

РАЗРАБОТКА БЫСТРОГО РЕАКТОРА И ЕГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА В ЯПОНИИ. СМОЖЕТ ЛИ ЯПОНИЯ РАСЧИСТИТЬ ЭТОТ ПУТЬ?

Тацуджиро Сузуки

В статье приводятся история, современное состояние и возможное будущее быстрого реактора (иначе называемого реактором-размножителем на быстрых нейтронах – РРБН) и связанной с ним разработкой топливного цикла в Японии. РРБН и замкнутый топливный цикл были основными пунктами японской программы разработки ядерной энергии, начиная с 50-х годов прошлого века. По экономическим, технологическим и политическим причинам разработка и осуществление в Японии этих технологий значительно задержались. Бюджет на разработку РРБН постоянно снижался с середины 90-х годов, а цель придания ему образа коммерческого предприятия сместилась с 80-х годов на 50-е годы 21-го века. Авария на “Монжу” (прототипе реактора) вызвала задержки и привела к фундаментальному отказу от НИР и от попыток коммерциализации ради опоры на продвинутые топливные циклы.

Тем не менее, Япония все еще занимается РРБН. Эта статья исследует мотивы продолжающегося увлечения программой РРБН и приходит к выводу, что некоторые нетехнологические факторы, например, бюрократическая инерция, обязательства перед местной общественностью и отсутствие контроля над НИР, внесли свой вклад в эту укоренившуюся позицию. Япония сейчас реорганизует свои программы НИР с целью запуска демонстрационного РРБН примерно к 2025 году. Эта попытка служит реакцией на поддерживаемые правительством “Национальный план ядерной энергии” и Глобальное партнерство по ядерной энергии с администрацией Буша. Программы РРБН встречаются со значительными препятствиями, например, обращение с запасами плутония, обращение с отработанным топливом, технологии топливного цикла и организация разделения затрат и риска между правительством, промышленностью и местными властями. В результате, непохоже, что разработка программы РРБН и топливного цикла будут развиваться как планировалось.

Автор работает в Аспирантуре по общественной политике, Токийский университет, Токио, Япония.

Статья получена 2 апреля 2009 года, принята к публикации 9 апреля 2009 года.

Почтовый адрес для корреспонденций: Tatsujiro Suzuki, Graduate School of Public Policy, The University of Tokyo 7-3-1, Bunkyo, 113-0033, Tokyo.

Электронный адрес: tatsu@pp,u-tokyo.ac.jp

ОБЗОР ПРОГРАММ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Происхождение и общие черты программ

Японская программа РРБН была начата в рамках первого Долгосрочного плана японской комиссии по атомной энергии (ЯКАЭ), опубликованного в 1956 году¹. Из различных рассмотренных типов реакторов ЯКАЭ отобрала РРБН и его замкнутый топливный цикл² как предпочитаемые технологии для НИР и поддержала импорт технологии легководных реакторов на медленных нейтронах из США.

Долгосрочный план ЯКАЭ 1967 года пришел к выводу, что РРБН должен стать основным направлением будущего производства ядерной энергии³, а правительство установило, что Корпорация силового реактора и разработки ядерного топлива (СЯК) станет основной организацией по НИР для разработки РРБН и цикла ядерного топлива. План наметил, что экспериментальный РРБН будет разработан в течение 70-х годов, прототип РРБН “Монжу” – в 80-х годах, а первый коммерческий РРБН – в конце 80-х годов.

Первым японским РРБН стал экспериментальный “Джойо” (“Вечное солнце”), созданный в инженерном Центре Оараи Института по разработке японского топливного цикла. Джойо достиг критичности в 1977 году при начальном уровне мощности 50 МВт. Мощность возрос-

ла до 75 МВт в 1979 году и до 100 МВт с сердечником Марк II, который достигнул критичности в 1982 году. С 1983 по 2000 год Джойо работал как испытательный центр по облучению материалов для будущих японских реакторов на быстрых нейтронах. С 2003 года Джойо работал на мощности 140 МВт вместе с сердечником Марк III и в апреле 2007 года он завершил свой шестой рабочий цикл. На 12 марта 2007 года Джойо проработал 70000 часов. За 30 лет от 1977 года до 2007 года Джойо работал примерно 40% времени.

Прототип РРБН Монжу (280 МВт) разрабатывался параллельно с Джойо, но сооружение затянулось и он не достигнул критичности до 1994 года. 8 декабря 1995 года Монжу столкнулся с серьезной утечкой натрия и пожаром, когда интенсивные вибрации привели к поломке термопары, расположенной на вторичном контуре натрия. Натрий прореагировал с кислородом, что привело к пожару, который размягчил стальную структуру в зале. Не сообщалась ни о каком ущербе, поскольку натрий во вторичном контуре не был радиоактивным.

Попытки СЯК скрыть этот инцидент вызвали общественные и политические волнения, задержавшие ремонт и повторный запуск Монжу. В июне 2001 года СЯК запросила повторную лицензию для Монжу, которая была одобрена в декабре 2002 года. Но юридические придирки к СЯК по поводу подтверждения лицензии и нового запуска реактора привели к дальнейшим задержкам. Суд в Нагойе 27 января 2003 года подтвердил разрешение на постройку реактора, принятое в 1983 году. Только спустя два года, 30 мая 2005 года Верховный Суд Японии принял решение в пользу СЯК, сняв тем самым все юридические барьеры для повторного запуска Монжу. Этот запуск был намечен на октябрь 2008 года, но в марте 2009 года реактор еще не был запущен.

Японская компания по атомной энергии составила план запуска демонстрационного РРБН на 660 МВт в 1994 году. Проект был задержан в связи с аварией на Монжу, а затем его отменили в конце 90-х годов.

НИР на переработку топлива от РРБН, начатые в середине 70-х годов, и переработка топлива от Джойо проводились на первой экспериментальной установке для химической обработки (УХО) с 1982 года. С учетом опыта, накопленного на УХО, СЯК начала сооружение испытательной установки с восстановительной аппаратурой (ИУВА) в 1995 году, которая стала первой перерабатывающей установкой опытного масштаба для отработанного топлива РРБН и аналогом опытного завода переработки отработанного топлива от водяных реакторов в Токаи. Завод в Токаи использовал импортную французскую технологию, а ИУВА стремится воспользоваться японской технологией, которая в настоящее время разрабатывается по совместной программе с Окриджской национальной лабораторией (США). Первая фаза сооружения была завершена в 2000 году, но намеченная по графику дата сооружения пока неизвестна.

Уменьшающиеся бюджеты и отодвигающиеся цели

В то время, как японское публичное обязательство по РРБН и замкнутому топливному циклу непоколебимо, бюджет на НИР по РРБН устойчиво уменьшался. Доля программы РРБН в полных расходах на ядерные НИР достигла максимума в 35 % в начале 70-х годов во время сооружения Джойо. В 1989 году эта доля упала до 20 % (77 миллиардов иен) во время пика расходов по сооружению Монжу. После 1989 года как бюджет по РРБН, так и его доля во всем японском бюджете на ядерные НИР постоянно падали и к 2005 году они упали до 5 % (27 миллиардов иен) полного бюджета. Полные расходы на НИР по РРБН с 1956 года по 2007 год составили 1480 миллиардов иен, что составляет 12 % от полных расходов. На Рис.1 представлены бюджетные тенденции для всех НИР по ядерной энергии и по РРБН.

Согласно Долгосрочному плану ЯКАЭ дата начала коммерциализации РРБН также сдвинулась. В 1956 году это план предусматривал коммерциализацию в 70-х годах. В 1967 году (именно тогда была создана СЯК) коммерциализация РРБН была отодвинута на 80-е годы, а СЯК решила, что нужен продвинутый реактор на тепловых нейтронах (РТН) в качестве промежуточного между легководным реактором и РРБН. В 1987 году ЯКАЭ подтвердила, что легководные реакторы остаются основными источниками получения энергии на обозримое будущее, а задача коммерциализации РРБН снова отодвигается (на этот раз на 2020-2030-е годы). Наиболее последняя директива ЯКАЭ по ядерной политике⁶, заменяющая Долгосрочный план, пересматривает задачи коммерциализации РРБН примерно на 2050-е годы, что примерно на 70 лет позднее, чем начальные сроки, установленные в 1956

году.

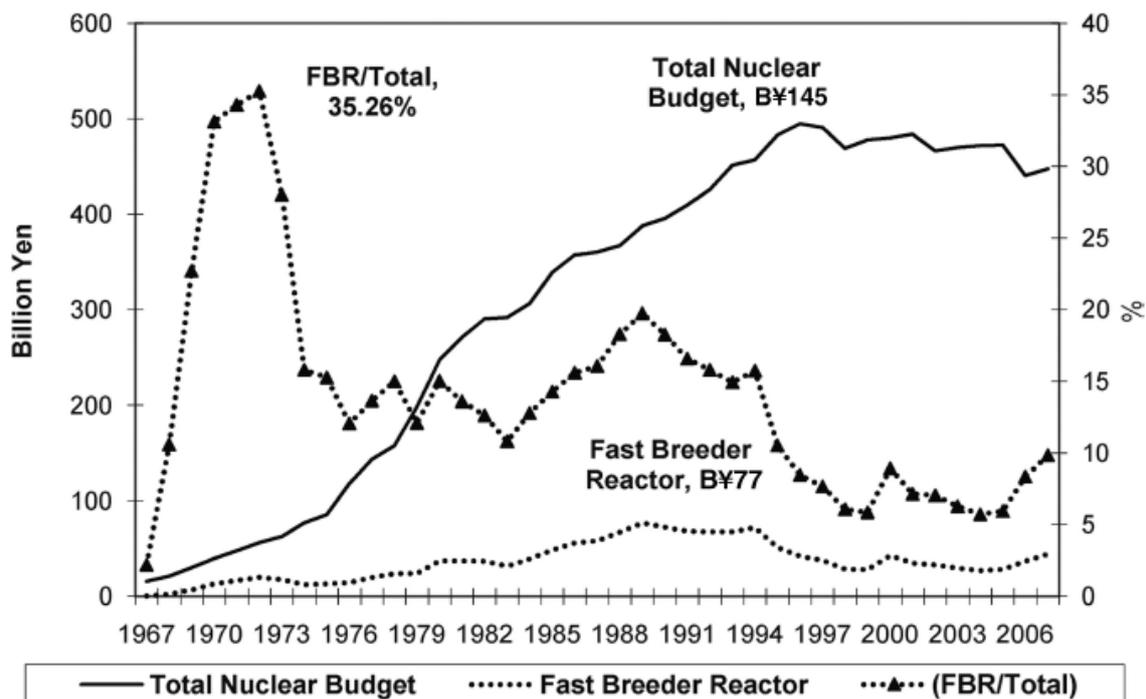


Рисунок 1: Тенденции изменения ядерного бюджета Японии и бюджета на РРБН (а также его доли) в период между 1987 и 2006 годами. По оси X отложены годы, по оси Y (слева) – расходы в миллиардах иен, по оси Y (справа) – доля (в %) расходов на РРБН к общим расходам на ядерный бюджет. Сплошная линия – полный ядерный бюджет (приведенная цифра 145 миллиардов иен не соответствует действительности – примечание переводчика). Точечная линия – бюджет на РРБН с максимумом 77 миллиардов иен. Точечная линия с треугольниками – доля бюджета на РРБН в полном ядерном бюджете с максимальным значением 35.5 %.

СДВИГИ ПРИОРИТЕТОВ ПОСЛЕ АВАРИИ НА МОНЖУ

Несчастный случай на Монжу привел к значительному сдвигу в японской программе РРБН. После аварии ЯКАЭ создала “Комитет Круглого стола по РРБН” для выработки новой политики. Профессор Нишизава из университета Тохоку, который не был экспертом по РРБН, возглавил Комитет. В Комитет также вошли эксперты, не входившие в ядерное сообщество, включая Юкио Окамото (бывший сотрудник министерства иностранных дел), профессор Савако Такеучи – экономист и профессор Хитоши Йошиока из университета Кюшу – критик ядерной программы. Хотя комитет одобрил продолжение разработки РРБН, он рекомендовал более реалистичный и гибкий подход к разработке РРБН, продекларировав, что РРБН следует рассматривать в качестве обещающего варианта (а не окончательной задачи), и предложил проводить “периодические обзоры НИР программы с точки зрения технической и экономической осуществимости”⁵ Комитет также подтвердил более развернутую программу НИР, чтобы воспользоваться техническими альтернативами для существующих технологий РРБН.

Вслед за этим докладом Долгосрочный план ЯКАЭ, опубликованный в 2000 году, установил задачу “достижения технологического варианта РРБН и связанного с ним топливного цикла..... для подготовки к будущим проблемам энергии” и рекомендовал программы изучения “различных альтернатив разрабатываемым в настоящее время РРБН с натриевым охлаждением и влажной технологии переработки (PUREX)”⁶.

Таблица 1: История планов коммерциализации японского РРБН.

Год рассмотрения	Ожидаемое завершение	Комментарии
1956	1970	Основной источник энергии
1967	1980	Требуется продвинутый реактор на тепловых нейтронах, как временное решение.
1987	2020 - 2030	Легководный реактор выбран в качестве основного источника энергии на обозримое будущее.
2000	2030 или позже	РРБН может быть одним из будущих вариантов.
2006	2050 или позже	

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Долгосрочный план на 2005 год были переименован в Директиву по политике ядерной энергии⁷ и она установила новые сроки для коммерциализации РРБН – теперь 2050 год. В 2006 году Подкомитет по политике ядерной энергии правительственного совещательного энергетического Совета опубликовал Национальный план по ядерной энергии⁸. В этом плане изложены детальные политические меры, основанные на директиве ЯКАЭ (Таблица 1). Национальный план по ядерной энергии подтвердил сроки коммерциализации в 2050-х годах и объявил о плане разработки демонстрационного РРБН (нового варианта Монжу) к 2025 году. Связанная с этими планами фаза II – “Изучение коммерческой осуществимости систем с циклом РРБН” сравнивала различные типы конструкций быстрых реакторов и связанных с ними технологиями топливного цикла и предварительно определила в качестве предпочитаемого варианта реактор на быстрых нейтронах, охлаждаемый жидким натрием в сочетании с продвинутой влажной технологией переработки.

В этом изучении были рассмотрены четыре основные конструкции реактора на быстрых нейтронах: охлаждаемый натрием с металлическим топливом (электрическая мощность 1.5 ГВт), охлаждаемый гелием с топливом в виде нитрида металла (электрическая мощность 1.5 ГВт), охлаждаемый сплавом свинца и висмута с нитридным топливом (электрическая мощность 0.75 ГВт) и охлаждаемый водой реактор с МОХ-топливом (смесь оксидов урана и плутония) на электрическую мощность 1.356 ГВт. Затраты на единицу сооружения оцениваются, по меньшей мере, в 180 тысяч иен./кВт--э для РРБН с охлаждением натрием, а для других конструкций – 200 тысяч иен/кВт-э.

Оценивалось четыре основных варианта продвинутых переработки и технологии топлива: 1) Продвинутой влажной переработки и упрощенное МОХ-топливо в таблетках; 2) Переработка металла с электро-очисткой и инъекция металлического топлива; 3) Продвинутой влажной переработки и вибрационная упаковка МОХ-топлива; 4) Переработка оксида в сочетании с электро-очисткой и вибрационной упаковкой МОХ-топлива. Наиболее экономичный вариант с продвинутой влажной переработкой и упрощенным МОХ-топливом в таблетках представляет из себя большой (200 тонн/год) завод ((.5-0.66 иены на кВт-час) с альтернативными добавками, повышающими затраты до 1.6 иены/кВт-час. Эти оценки представляют собой конечные результаты разработки, которые необходимы, чтобы РРБН могли конкурировать в легководными реакторами на медленных нейтронах.

Национальный план по ядерной энергии установил также важные принципы для будущей разработки РРБН и систем топливного цикла. Во-первых, установлен принцип разделения затрат для проекта демонстрационного РРБН, чтобы распределить расходы между общественными компаниями и правительством. Подчеркнуто, что частный сектор будет инвестировать средства, почти эквивалентные стоимости коммерческого легководного реактора, что значительно снижает финансовый риск для общественных компаний¹⁰.

Другой важный принцип Национального плана по ядерной энергии состоит в том, чтобы сроки создания второго коммерческого завода по переработке ((создаваемого после завода в Роккашо) соответствовали срокам разработки и изготовления РРБН, а также его размещения. Это предполагает, что планирование второго перерабатывающего завода начнется примерно в 2010 году.

В 2007 году правительство увеличило бюджет на НИР для РРБН впервые с конца 90-х годов до 44 миллиардов иен. Это выглядит как реакция на приведенные новые программы и

принципы. Сейчас 44 миллиарда иен составляют примерно 10 % всего ядерного бюджета.

Частично такое возрастание бюджета связано с международными разработками, особенно в связи с объявлением о Глобальном сотрудничестве по ядерной энергии с США. Впрочем, для японской программы НИР нет никаких особых бюджетных пунктов у этого глобального сотрудничества.

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, СТОЯЩИЕ ЗА ЯПОНСКИМ УКРЕПЛЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ

Несмотря на заметное увеличение сроков ожидания коммерциализации РРБН, почему остаются в силе японские обязательства по РРБН, по крайней мере. публично? Имеются три возможных объяснения.

Организационные обязательства

В 1967 году специальный закон установил создание СЯК с целью разработать свой РРБН и связанные с ним технологии топлива. Эта цель не изменилась после аварии на Монжу в 1995 году, когда СЯК переименовали в японский институт по разработке цикла ядерного топлива, который затем слился с японским исследовательским институтом по атомной энергии, а национальная исследовательская организация, ответственная за фундаментальные ядерные технологии (включая термоядерные), и исследования по ядерной безопасности, стала японским Агентством по атомной энергии (ЯААЭ). ЯААЭ было создано с продолженной задачей разработки РРБН и технологий топливного цикла. С таким законным обязательством перед программами цикла РРБН может оказаться нелегким для Японии изменить свой график ядерных исследований.

Местная политика

Местная политика по отношению к ядерным установкам сложна и подвержена влияниям со стороны. Правительственные финансовые стимулирования вознаграждают местные власти за принятие установок, относящихся к атомной энергии, и играют важную роль в местной политике. Как только местные власти принимают ядерную установку, они получают ежегодную плату (миллионы иен) от правительства. Такие стимулирования и скидки с налогов от ядерных установок являются важным компонентом для местных бюджетов. Несмотря на сильное возмущение по поводу скрытия последствий аварии Монжу, у местных властей существует значительное стремление к возобновлению его работы.

Другой фактор, работающий в пользу РРБН и политики топливного цикла, - это трудности с поиском места для хранения отработанного топлива. Поскольку имевшиеся бассейны для хранения уже заполнены, единственной альтернативой остается переработка. Основания для переработки становятся более убедительными, если они устилают дорогу к коммерциализации РРБН.

Отсутствие надзора

Японская Комиссия по атомной энергии является основным правительственным учреждением, имеющим право проводить обзоры и принимать решения по японским НИР для ядерных программ. Хотя эта Комиссия может посоветовать организациям, проводящим НИР, пересмотреть свои задачи и графики работы, она обычно поддерживает их планы НИР.

В 2001 году согласно основному Закону о науке и технике был создан Совет по научной и технической политике (СНТП) в составе реформированного Управления при Премьер-министре и под его руководством. Его основной функцией служит просмотр планов НИР, представленных правительственными агентствами. Он присваивает крупным ¹¹ программам НИР оценки, начиная с S (наиболее важная), и далее A, B, C (самая неважная). Это сделано для того, чтобы усилить возможности премьер-министра преодолевать бюджет НИР агентства в соответствии с законными интересами. Проект Монжу получил оценку "S", а программа коммерциализации РРБН¹¹ оценку "A". Поэтому нет никаких указаний на то, что

СНТП будет пересматривать планы развития Монжу и программу коммерциализации.

БУДУЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ

Хотя Национальный план по ядерной энергии установил задачи завершения демонстрационного РРБН к 2025 году и коммерциализации к 2050 году, существуют препятствия, способные скомпрометировать эти планы.

Одно из них – это управление запасами плутония. Япония имеет более 40 тонн плутония (8.7 тонн в Японии и 37 тонн в Европе) разделенного плутония на хранении, но ее программа обновления МОХ-топлива не продемонстрировала много прогресса. Когда переработочный завод в Роккашо (800 тонн тяжелого металла в год) начал работать на полную мощность, запасы, похоже, выросли. Поскольку сокращение запаса плутония является основным приоритетом для Японии, “размножение” вряд ли станет важной политической задачей для японской программы ядерной энергии.

Второе препятствие имеет отношение к управлению отработанным топливом и его воздействием на технологию топливного цикла. Япония рассматривала различные варианты переработки и создания МОХ-топлива, включая технологию пирообработки, разработанную в США, для металлического топлива РРБН. Исторически, именно управление отработанным топливом, а не требования плутония, руководило японскими потребностями в переработке. Если сохранится такое отношение, похоже, что Япония построит второй завод, используя влажную технологию для переработки отработанного топлива на основе оксида урана. До настоящего времени японские НИР по технологии переработки были сфокусированы на классическом процессе PUREX. Если Япония пойдет по пути восстановления МОХ-топлива, отработанное МОХ-топливо начнет накапливаться и Япония может захотеть переработать это топливо. Технический выбор для второго завода по переработке окажется сложным политическим вопросом.

Третьим препятствием станут вопросы цены и риска, которые разделяются между держателями акций. Вообще говоря, неясно, сколько будут стоить программы топлива для РРБН, и кто будет это оплачивать. Национальный план по ядерной энергии предполагает организацию деления затрат на РРБН, но дальнейшее деление затрат остается неопределенным. Между тем, одна из задач, поставленных Министерством экономики, торговли и индустрии, - программа водяных реакторов следующего поколения должна продлить сроки жизни реакторов до 60-80 лет. Если эта цель будет достигнута, необходимость в РРБН может не материализоваться даже после 2050 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Япония остается официально связанной с РРБН и системами замкнутого топливного цикла. Однако сроки коммерциализации РРБН уходят далеко в будущее, а бюджет на НИР для РРБН устойчиво сокращается. Продолжение японского обязательства в отношении РРБН, как представляется, обусловлено социально-политическими факторами, влияющими на управление Японией завершающей части топливного цикла водяных реакторов и на руководство НИРами. Новый Национальный план ядерной энергии восстановил заинтересованность Японии в РРБН и продвинутых программах топливного цикла, что частично связано с развитием международных связей, в частности, с американской инициативой Глобального партнерства, которая, похоже, потеряет поддержку в администрации Обамы.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Japan Atomic Energy Commission (JAEC), “Long Term Plan for Research, Development and Utilization of Nuclear Energy,” 1956, на японском языке.
2. В “замкнутом” топливном цикле материалы - участники цепной реакции, например, плутоний, выделяются из отработанного топлива и перерабатываются для повторного использования.
3. JAEC, “Long Term Plan for Research, Development and Utilization of Nuclear Energy,” 1967, на японском языке.
4. JAEC, “Framework for Nuclear Energy Policy.” October 11, 2006.

5. Report by the JAEC Roundtable Committee on Fast Breeder Reactor, "Basic Policy towards Development of FBR," December 1, 1997.
6. JAEC, "Long Term Plan for Research, Development, and Utilization of Nuclear Energy," 2000.
7. JAEC, "Framework for Nuclear Energy Policy", October 11, 2006. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/taikou/kettel/eng.ver.pdf>
8. Ministry of Economy, Trade and Industry, Advisory Committee on Energy, Committee on Electricity Industry, Sub-committee on Nuclear Energy Policy, "Nuclear Power Nation Plan," August 2006. <http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g60823a01j.pdf> (на японском языке).
9. "Влажная" переработка относится к вариантам процесса PUREX с азотной кислотой, первоначально разработанного в США, чтобы вернуть плутоний для своего ядерного оружия. Пиропроект – это пример "сухого", то есть, безводного процесса, где отработанное топливо растворяется в расплавленной соли, оксиды тяжелого металла восстанавливаются до металла при реагировании с литием, а затем выпавшие в осадок тяжелые металлы очищаются электролизом, и далее трансураны отделяются от урана.
10. Это отражает опыт Монжу. Стоимость постройки Монжу выросла от начальных 400 миллиардов иен до 590 миллиардов иен. Доля коммунальных служб, сначала была установлена на уровне 15 % от полной цены (примерно 60 миллиардов иен). В конце концов, службы согласились заплатить 100 миллиардов иен, что эквивалентно стоимости постройки легководного реактора (в расчете на кВт). Смотрите Eugene Skolnikoff et al., "International Responses to Japan's Plutonium Programs," MIT Working Paper, 1995, p.4.
11. Эта программа проводилась с 1997 года до 2006 года, изучая разные типы быстрых реакторов и технологий топливного цикла, чтобы отобрать технологии быстрых реакторов, жизнеспособные с коммерческой точки зрения. <http://www.jaea.go.jp/04/fbr/top.html>.