelligence Review*, 1 June 1998, pp. 31-35.

¹⁵ Vivek Raghuvanshi, "Indian Navy Reaches Nuclear Power Milestone," *Defense News*, 5 November 2001. См. также Dinesh Kumar, "India Inching Towards Indigenously Built N-powered Submarines," *The Times of India*, 3 October 1998, и A. Gopalakrishnan, "Undermining Nuclear Safety," *Frontline*, 24 June 2000. В одном отчете утверждается, что эти испытания проводились с «уменьшенным реактором», но это не было подтверждено другими источниками. Даже если это было верно, все еще остается вероятным, что комплекс Раттехалли произвел достаточно обогащенного урана для того, чтобы изготовить всю активную зону.

¹⁶ Конечно, возможно, что необходимый обогащенный уран был произведен намного раньше. Но отчеты о том, что комплекс Раттехалли не работал хорошо, позволяют предположить, что необходимы обогащенный уран, скорее всего, был произведен только перед тем, как начались испытания реактора.

висит от нескольких факторов. К ним относятся номинальная мощность реактора, уровень обогащения, интервалы времени между перезагрузками активной зоны, степень выгорания (которая определяет долю начального U-235, которая потребляется перед перезагрузкой (преобразованием в U-236, а также делением)), конструкцией реактора (включая такие факторы, как геометрия топлива, использование выгорающих поглотителей, и т.д.), и характером использования (средним количеством эффективных дней с полной мощностью за год, или средней мощностью реактора за время его работы). Ни один из них не известен с определенностью, и имеются противоречивые сообщения о некоторых из этих величин (таких, как номинальная мощность реактора).

Можно установить нижний предел для требуемой подводкой мощности, оценив, что требуется для преодоления торможения при максимальной проектной скорости. Требования по мощности для преодоления торможения даются формулой:

$$P \approx 0.5 C_d \rho_w V^{2/3} u^3$$

где C_d – эффективный коэффициент торможения, ρ_w – плотность морской воды, которую мы положим равной $1,01 \text{ т/м}^3$, u – скорость подводной лодки, а V – объем подводки, также называемый водоизмещением. Мощность требуется также для других работ на подводке, но эти требования меньше, чем требования по преодолению торможения.

Для обтекаемой конструкции эффективный коэффициент торможения будет примерно равен 0,035. Но для менее эффективной конструкции он может быть примерно равен 0,035¹⁷. Поскольку это будет первый корпус подводки такого размера, который строит Индия, и из-за диаметра, который должен быть достаточно велик для размещения энергетического реактора, мы предполагаем, что коэффициент торможения будет иметь большее значение 0,035. Максимальная скорость ATV обычно принимается в 30-35 узлов, что хорошо соответствует максимальным скоростям, о которых сообщается для других ядерных подводок¹⁸. Мы выберем меньшее значение в 30 узлов (15 м/с)¹⁹.

Также имеются значительные разногласия по поводу объема водоизмещения и сообщаемые значения лежат в пределах от 1600 до 9400 тонн²⁰. Мы выберем значение в 5000 метрических тонн. Одной причиной для такого выбора является то, что многие из сообщаемых характеристик индийской подводки похожи на характеристики российских атомных подводок серии 670 (класса Чарли)²¹. Индия брала у России в аренду в 1988 – 1991 гг. подводку класса Чарли I²². Ее водоизмещение равнялось 5000 тонн²³.

Для коэффициента торможения 0,035, водоизмещения 5000 т, и максимальной скоро-

¹⁷ Thomas Ippolito Jr., "Effects of Variation of Uranium Enrichment on Nuclear Submarine Reactor Design," Ph.D. diss., Massachusetts Institute of Technology, 1990, p. 12.

¹⁸ Vivek Raghuvanshi, "Indian Navy Reaches Nuclear Power Milestone," Defense News, 5 November 2001, p. 18.

¹⁹ При такой скорости ATV потребуются около 36 часов до того, чтобы пройти от Тируванантапурама, вероятного места расположения индийского центра управления стратегическими ядерными силами, до порта Карачи и вероятного места морской блокады Индией в случае войны.

²⁰ Водоизмещение обычно дается в тоннах, соответствуя весу вытесненной воды. Поскольку плотность воды приблизительно равна 1 т/м^3 , водоизмещение примерно будет таким же и в кубических метрах.

²¹ Dmitry Litovkin, "Indian Nuclear Submarine Fleet Development Program: Russian Participation," YadernyKontrol (Nuclear Control) Digest, no. 10 (Spring 1999), pp. 46-50, p. 48. Индийский военный журнал утверждает, что "конструкция корпуса ATV основана на корпусе подводки класса Чарли, чертежи которого были получены из России, но Индия разработала для подводной лодки свой собственный реактор." <http://www.indiadefence.com/ATV.htm>, 25.03.2004).

²² Andrew Koch, "Nuclear-powered Submarines: India's Strategic Trump Card," Jane's Intelligence Review, 1 June 1998, pp. 29-31.

²³ Federation of American Scientists, Washington, D.C., Russia Soviet Nuclear Forces Guide, Project 670 Skat / Charlie I, Project 670M Skat-M/Charlie II, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/theater/670.htm> (25.03.2004).

сти 30 узлов требуемая энергетическая мощность на валу равна 25 460 л.с.²⁴ (1 л.с. = 0,746 кВт). Сравнение нескольких атомных подлодок показывает, что обычно их номинальная мощность на валу на 5 – 40% превышает требования по мощности для преодоления торможения²⁵. Предполагая значение в 20% для других требований по мощности, мы получаем общую мощность в 30 000 л.с. (22,4 МВт).

Номинальная тепловая мощность реактора должна быть больше из-за термодинамической эффективности и потерь в системе винта и трансмиссии. Предполагая общую эффективность преобразования в 20%, мы получаем требуемую мощность около 112 МВт. Минимальная номинальная мощность реактора среди значений, указанных в литературе, которая согласуется с требованиями, предъявляемые к перемещению подлодки, равна 150 МВт. Номинальная мощность аналогична мощности реакторов, применявшихся во французских атомных подлодках «Триумфатор». Тем не менее, это оценка существенно зависит от предположений, сделанных о различных величинах. Например, если коэффициент торможения равен только 0,025, то необходимая мощность реактора станет равна всего 80 МВт. Поэтому вполне возможно, что мощность реактора будет равна всего 90 МВт, одной из часто упоминаемых величин. Однако, кажется маловероятным, что сообщения о том, что мощность реактора равна всего 40-50 МВт, правильны.

Сейчас мы вернемся к вопросу о том, как много урана потребуется для активной зоны реактора подводной лодки для того, чтобы работать на этом уровне мощности. Поскольку это зависит от конструкции реактора, а конструкции военно-морских реакторов обычно остаются секретными, запас урана рассчитать не так просто. Более того, количество ежегодно потребляемого U-235 зависит от эксплуатационных процедур и патрульных задач, осуществляемых подлодкой. Для одной и той же номинальной мощности и времени между перезагрузками запас урана для подлодки, которая осуществляет более интенсивный график патрулирования, будет больше. Открытой информации по этому вопросу не имеется.

Однако, имеются некоторые оценки требований по урану. На основании исторических данных о закупках ВМС в США, а также подробностей о предложенной Франции активной зоне, раскрытых на слушаниях 1959 г. в Объединенном комитете по атомной энергии США, Фрэнк фон Хиппель, Дэвид Олбрайт, и Барбара Леви оценили, что требования подлодок США по U-235 составляют примерно 0,6 – 0,7 г/л.с.-год²⁶. Однако, США используют свои подлодки исключительным образом, которые обычно патрулируют весь мир. Их требования по урану поэтому выше того, чего можно ожидать от индийской подлодки.

Требования реакторов российских подлодок существенно меньше²⁷. Следовательно, их требования несколько меньше, чем в случае реакторов, упомянутых ранее. Реактор российской подлодки второго поколения (например, принадлежащей к классу Чарли) с номинальной мощностью 70 – 90 МВт обычно содержит в своей активной зоне около 315 кг урана, обогащенного до 20%, т.е., около 63 кг U-235²⁸. В другом источнике оценивается, что запас U-235 составляет примерно 70 кг U-235²⁹. Номинальная мощность для подлодок класса Чарли равняется 20 000

²⁴ Мера действительной механической энергии, переданная вращающемуся валу.

²⁵ Этот расчет базируется на числах из Chunyan Ma and Frank von Hippel, "Ending the Production of Highly Enriched Uranium for Naval Reactors," *The Nonproliferation Review* (Spring 2001), pp. 86-101, p. 91.

²⁶ Frank von Hippel, David H. Albright, and Barbara G. Levi, *Quantities of Fissile Materials in US and Soviet Nuclear Weapons Arsenals*, Princeton University/Center for Energy and Environmental Studies Report No. 168 (July 1986), pp II-2 - II-5. Следует подчеркнуть, что это оценка относится к способу использования подлодок США – количество эффективных дней на полной мощности за год.

²⁷ См., например, Pavel Podvig, ed., *Russian Strategic Nuclear Forces* (Cambridge, MA: The MIT Press, 2001), pp. 273-278.

²⁸ Oleg Bukharin, "Analysis of the Size and Quality of Uranium Inventories in Russia," *Science and Global Security* 6 (1996), pp. 59-77.

²⁹ Thomas Nilsen, Igor Kudrik, and Alexandr Nikitin, "The Russian Northern Fleet: Nuclear Powered Vessels," *Bellona Report* nr. 2:96 <http://www.spb.org.ru/bellona/e/guide/russia/theater/670.htm> (25.03.2004).

л.с.³⁰. Предполагая типичный срок службы активной зоны, требования по урану составляют 0,315-0,35 г/л.с.-год, что примерно вдвое меньше, чем в США.

Реакторы ледоколов и торговых судов Севморпути используют 150,7 кг U-235,³¹ и их номинальная мощность составляет 40 000 л.с.³². Поэтому им требуется 0,375 г/л.с.-год (в предположении 10-летнего срока службы активной зоны).

Мы предполагаем, что ATV потребуется около 0,3 г/л.с.-год U-235. Это примерно половина от потребностей в U-235 подлодок США, и несколько меньше, чем у российских подлодок. Сообщают, что проектный срок службы ATV равен 10 годам³³. Поэтому, начальной активной зоне ATV с мощностью 30 000 л.с. потребуется около 90 кг U-235.

Эта оценка включает много предположений и неопределенностей в данных. Изменяя некоторые из них, мы оцениваем, что активная зона ATV может содержать 40-160 кг U-235.

Табл. 1. Потребности в обогащении урана (в SWU).

Обогащение	Отвалы	SWU/кг	Кг U/кг U-235	SWU/кг U-235	Кг загрузки*/кг U-235
30	0,3	59,8	3,3	199,3	240,9
40	0,3	81,5	2,5	203,7	241,5
45	0,3	92,4	2,2	205,3	241,7
40	0,2	96,6	2,5	241,5	194,7
40	0,5	64,4	2,5	161	468

* Предлагается, что загрузка состоит из природного урана.

Требования по SWU и загрузке (природному урану) и количество урана, обогащенного до различных уровней, содержащего 1 кг U-235, приведены в табл. 1. Для заданной степени обогащения отвалов, требования по SWU на единицу массы не очень сильно зависят от уровня обогащения. Требования по SWU могут быть понижены при использовании большего уровня обогащения отвалов, но это существенно увеличит количество урана для загрузки. Мы поэтому предполагаем, что уровень обогащения отвалов составляет 0,3%, что означает примерно 200 SWU для производства 1 кг U-235. Таким образом, производство 90 кг для активной зоны подлодки потребует затраты 18 000 кг-SWU. Активная зона в 40 кг потребует 8 000 кг-SWU и активная зона в 160 кг потребует 32 000 кг-SWU.

Из сообщений прессы кажется, что завод с центрифугами начал производить значительные количества обогащенного урана в 1991 г. Поскольку сообщают, что испытания реактора начались около 2000 или 2001 г., можно предположить, что обогащенный уран, использованный в активной зоне, был готов к 1999 г. (принимая один год для изготовления топлива и сборки). Из этого следует примерно 8 лет производства, и поэтому средняя производительность обогащения составит 2250 кг-SWU. Однако, весьма вероятно, что производительность не была постоянной, и после того, как технология была отработана, было добавлено больше центрифуг, что увеличило производительность³⁴. Предполагая, что в 1991 г. производительность составляла 1500 SWU/год (среднее в интервале 1000 – 2000 SWU/год, упоминавшегося ранее), и что производительность увеличивалась линейно, то средняя производительность в 2250 SWU/год будет предполагать производительность в 3000 SWU/год в 1991 г. Это, следовательно, является оценкой производительности обогащения, требующегося для производства активной зоны для подлодки

³⁰ Federation of American Scientists, Washington, D.C., Russia Soviet Nuclear Forces Guide, Project 670 Skat / Charlie I, Project 670M Skat-M /Charlie II, <http://www.fas.org/nuke/guide/russia/theater/670.htm> (25.03.2004).

³¹ Morten Bremer Maerli et al., Criticality Considerations on Russian Ship Reactors and Spent Nuclear Fuel (Oslo: Norwegian Radiation Protection Authority, 1998).

³² Povl L. Olgaard, "The Potential Risks from Russian Nuclear Ships," доступно в сети Интернет по адресу <http://www.svanhovd.no/nrpa/nks/paperpovl.pdf> (25.03.2004).

³³ "Reactor for N-submarine by Next Year," The Hindu, 17 August 1999.

³⁴ Эти числа могут, конечно, быть несколько уменьшены, из-за отказов центрифуг из-за старения и по другим причинам, но можно ожидать, что производственная мощность центрифуг будет увеличена для учета этих потерь.

массой 90 кг. С верхней стороны, для активной зоны в 160 кг потребуется производительность обогащения в 6500 SWU/год. С нижней стороны, даже предполагаемой производительности 1991 г. в 1 500 SWU/год с запасом хватит для активной зоны в 40 кг. Следовательно, нижний предел для активной зоны реактора не дает реальных ограничений на производительность, и мы больше не будем рассматривать этот случай.

Дополнительный спрос на обогащенный уран может быть связан с испытаниями или изготовлением термоядерного оружия. В двухступенчатом термоядерном оружии обогащенный уран может быть использован в первичном компоненте, в «запальной свече», способствующей инициированию реакции синтеза, или в «толкателе», окружающем термоядерное топливо³⁵. Обогащенный уран может также использоваться для замены «бланкета», окружающего боеприпас, который обычно изготавливается из обедненного урана, для того, чтобы повысить мощность термоядерного оружия³⁶. Согласно одному сообщению, «современное термоядерное оружие может содержать только несколько десятков килограммов U-235»³⁷.

Правило, используемое в корпорации «U.S. Enrichment», агенте по продаже разбавленного урана оружейного качества (90% U-235), извлеченного из избыточного российского ядерного оружия, состоит в 25 кг на боеголовку³⁸. Однако, это значение может оказаться не применимым к индийской термоядерной конструкции. Основная часть обогащенного урана, используемого в термоядерном оружии России и США, вероятно, приходится на бланкет, для того, чтобы повысить мощность оружия, или на центральную часть, чтобы уменьшить ее объем.

Согласно официальному объявлению, последовавшему за испытаниями 1998 г., о том, что «мощность термоядерного устройства, испытанного 11 мая, выбиралась в соответствии со строгими критериями, такими, как удержание взрыва и минимальный возможный ущерб для зданий и строений в окружающих деревьях»³⁹. Если это так, то вероятно, что бланкет был изготовлен из инертного материала. В этом случае требования могут составлять всего лишь несколько килограммов, используемых в «запальной свече»⁴⁰. Мы можем предположить, что это значение равно 5 кг, и что для испытания, проведенного 11 мая 1998 г., было изготовлено около 10 кг U-235. Кроме количества, реально использованного во взорванном устройстве, это может также включать потери при обработке и материал, использованный для проведения лабораторных экспериментов. В этом сценарии завод Раттехалли к 1999 г. должен был произвести по крайней мере 100 кг U-235 для активной зоны подлодки и термоядерного устройства, испытанного в мае 1998 г. В зависимости от того, приняла ли Индия решение о создании арсенала термоядерного оружия, здесь может возникнуть, или не возникнуть, дополнительный спрос на обогащенный уран для оружия.

Наши оценки производственных мощностей по обогащению урана приведены в табл. 2. Наилучшая оценка текущих мощностей (2003 г.) по нашему анализу составляет 4500 SWU/г. При производительности по обогащению в 3750-9750 SWU/г предприятие может

³⁵ См., например, Chuck Hansen, *The Swords of Armageddon: US Nuclear Weapons Development since 1945*, CD-ROM, (Chuck Hansen, 1995), p. 1-94.

³⁶ Robert Alvarez and Debra Sherman, "U.S. to Resume Uranium Production for Weapons," *Bulletin of the Atomic Scientists* (April 1985), pp. 28-30, p. 29.

³⁷ Chuck Hansen, *The Swords of Armageddon: US Nuclear Weapons Development since 1945*, CR-ROM, (Chuck Hansen, 1995), p. 1-94. Запальная свеча представляет собой массу делящегося материала в центре топлива для синтеза. Когда топливо для синтеза сжимается ударной волной, масса делящегося вещества сжимается до критических размеров, устанавливаемого цепной реакцией, которая увеличивает мощность и производит дополнительные нейтроны, которые могут вызвать поджог вторичного компонента.

³⁸ USEC, Inc., *US-Russian Megatons To Megawatts Program, Recycling Nuclear Warheads into Electricity*, <http://www.usec.com/v200102/HTML/MegatonsFAQ.asp> (25.03.2004).

³⁹ "Joint Statement by Department of Atomic Energy and Defence Research and Development Organisation," New Delhi, 17 May 1998. Доступно в сети Интернет: <http://www.indianembassy.org/pic/PR1998/May98/prmay1798.htm> (25.03.2004).

⁴⁰ Это, предположительно, увеличивает шансы поджога вторичного компонента, что было вероятной целью первого термоядерного испытания.

производить около 20 – 50 кг урана оружейного качества (90% обогащения).

Табл. 2. Оценки производственных мощностей по обогащению.

Требования	Средняя производительность по обогащению (1991-1999 г.г.)	Производительность по обогащению в 1999 г.*	Текущая производительность по обогащению (2003 г.)*
Активная зона подлодки (90 кг U-235)	2 250 SWU/г	3 000 SWU/г	3 750 SWU/г
Активная зона подлодки (160 кг U-235)	4 000 SWU/г	6 500 SWU/г	9 000 SWU/г
Активная зона подлодки (90 кг U-235) и термоядерное испытание 1998 г. (10 кг)	2 500 SWU/г	3 500 SWU/г	4 500 SWU/г
Активная зона подлодки (160 кг U-235) и термоядерное испытание 1998 г. (10 кг)	4 250 SWU/г	7 000 SWU/г	9 750 SWU/г

* В предположении линейно увеличивающейся производительности.

Дополнительный спрос на обогащенный уран может возникнуть из-за индийской программы ядерной энергетики. Однако, пока нет указаний на то, что Индия намеревается питать любой из своих легководных реакторов собственным обогащенным ураном. Это следует также из приведенных выше оценок производительности. Предприятие с производительностью 3750 – 9750 SWU/г может произвести от 0,94 до 2,45 тонн урана, обогащенного до 3,3%. Это следует сравнить с начальной загрузкой активной зоны в 66 т⁴¹ для реакторов ВВЭР-1000, которые Индия импортирует из России. Следовательно, в оцениваемом диапазоне текущей производительности, Индии потребуются десятки лет, чтобы обогатить уран, достаточный для загрузки хотя бы одной активной зоны.

Можно сравнить эти оценки производительности обогащения и производства урана оружейного качества с тем, что уже известно. Обычно считают, что возможности Индии по обогащению меньше, чем у Пакистана. Поскольку производительность Пакистана по обогащению оценивается в 9000-15000 SWU/г⁴², наши оценки согласуются с таким предположением. Наши оценки по производству ВОУ больше, чем производительность «менее 10 кг в год», оцененная аналитиком РЭНД Грегори Джонсом⁴³, но совпадает с 28 кг/г, цитируемой другими источниками⁴⁴.

Эта оценка производственных мощностей по обогащению также имеет отношение к размерам флота подлодок, который они могут поддерживать. При 200 SWU/кг U-235 и 90 кг U-235 на активную зону, предприятие мощностью 4500 SWU/г может произвести одну активную зону примерно за четыре года. Эксперты по ядерной стратегии полагают, что Индии требуется флот из трех-пяти подлодок⁴⁵. Поскольку каждая подлодка потребует одну новую активную зону в 10 лет, оцениваемая текущая производительность может оказаться недостаточной для производства обогащенного урана для флота из трех подлодок. Но поскольку производительность обогащения может быть увеличена, это не следует считать большим препятствием.

⁴¹ Nuclear Engineering International, World Nuclear Industry Handbook (Sutton, England: Business Press International, 1998), p. 60.

⁴² David Albright, Frans Berkhout, and William Walker, Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996: World Inventories, Capabilities and Policies (Oxford: Oxford University, 1997), p. 275.

⁴³ Gregory Jones, "From Testing to Deploying Nuclear Forces," RAND Report IP-192 (2000); доступно в Интернете: <http://www.rand.org/publications/IP/IP192/> (25.03.2004).

⁴⁴ См. Nicholas, Berry, Building the Indian Bomb, Center for Defense Information, Washington, D.C., <http://www.cdi.org/ISSUES/TESTING/inbombfct.html> (25.03.2004).

⁴⁵ См. обсуждение на стр. 380-381 в С. Rammanohar Reddy, "Nuclear Weapons Versus Schools for Children: An Estimate of the Cost of the Indian Nuclear Weapons Programme," in M. V. Ramana and C. Rammanohar Reddy, eds., Prisoners of the Nuclear Dream (New Delhi: Orient Longman, 2003), pp. 360-408.

Подробности деятельности по обогащению урана в Индии держатся под большим секретом, даже большим, чем другие направления ядерной деятельности⁴⁶. Поэтому мы делали эти оценки прозрачным способом, явно указывая на методологию и предположения. Это дает возможность корректировки этих данных, если будут получены лучшие данные.

⁴⁶ Например, комплекс Раттехалли не был включен в перечень ядерных площадок, которым обменялись правительства Индии и Пакистана в качестве меры построения доверия. Mark Hibbs, "India and Pakistan Fail to Include New Swu Plants on Exchanged Lists," Nuclear Fuel, 30 March 1992, p. 6.