

## ВОЗМОЖНОСТИ РЫНКА ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА

*Джеффри Ротвелл*

Четыре фирмы доминируют на международном рынке обогащения урана. В то же время государства, владеющие обогатительными установками, сильно разубеждают другие страны от разработки обогатительной способности с учетом возможного использования ее для создания ядерного оружия. Поэтому эти четыре фирмы получают выгоды от проявления национального могущества для того, чтобы предотвратить расширение рынка. В этой статье показано, что такие фирмы получают также выгоду от увеличения нормы прибыли относительно объема производства. В аналогичных ситуациях внутри страны такая промышленность регулировалась бы или же была национализирована. Это связано с тем, что рынки не обязательно приводят к социально оптимальному долгосрочному равновесию, где промышленность *обязательно сконцентрируется*, так что не будет места для расширения, но с другой стороны, *станет достаточно разнообразной*, так что ни одна национальная группа не сможет диктовать цены, заключать контракты или проводить политику нерасширения рынка. Поэтому могут потребоваться некоторые формы международного регулирования, чтобы не допустить распространения технологии обогащения и обеспечить поставку обогащения по разумным ценам.

Автор работает в отделении экономики Стэнфордского университета, Стэнфорд, США.

Статья получена редакцией 24 декабря 2008 года и принята к публикации 29 июня 2009 года.

Эта статья основана на более ранних работах с Хаимом Брауном, которые финансировались по контракту с Национальной лабораторией Айдахо (НЛА) и были представлены на "Совещании по приданию международного характера установкам по обогащению урана", организованном в Массачусеттском технологическом институте 20-21 октября 2008 года и финансируемым Фондом наследия. Текущая версия получила поддержку Министерства энергетики США: контракт DE-FC07-03ID14448. Автор благодарит Дж. Брауна, М. Банна, Б. Кабрера-Пальмера, Г. Фейвесона, С. Феттера, С. Форсберга, Дж. Гудби, М. Гудмана, Р. Грейбера, Т. Айзекса, Р.С. Кемпа, Х. Халила, Д. Корна, М. Кратцера, П. Питерсона, Дж. Филлипса, Б. Рэйзина, Г. Шульца, Г. Сокольски, С. Сквассони, Р. Верслуса, Ф. фон Хиппеля, Е. Уоррена, К. Уильямса, Т. Вуда, анонимных рецензентов и членов Рабочей группы по экономическому моделированию Международного Форума четвертого поколения за их поддержку, ссылки, даты и комментарии. В статье отражены взгляды и выводы автора, но не сотрудников НЛА, Министерства энергетики, Рабочей группы по экономическому моделированию и Форума четвертого поколения или издателя.

Почтовый адрес для корреспонденций: Geoffrey Rothwell, Department of Economics, Stanford University, California, USA.

Электронный адрес: [rothwell@stanford.edu](mailto:rothwell@stanford.edu)

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЫНОК ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА

В дебатах о том, как гарантировать ядерное топливо (которое страны рассматривают для постройки станций ядерной энергии, но этим странам не приходится рассматривать сооружение предприятий по обогащению урана), мало обсуждается, способны ли свободные (нерегулируемые) рынки обеспечить гарантии доступности обогатительных возможностей для всех покупателей по *разумным ценам*.

Существуют, по крайней мере, четыре рынка на начальном этапе ядерного топливного цикла, которые следует рассмотреть для определения гарантированного снабжения: (1) добыча урановой руды и ее обработка, (2) переработка урана, (3) обогащение урана, и (4) изготовление ядерного топлива. Ротвелл находит, что производство ядерного топлива из низкообогащенного урана для топливных стержней реактора на легкой воде является конкурирующей промышленностью с препятствиями для вступления в нее, что отбивает охоту инвестировать производство топлива у стран с мало развитой ядерной индустрией<sup>1</sup>.

В последующих статьях будет изучено соперничество при добыче и обработке урановой руды<sup>2</sup>, а также в переработке урана. Данная статья изучает, могут ли рыночные силы на рынке обогащения урана привести как к экономической эффективности, так и к социально оптимальным уровням гарантирования альтернативных источников поставок с учетом риска расширения технологий обогащения. Сейчас на международном рынке обогащения урана доминируют четыре фирмы: Обоганительная корпорация США (USEC), которая была приватизирована в 90-х годах, TENEX/Росатом (Россия), Eurodif/Areva (Франция) и Urenco (с принадлежащими правительствам заводами в Германии, Голландии и США). До 80-х годов США (через Комиссию по атомной энергии) монополизировали западный рынок обогащения на основе газовой диффузии, а Россия монополизировала восточный рынок. Коммерческое доминирование США в области газовой диффузии закончилось с вводом Eurodif – консорциумом стран, возглавляемым Францией, которая является поставщиком диффузионной технологии и единственным производителем. Но, начиная с 80-х годов, фирмы, применявшие технологию газовых центрифуг, включая Россию и британско-голландско-немецкую Urenco, захватили растущую долю рынка. Доля USEC в обоганительной возможности уменьшилась от 39% в 1995 году до 14% в 2008 году, так как устаревшие диффузионные установки в Окридже (Теннесси) и Портсмуте (Огайо) были закрыты.

**Таблица 1:** Доли загрузки международного рынка обогащения, 1995-2008 годы

Страна	Фирма	Доля 1995	Доля 2001	Доля 2005	Доля 2008	Евро 2008
ИХХ		2900	2800	2900	3000	3600
США	USEC	39%	23%	16%	14%	14%
Россия	Tenex	29%	41%	45%	47%	47%
Франция	Areva	22%	22%	22%	20%	35%
Европа	Urenco	7%	11%	14%	15%	
Япония	JNFL	2%	2%	2%	2%	2%
Китай	CNNC	1%	2%	2%	1%	1%

В Табл. 1 показаны изменения долей загрузки за последнее десятилетие. (Не все эти загрузки непосредственно обслуживают рынок топлива, что обсуждается в следующем разделе; например, Россия использует излишние возможности, чтобы слегка обогатить уран, смешивая его с разведенным ураном оружейного качества.)

Индекс Херфиндала-Хиршмана (ИХХ, или НИИ) измеряет степень концентрации промышленности. Он является суммой квадратов процентной доли рынка промышленности. ИХХ занимает диапазон от 100, когда в промышленности существуют 100 фирм одно и того же размера, до 5000 в случае двух равных фирм или до 10 000, когда существует монополия. Департамент юстиции США и Федеральная комиссия торговли рассматривают промышленность со значением ИХХ выше 1800 как “концентрированную” и не стали бы приветствовать слияние компаний в такой промышленности, если ИХХ возрастет более, чем на 100 пунктов:

Рынки, где значение ИХХ лежит между 1000 и 1800 пунктами, рассматриваются как умеренно концентрированные, а те, где ИХХ превышает 1800 пунктов, как концентрированные. Сделки, приводящие к возрастанию ИХХ на 100 пунктов в концентрированных рынках, обязательно поднимут антитрестовские опасения в соответствии с Указаниями о равномерных сделках, принятыми Департаментом юстиции США и Федеральной комиссией торговли<sup>3</sup>.

Хотя установки USEC были высоко концентрированными в 1995-2008 годах, ИХХ мало изменился после прекращения работ на ряде американских установках и увеличения российской доли. В последней колонке Таблицы 1 ИХХ подсчитывается в предположении, что Areva и Urenco (“Евро”) не конкурируют (поскольку теперь они пользуются центрифугами от одного производителя), и в этом случае ИХХ возрастет на 600 пунктов. Если предположить, что инвестиции координируются, промышленность станет еще более концентрированной.

В следующем десятилетии старые диффузионные объемы производства будут заменены новыми центрифугами во Франции и в США. Во Франции Eurodif (член группы Areva) сотрудничает с Urenco для создания центрифуг с помощью Компании обоганительной технологии (ETC). В США Министерство энергетики сотрудничает с USEC для разработки нового поколения центрифуг, заменяющих диффузионные установки USEC. Испытания первых каска-

дов начались в сентябре 2007 года, хотя завершение завода будет зависеть от финансовых гарантий со стороны Министерства энергетики США. Кроме того, Urenco сооружает новые производственные объемы центрифуг в Нью Мехико, а Areva занимается тем же в Айдахо.

Более того, бразильская промышленная ядерная компания (INB) строит небольшую обогатительную установку на своей площадке интегрированного цикла ядерного топлива в Ризенде, чтобы гарантировать поставки топлива на две небольшие ядерные энергетические установки<sup>4</sup>. Аргентина, которая имеет два небольших неработающих обогатительных предприятия, рассматривает возможность возобновления их деятельности. Южная Африка интересуется возобновлением работы на обогатительной установке в Пелиндабе и ее расширением. Австралийская фирма Silex лицензировала свою технологию в GLE (партнерство General Electric/Hitachi и канадской Cameco) для сооружения установки с прототипом лазерного обогащения в Новой Каролине. С закрытием диффузионных установок и появлением на сцене новых установок с центрифугами становятся неопределенными на следующее десятилетие рыночные возможности, а также уровни цен и их постоянство. Можно ли гарантировать, что свободный международный рынок по обогащению урана приведет к социально-оптимальным уровням возможностей обогащения в обозримом будущем?

Неоклассическая экономическая теория показывает, что общество лучше ощущает себя, когда рыночные цены равны стоимости производства, включая разумное (с учетом риска) возмещение капитала. Когда цены не соответствуют стоимости производства, экономисты приходят к выводу, что рынок “провалился”, потому что он не смог добиться социально-оптимального уровня результатов или инвестиций. Рынки терпят неудачу, по меньшей мере, по четырем причинам: (1) в промышленности, где существуют сильно возрастающие доходы (так называемые экономики с положительным объемом производства), самые крупные фирмы могут увеличить долю рынка до уровня монополии или почти монополии, затем поднять цены, например за математическое обеспечение, в частности, в действующих системах; (2) не существует цен на поступающие или выходящие продукты, называемые “внешними факторами” и влияющие на доходы или состояние других производителей или потребителей, например, производство парниковых газов, за что сейчас не платят; (3) где потребителей нельзя исключать из расходов, например, на национальную безопасность; и (4) где имеется систематически асимметричная информация между продавцом и покупателем, например, на рынке, где покупатели не могут знать риски финансовых инструментов продавца.

Хотя могут быть несколько источников рыночной неудачи на международном рынке обогащения урана (например, неоплаченные внешние факторы распространения, связанные с технологией обогащения), данная статья будет сосредоточена на возрастании нормы прибыли относительно объема производства (так называемого фактора НП/ОП). С увеличением нормы прибыли, во-первых, небольшие производители (новички на рынке) имеют небольшие экономические побуждения вступить в борьбу с установившимися и растущими и развивающимися более крупными производителями, а во-вторых, более крупные производители могут в конечном итоге вытеснить менее сильных соперников с рынка. Это приводит к таким рыночным возможностям, где цены могут оказаться выше, чем стоимости, или где другие концессии могут быть расторгнуты, например, предположение о ценовом риске со стороны покупателя или возможность усреднения рыночных связей на других рынках (продажа ядерных реакторов в качестве примера).

Однако в обогатительной промышленности рост нормы прибыли обеспечивает барьер для входа на рынок для новичков, увеличивая тем самым сопротивление промышленности расширению рынка и уменьшая социальную стоимость внешних факторов расширения. По этой причине увеличение нормы прибыли при обогащении приводит к уменьшению как темпов расширения, так и дисциплины рыночных цен. С учетом растущих норм прибыли, экономический вопрос заключается в том, могут ли свободные рынки уранового обогащения гарантировать оптимальные и установившиеся на долгое время уровни инвестиций и сохранение объема рынка.

Большинство наблюдателей за обогатительной промышленностью считают, что имеется возрастание НП/ОП. (Хотя в данной статье основное внимание обращено на оценки НП/ОП на уровне затрат на единицу разделительной работы (EPP, или SWU), рост нормы прибыли может возникнуть в производстве центрифуг, однако без детального описания затрат на структуру и оборудование типичных установок невозможно выделить различные источники НП/ОП). Как указано в Приложении, здесь наблюдается рост нормы прибыли, а также пред-

лагаются всеобъемлющая модель промышленности в микроэкономическом, ценовом и инженерном аспектах. В следующем разделе приводится описание возникшей дуополии (двувластия) на международном рынке обогащения урана и эта модель применяется, чтобы показать, что если бы цены обогащения определялись на конкурирующем рынке, они бы упали с уходом диффузионных возможностей. Когда цены остаются высокими, когда развивается монополия или когда обогатительная технология развивается у существующих производителей (например, у Urenco), свободный рынок не приведет к социально оптимальным результатам. В последнем разделе, где говорится о смысле этой дуополии, приводятся аргументы в пользу того, что могут оказаться необходимыми некоторые формы вмешательства на международный рынок (за исключением работы с национальными субсидиями и международными договорами) для гарантирования максимального разнообразия инвестиций, не расширяющих объемы деятельности, и цен, близких к стоимости продукции<sup>5</sup>. Учитывая небольшой размер экономической выгоды в этой промышленности и последствия расширения, можно мало потерять с точки зрения экономической эффективности, если регулирование цены обогащения облегчит создание не расширяющих соглашений со странами, рассматривающими потенциальное вступление на рынок обогащения урана.

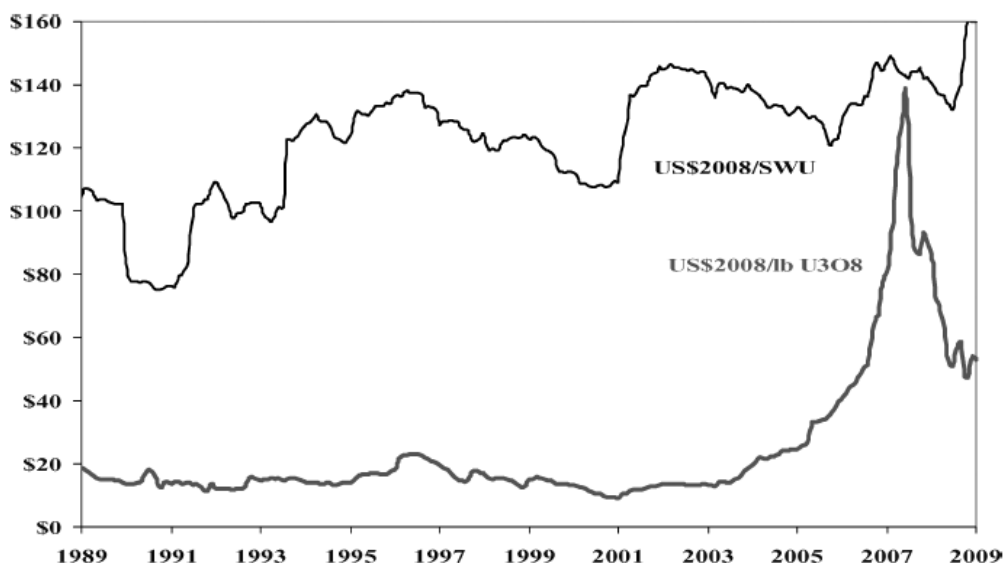
### **ВОЗНИКАЮЩАЯ ДУОПОЛИЯ НА МЕЖДУНАРОДНОМ РЫНКЕ ОБОГАЩЕНИЯ УРАНА**

Чтобы увеличить процентное содержание делящегося урана, уран-235, составляющий около 0.7% в природном оксиде урана (“желтый порошок”), обогащается до более высокого процента, например, 3-5 %. Теперь обогащение производится на коммерческом уровне с использованием двух методов: газовая диффузия и газовая центрифуга. В период между 1981 и 2008 годами реальная цена обогащения урана, измеряемая ценой единицы разделительной работы (EPP, или SWU), удвоилась от 80 до 160 долларов (по цене 2008 года). EPP измеряется в кг урана (kgU) или в метрических тоннах (MTU). (Смотрите Рис.1). Как обсуждается в Приложении, цена обогащения методом газовой диффузии определяется ценой электроэнергии. Когда растет цена электроэнергии, цена диффузионного обогащения вырастает выше затрат на обогащение центрифугами, что делает установки с газовой диффузией малорентабельными производителями, то есть, такими, какие поставляют услуги последним из интересующихся. Как для производителей с небольшой рентабельностью, цены обогащения методом газовой диффузии (в основном, затраты на электричество) проявляют сильную корреляцию с текущими рыночными ценами.

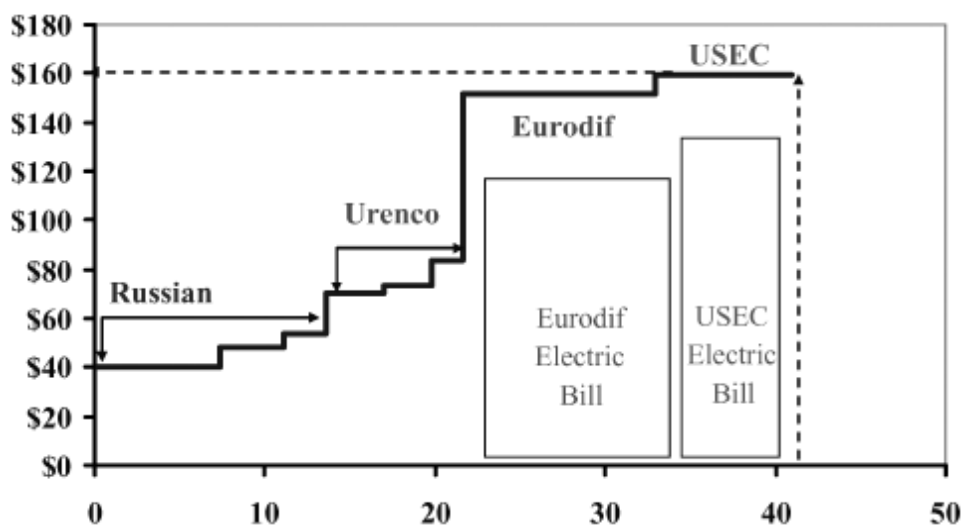
Для представления об этом рынке в Приложении проведена оценка средней цены EPP в долларах 2008 года. (Эти оценки применяются для иллюстрации международного рынка EPP и они основаны на статистических результатах. Поэтому они могут содержать ошибку порядка 10-20 % , что типично для стандартных ошибок при оценках). Затраты на сооружения снижаются в соответствии с подразумеваемым изменением Годового национального производства США и с Ценовым индексом США для производства, распределения и передачи электроэнергии. Используя долгосрочные усредненные издержки вместо долгосрочных предельных издержек, используем усредненные затраты для получения картины поставок EPP на 2010 год (Рисунок 2) и 2020 год (Рисунок 3). Мы выбрали 2020 год, потому что к этому сроку закончится действие соглашения между Россией и США о разбавлении ВОУ, завершатся работы по газовой диффузии и возможности обогащения в рамках нынешнего планирования и строительства также иссякнут.

На Рис.2 (для 2010 года) предполагается, что российское производство ограничено настолько, что завод в Новоуральске (с производительностью 12.45 миллионов EPP в год) не может конкурировать на международном рынке из-за соглашения по разбавлению ВОУ и внутренних потребностей<sup>7</sup>. На Рис.2 примерно четверть международного рынка обогащения (принадлежащая России) идет по низким ценам за EPP (менее 60 долларов). Одна четверть (европейская) имеет умеренную цену (60-100 долларов), а половина рынка (газовая диффузия) обладает высокой ценой (более 100 долларов). При потребности примерно в 40 миллионов EPP (примерно 120 тысяч EPP на ГВт/год при 333 ГВт на весь мир) рыночная цена определяется там, где удовлетворяются интересы производителя с наивысшими затратами (имеющего технологию газовой диффузии) на уровне примерно 160 долларов/EPP (в ценах 2008 года). (Конечно, более дешевые производители могут сбить цену Eurodif и USEC долгосрочным частным контрактом, где контрактные цены не обязательно должны равняться

рыночным ценам, а дополнительные доходы и экономические выгоды могут оказаться *гораздо ниже*, чем подразумевалось в данном случае).



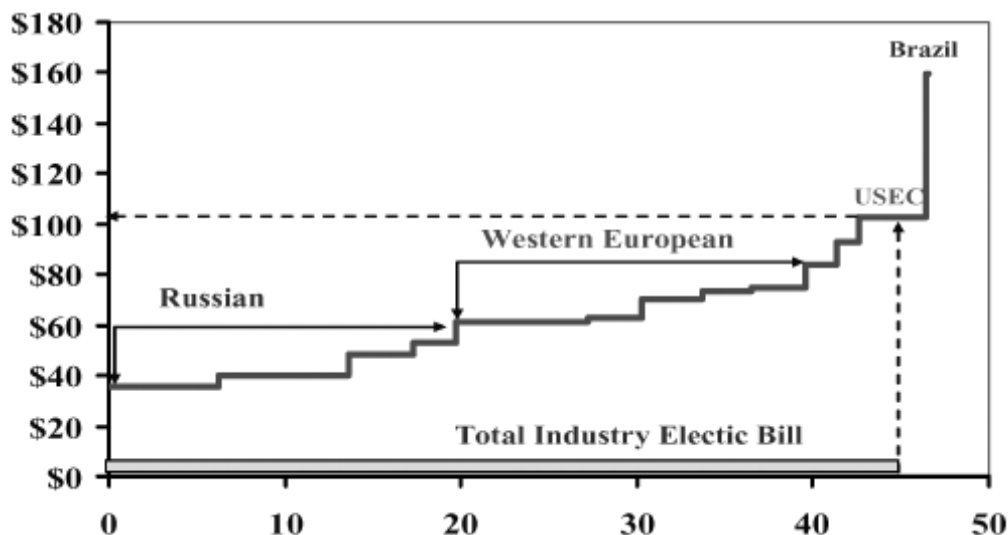
**Рисунок 1:** Текущие цены за ЕРР и уран; 1989-2009 годы. На верхнем графике представлено изменение цены за ЕРР в долларах 2008 года, на нижнем – изменение цены за фунт окисла урана  $U_3O_8$  в долларах 2008 года. По вертикальной оси отложены доллары, по горизонтальной – годы.



**Рисунок 2:** Поставка средств для обогащения урана; 2010 год. По вертикальной оси отложены цены ЕРР в долларах 2008 года, по горизонтальной оси – полное количество миллионов ЕРР/год. Слева направо ограничены вклады России, Urenco (Европы), Eurodif (Франции) и USEC (США) Прямоугольники справа указывают расходы Франции и США на электроэнергию.

С полным исчезновением диффузионных возможностей и отсутствием международных ограничений на российское участие в рынке картина снабжения средствами для обогатительных услуг может сместиться в 2020 году к более вероятной ситуации, похожей на ту, что изображена на Рис.3<sup>8</sup>. Предполагаемый рост на 12.5% до 45 миллионов ЕРР может быть удовлетворен всеми участниками, а максимально полный доход приблизительно составит 4.5 миллиардов долларов (в ценах 2008 года)<sup>9</sup>. Однако, как и сегодня, USEC может оказаться несущественным производителем, так что конкурирующий рынок должен уравниваться, чтобы покрыть новые производственные затраты (например, 100 долларов за ЕРР в ценах

2008 года). Это предполагает падение цены почти на 40% и экономию для покупателей. Но концентрация промышленности в 2020 году, измеряемая индексом ИХХ, подскочит до 3500, если Avega и Urenco будут конкурировать, или до 4200, если они не окажутся конкурентами. Если они не конкурируют, промышленность достигает концентрации дуополии (ИХХ= 5000), когда русские и европейцы будут доминировать на рынке обогащения. (Этот анализ не рассматривает возрастание возможностей Urenco благодаря замене центрифуги TC-12 на центрифугу TC-21.)<sup>10</sup>.



**Рисунок 3:** Поставка средств для обогащения урана; 2020 год. По вертикальной оси отложены цены ЕРР в долларах 2008 года, а по горизонтальной оси – полное количество миллионов ЕРР/год. Надписи на графике (слева направо): российские, западно-европейские, американские и бразильские. Надпись внизу: счет за электричество для всей промышленности.

Следовательно, по мере того, как диффузионные способности сходят со сцены, а цены падают, отражая уменьшение затрат (в соответствии с конкурирующими рыночными силами), благодаря своей более зрелой технологии Россия и европейцы могут заработать экономические выгоды, а японская Роккашо и программа продвинутой центрифуги (АСР) USEC могут не заработать ничего большего, чем разумные издержки на производство. Ожидание такой ситуации может затруднить финансирование USEC и получение за капитальные расходы того, что позволит этой корпорации остаться способной к конкуренции, особенно тогда, когда ее кредитный рейтинг продолжает снижаться. Великая Рецессия может замедлить завершение АСР, что откладывает завершение деятельности по газовой диффузии и сохраняет более высокие рыночные цены.

Россия сооружает дополнительные обогатительные возможности. Один метод для увеличения доли в обогатительном рынке заключается в создании международного центра по обогащению урана (IUEC) в Ангарске (Сибирь). Ангарские предприятия по обогащению и конверсии комбинируются с урановыми рудниками в Казахстане. Возможности казахстанского завода по производству топливных шариков могут быть повышены для обеспечения услуг по изготовлению ядерного топлива. Если IUEC сможет обеспечить ядерное топливо по меньшей рыночной цене, он сможет увеличить свою долю на рынке ядерного топлива и по этой причине российскую долю на рынке обогащения.

### ПОСЛЕДСТВИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ДУОПОЛИИ ДЛЯ USEC И СОЕДИНЕННЫХ ШТАТОВ

Когда в следующее десятилетие диффузионные возможности исчезнут, искусственно высокие цены обогащения могут упасть. (Они являются “искусственными” во многом благодаря барьерам для входа на рынок. Если бы рынки обогащения оказались открытыми, новые более дешевые возможности заставили бы диффузионные установки закрыться значи-

тельно раньше). Появление новых участников на обогатительном рынке ограничено условиями сохранения рынка, а также коммерческими интересами. Технология обогащения сейчас охраняется более тщательно после раскрытия пакистанской сети по контрабанде технологией обогащения. Эта сеть украла технологию центрифуг у Urenco в 70-е годы и применила ее для разработки ядерного оружия в Пакистане, а затем продала или обменяла технологию ряду других стран, развязав гонку ядерного оружия среди соседей и дав возможность для разработки ядерного оружия в Северной Корее.

Без вторжения на рынок цены могут упасть до конкурирующих уровней. Это подразумевает, что может не оказаться экономических выгод ни для кого, кроме русских, что побудило аналитика компании ‘Стандарт энд Пур’ написать следующее:

“Рейтинговые службы “Стандарт энд Пур” подтверждают свой общий краткосрочный и долгосрочный кредитный рейтинг “А-/А-2” для находящейся в Европе компании Urenco Ltd, занимающейся обогащением урана... Обогатительный рынок испытывает очень заметные перемены, поскольку TENEX (Росатом), контролирующей примерно 50% глобальных обогатительных возможностей, но имеющей только 24% доли рынка среди фактических покупателей, собирается увеличить свою долю непосредственных продаж реальным покупателям. Степень, до которой это повлияет на западных поставщиков обогатительных услуг – USEC Inc. (B-/Negative/-), Areva (рейтинга нет) и Urenco – еще предстоит увидеть за умеренные сроки, но на нее окажут сильное воздействие текущие политические и торговые переговоры... Другим крупным промышленным изменением станет ожидаемое постепенное сокращение заводов с газовой диффузией, используемых USEC и Areva.....(Их рейтинги были пересмотрены 24 апреля 2008 года)<sup>11</sup>.”

Индекс “А-” подразумевает, что “Стандарт энд Пур” верят в следующее: (1) “экономическая ситуация может воздействовать на финансы” (А) и (2) рейтинг “вероятно понизится” (-), а А-, ВВ, ВВ-, В+, В- и т.д. – это все более и более низкие кредитные рейтинги для “неинвестиционных” облигаций. С 2002 года USEC вынуждена платить высокие проценты по своим растущим задолженностям. Эта ситуация ухудшается (смотрите Табл. 2).

**Таблица 2:** Кредитный рейтинг USEC за 2002-2008 годы.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
“Стандарт энд Пур”							
Корпоративный кредитный рейтинг	ВВ	ВВ	ВВ-	В+	В-	В-	В-
Старший необеспеченный долг	N/A	ВВ-	В	В-	ССС	ССС	ССС
Перспективы	Негативн.	Стабильн.	Негативн.	Негативн.	Негативн.	Негативн.	Негативн.
"Муди"							
Корпоративный кредитный рейтинг	Вa1	Вa1	Вa2	В1	В1	В3	В3
Старший необеспеченный долг	N/A	Вa2	Вa3	В2	В3	Саa2	Без реит.
Перспективы	Негативн.	Негативн.	Пересм.	Стабильн.	Пересм.	Негативн.	Негативн.

Поэтому, допуская адекватное разнообразие обогатительных возможностей, ситуация может оказаться проблематичной без более всеобщей рыночной интервенции (скорее, чем продолжающееся субсидирование национальными правительствами, или без него). Российско-европейская дуополия в обогащении могла бы обеспечить адекватное разнообразие снабжения. Но правительство США должно определить, сколь много поставщиков должно быть на обогатительном рынке для поддержания рыночной конкуренции или же необходима ли любая форма рыночного регулирования.

Правительство США субсидировала USEC с момента приватизации компании. Поэтому непохоже, что USEC выживет без непрерывного вливания федерального капитала до тех

пор, пока не будет завершен АСР (Завод продвинутых центрифуг). Если USEC выживет, она может оказаться недостаточно конкурентоспособной для дальнейшего развития лишь потому, что не имеет достаточного опыта работы с технологией центрифуг и с их производством. Если USEC не выживет, от правительства США могут потребовать национализации АСР для обеспечения услугами оборонные программы (например, реакторы на судах), а также для оплаты списывания в резерв газовой диффузии и всех остальных задолженностей USEC.

С другой стороны, потребности американских электрических компаний могут быть удовлетворены американскими работами на заводах Areva и Urenco в штатах Айдахо и Нью Мехико, а также русскими путем продления текущих контрактов. Поэтому, хотя не в интересах американских электрических компаний поддерживать высокие цены USEC, может оказаться в их интересах поддерживать существование USEC в качестве защиты от зависимости от одного или двух поставщиков.

Нерегулируемые рынки обогащения не обязательно приведут к социально оптимальному разнообразию поставщиков обогатительных услуг: длительное равновесие, где промышленность *по необходимости сконцентрирована* в такой степени, что нет возможности расширения рынка, но она оказывается *достаточно разнообразной* для того, чтобы ни одна национальная группа не могла диктовать цены, условия контракта или политику расширения рынка. Лица, отвечающие в США за принятие решений, должны определить прежде всего, отвечает ли российско-европейская дуополия национальным интересам США с учетом зависимости американского ядерного флота от высоко обогащенного урана (или же запасы ВОУ адекватны для обозримого будущего). Во-вторых, следует понять, будет ли продолжение субсидирования USEC или же повторная национализация этой компании в национальных интересах США способствовать осуществлению политики нерасширения рынка. Наконец, в-третьих, надо ли поддерживать некоторую форму регулирования обогатительного рынка, чтобы гарантировать поступление низко обогащенного урана по разумным ценам, в частности, для американских электрических компаний.

#### ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. G.S. Rothwell, "Международные поставки ядерного топлива для легководных реакторов: Гарантированы ли производственные услуги?" *Energy Economics* (2000, в печати).
2. G.S. Rothwell, "Рыночная координация в промышленности окиси урана," *Antitrust Bulletin* (весна 1980):233-268.
3. Министерство юстиции США и Федеральная торговая комиссия. *Horizontal Merger Guidelines* (1997), раздел 1.51, стр.3.
4. В. Cabrera-Palmer, and G.S. Rothwell. "Почему Бразилия обогащает уран? Чтобы гарантировать свой цикл ядерного топлива," *Energy Policy* (2008): 2570-2577.
5. Верховный Суд США переменял 29 января 2009 года решение федерального суда низшей инстанции о том, что обогащение не является "хорошим делом" в соответствии с антидемпинговым законом США. Тем не менее, в данной статье обогащение случайно называется "услугой".
6. Из-за компромисса между ураном и обогащением урана оператор ядерной электростанции может приобрести либо меньше урана, но большее количество ЕРР, понижая процентное содержание урана-235 в отходах, либо больше урана, но меньше ЕРР, повышая процент урана-235 в отходах. Смотрите работу М. Bunn, S. Fetter, J.P. Holdren, and Bob van der Zwaan, *Экономика переработки или прямого удаления отработанного ядерного топлива*. Проект управления атомом, Бельферский центр науки и международных дел, Правительственная школа имени Джона Кеннеди, Гарвардский университет, Кембридж, Массачусетс (2003). При ссылке на вычисления оптимального состава отходов на стр.94, однако, аппроксимация уравнения (А.16) устанавливает состав сырья равным 0.711%. Поэтому уравнение (А.16) нельзя применять для определения оптимального повторного обогащения отходов или переработанного урана.
7. В. Михайлов, "Обогатительная промышленность в Российской Федерации," Симпозиум в урановом институте, Российское Министерство атомной энергии, Москва (1995).
8. Это наводит на мысль, что Россия продолжает использовать меньшее, чем оптимальное, содержание урана-235 в отходах, чтобы выполнить топливные контракты, используя меньше российского урана, но увеличивая количество использованных "домашних" ЕРР и



тем самым сокращая поступление ЕРР на мировой рынок. Поэтому на Рис.3 только половина возможностей Новоуральска используется для конкуренции на мировом рынке.

9. Трудно знать цены по долгосрочным контрактам, которые могут оказаться *гораздо меньше* текущих рыночных цен и поэтому доходы промышленности могут оказаться *гораздо меньше* упомянутой в этой статье величины 4.5 миллиардов долларов. Но промышленность еще может пользоваться контрактной практикой КАЭ США: “Подходящие цены за услуги обогащения и связанные с ними службы - это те, которые работают во время отправки обогащенного урана покупателю.” *Деятельность КАЭ на заводе газовой диффузии, ОРО-684, Washington, DC, 1972,46.* Смысл этой политики для уранового рынка разбирается в работе Rothwell, “Координация рынка в промышленности окислов урана.”

10. P.Upson, “Технология центрифуг: будущее обогащения,” представлено на ежегодном Симпозиуме Всемирной ядерной ассоциации 2001 года (6 сентября 2001 года).

11. Стандарт энд Пур, “Рейтинг А-/А-2 присвоен компании Urenco Ltd, несмотря на более обещающие расширения. Прогноз стабильный.” (29 сентября 2006 года).

### ПРИЛОЖЕНИЕ: МИКРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ, ЦЕНОВАЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВОК ПО ОБОГАЩЕНИЮ УРАНА

Пол Хардинг – директор-распорядитель компании Urenco Ltd (UCL) (Кейпенхурст), рассказал о производстве на своем предприятии в 2005 году (чтобы показать зависимость его завода от непрерывного энергоснабжения):<sup>1</sup>

- 40% полной текущей обогатительной возможности Urenco находятся в UCL.
- В UCL работают 390 сотрудников.
- Ежегодное потребление электроэнергии составляет 180 000 МВт-часов (примерное непрерывное потребление 20 МВт<sub>э</sub>)
- Задача – никогда не останавливать газовой центрифуги, если она включена.
- Не нуждается в эксплуатационных расходах.
- Небольшой процент отказов.
- Самые старые машины на площадке работают с 1982 года.
- Если машину остановить, она может не запуститься.

В Приложении создана микроэкономическая, ценовая и инженерная модель для предсказания усредненных затрат на установках такого же типа, как в Кейпенхурсте.

Чтобы подсчитать затраты на капитал, работу, электричество и т.п., представим полные годовые затраты (ТС) на получение полного годового количества ЕРР в следующем виде:

$$TC = p_K K + p_L L + p_E E + p_H H \quad (1)$$

где

- $K$  - полная стоимость капитальных инвестиций (ПСКИ)<sup>2</sup>, измеренная в миллионах долларов 2008 года, а  $p_E$  - ежегодный процент роста капитала (без учета потерь на прекращение работ);
- $L$  - количество сотрудников с годовой заработной платой  $p_L$ ;
- $E$  – поступление электроэнергии (в МВт-часах), а  $p_E$  – цена электричества в долларах за мегаватт-час; и
- $H$  представляет собой стоимость потребленного оборудования (материалов), а  $p_H$  – цена оборудования.

Предположим, что, во-первых,  $H$  – линейная функция  $K$ , а во-вторых,  $p_H$  выражается в процентах от  $K$  (например, положим  $p_H$  равной ежегодной скидке за амортизацию). Пусть  $p_{KH} = p_K + p_H$ . Тогда усредненная цена или долгосрочная средняя цена (АС) равна

$$AC = \{ \sum (p_{KH}K + p_L L + p_E E_t)(1 + r)^{-t} \} / \{ \sum (EPP_t)(1 + r)^{-t} \} \quad (2)$$

где суммирование идет по всему времени работы установок, а все затраты на строительство скорректированы на начало коммерческой деятельности, где  $r$  – процент скидки. Кроме того, следуя Хардингу, неявно предположим постоянную ежегодную загруженность, равную 100%, поскольку “если машину остановить, она может не запуститься.”<sup>3</sup> При усреднении по длительному времени средние расходы вычисляются в предположении, что все затраты и вся продукция равны во времени; если это так, то “уровненные затраты” в технике ценообразования эквивалентны “средним затратам” в микроэкономике.

Параметр НП/ОП (соотношение нормы прибыли и объема производства) для затрат принимает форму изменения процента от полных затрат  $PЗ$  по отношению к изменению конечного продукта – ЕРР: <sup>4</sup>

$$НП/ОП = (\Delta PЗ/PЗ)/(\Delta EPP/EPP) \approx (dPЗ/dEPP)/(PЗ/EPP) \quad (3)$$

Например, если продукт вырос на 10%, а полные затраты выросли меньше, чем на 10%, то параметр  $НП/ОП$  вырос и средние цены упали. Если продукт вырос на 10%, а полные затраты выросли больше, чем на 10%, имеем дело с уменьшением параметра  $НП/ОП$  и с ростом средних цен. Для многих производственных процессов средние затраты падают при увеличении объема производства (из-за того, что уменьшаются средние фиксированные цены). В некотором диапазоне объема производства средние цены не меняются, но вне этого диапазона средние цены растут с уменьшением параметра  $НП/ОП$ . Это приводит к U-образной кривой средних цен.

Впрочем, в промышленности с возрастающим параметром  $НП/ОП$  (где существуют большие фиксированные цены) кривая средних цен непрерывно стремится вниз по всему диапазону промышленного производства. Это дает кривую средних цен с формой “ванны”, где средняя цена в конечном итоге возрастает до некоторого очень большого значения. Если нет договоренностей о разделении рынка и доходов, меньшие компании могут быть вытеснены из промышленности благодаря прекращению возможностей (или никогда не попасть на рынок). В качестве предельного случая одна большая фирма может доминировать в промышленности.

Остальная часть Приложения предлагает и проверяет, имеются ли примеры возрастающего параметра  $НП/ОП$  для капитала  $K$  или рабочей силы  $L$  в производстве центрифуг (здесь мало информации для оценки этого параметра по энергии). С учетом начальных параметров и оценок их изменений относительно изменений размера установки параметр  $НП/ОП$  для полных затрат изучается путем построения и анализа кривых полных затрат в последнем разделе, “Оценка долгосрочных усредненных затрат на установках с центрифугами”.

## ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА НОВЫЕ УСТАНОВКИ С ОБОГАЩАЮЩИМИ ЦЕНТРИФУГАМИ

### Оценка капитальных затрат на новые установки с центрифугами

Цена капитала  $p_K$  определяется его изменением за год. Наша модель рассматривает 5%-ную реальную цену капитала с амортизацией за 30 лет, или  $p_K = 6.5\%$ <sup>5</sup>. (Реальная цена капитала примерно равна номинальной цене капитала минус ожидаемые темпы инфляции; при ожидаемой инфляцией в 3% номинальная цена капитала будет около 8%, что приемлемо для регулируемого предприятия), Кроме того, эта модель предполагает ежегодную плату за амортизацию в размере 1% от цены за круглосуточную работу. Итак,  $P_H H = 0.01k = 0.01/1.1748 K = 0.085 K$ . Итак,  $p_{KH} = 6.5\% + 0.85\% = 7.4\%$  (Хотя значения параметров оцениваются на основе эконометрических моделей, анализ можно также провести в параметрической форме; впрочем, легче понять численные выводы, которые приводятся с числовыми оценками, если даже они могут не быть “истинными” величинами, учитывая частную природу цены и технологической информации).

Различие между затратами на круглосуточную работу ( $k$ ) и ценой полных капитальных вложений ( $K$ ) служит добавление на интерес во время строительства (IDC) и на непредвиденные обстоятельства. IDC снижает расходы на строительство до начала коммерческих операций. Ставка IDC является функцией темпов потребления, цены капитала и длительно-

сти строительства. Поскольку обогатительные установки с центрифугами могут быть построены отдельными этапами, IDC выплачивается за время строительства первого этапа в предположении, что на каждый этап тратится три года. При цене капитала 5 %. IDC добавляет 7.5 % проектной цены. Ставка на непредвиденные расходы равна 10 %. Поэтому  $K = (1 + 0.075 + 0.10)k = 1.175 k^6$ .

Стоимость круглосуточного строительства  $k$  для новых центрифуг оценена на основе информации от пяти установок в США, Франции и Бразилии:

1. Американский завод центрифуг (ACP) сооружается в штате Огайо компанией USEC на основе технологии центрифуг, разработанной Министерством энергетики США и USEC и позволяющей получать с каждой машины около 300 ЕРР/год. По оценкам USEC, цена первого этапа составит 3.5 миллиардов долларов (по цене 2008 года) при объеме производства 3.3 миллионов ЕРР. Установка может быть завершена к 2012 году.

2. Новая установка для обогащения компании Urenco (NEF) в штате Нью Мехико с объемом производства 3 миллиона ЕРР в год основана на собственной технологии (машины ТС-12) с разделительной возможностью 50 ЕРР/год на центрифугу. Строительство началось в августе 2006 года, причем первый этап будет готов в 2010 году, а на проектную мощность завод выйдет, как ожидается, в 2013 году. Стоимость круглосуточной работы оценивается в 1.5 миллиардов долларов (в ценах 2006 года, или 1.65 миллиардов долларов по цене 2008 года<sup>8</sup>).

3. Areva строит установку стоимостью 2 миллиарда долларов и производительностью 3 миллиона ЕРР/год в штате Айдахо. Areva собирается оснастить установку центрифугами типа ЕС (машинами ТС-12 на 50 ЕРР/год), чтобы начать операции в 2014 году, а полномасштабное производство в 2019 году.

4. Новая обогатительная установка Джордж Бесси II с производительностью 7.5 миллионов ЕРР/год, расположенная вблизи Трикастьяна (Франция), также основана на центрифугах Urenco ТС-12. Этот завод строится компанией Eurodif – членом французской группы Areva. Оцениваемая стоимость равна 3 миллиона евро (цена 2003 года), или 4.066 миллиардов долларов (цена 2008 года)<sup>9</sup>.

5. Бразилия строит установку для обогащения в Ризенде для поставки 203000 ЕРР к 2015 году для своих ядерных электростанций Ангра-1 и Ангра-2. Она использует конструкцию центрифуги, разработанную бразильским флотом и поначалу производившую около 10 ЕРР/год на центрифугу. Оценки стоимости сооружения составляют около 541 миллиона бразильских реалов по ценам 2006 года, что соответствует примерно 278 миллионам долларам в ценах 2008 года<sup>10</sup>.

До анализа этой информации обратите внимание, что модель основана на трех технологиях центрифуг различной зрелости. Центрифуги Urenco Т-12 находятся в работе более десяти лет и могут быть легко повторены по цене новых поколений. Самые малые бразильские центрифуги являются примером первого поколения коммерческого использования. Самые крупные центрифуги АСР были получены путем простого увеличения масштаба прототипа до коммерческого размера. Рассмотрим неопределенности, при каких Гуиззо<sup>11</sup> оценивал количество ЕРР на центрифугу:

“Наименее технические продвинутые машины, которыми, как сообщается, приходится пользоваться Ирану, имеют производительность порядка 3 ЕРР в год. Технически зрелые машины, какие имеются у Urenco, по оценкам достигают производительности 50-100 ЕРР.

Новые американские центрифуги сконструированы для работы на 300 ЕРР, если они будут работать вообще. Бразильские центрифуги обладают производительностью около 10 ЕРР или слегка меньше, как сообщили мне источники, знакомые с проектом. Эти источники, разговаривающие в условиях анонимности из-за засекреченности проекта, говорят, что длина машины составляет почти два метра, а сами машины относятся к сверхкритическим. Они добавляют, что исследователи из бразильского флота сейчас пытаются увеличить длину ротора без переделки конструкции систем разгона и подшипников. Эта модификация, по их словам, могла бы улучшить характеристики машины.’

Поэтому в нашей статье могут быть условные оценки, которые будет надо пересматривать, когда появится больше открытой информации.

В Таблице А.1 приведена описательная статистика для приведенных данных. Переменные масштабированы для того, чтобы их средние значения оказались подобными. В нашем случае минимальное значение стоимости круглосуточной работы  $k$  равно 0.278 миллиардов долларов (в ценах 2008 года), а максимальное значение составляет 4.066 миллиардов долларов. Минимальное значение для  $EPP$  равно 0.203 миллионам  $EPP$ /год, а максимальное – 7.5 миллионов  $EPP$ /год. Параметр  $RATE$  (рейтинг центрифуг в  $EPP$ /год) дается в сотнях  $EPP$  на центрифугу, так что минимальное значение равно 0.1 (x100)  $EPP$  на центрифугу для Бразилии, а максимальное – 3.0 (x100) на центрифугу для АСР. Расходы на круглосуточную работу демонстрируют сильную корреляцию с объемом производительности,  $EPP$  (92%) и коррелируют (54%) с рейтингом продукта  $RATE$ ; величина  $EPP_t$  равна числу центрифуг на заводе (CENTS), умноженному на  $RATE$ <sup>12</sup>.

На основании этой информации подсчитаны линейные и нелинейные модели  $k$  в виде функций от ежегодной производительности  $EPP$  и  $EPP_t$ . Линейная и нелинейная функциональные формы представлены в уравнениях (4) и (5). Впрочем, параметр НП/ОП может быть прямо оценен только из нелинейной формы. Так что, линейная форма присутствует только для полноты материала; она не применяется для испытания гипотез или для предсказания<sup>12</sup>.

$$k_i = 0.44 + 0.53 EPP_t (R^2 = 84 \% , F = 97 \%) \quad (4)$$

$$\ln(k_i) = - 0.09 + 0.76 \ln(EPP_t) (R^2 = 96 \% , F = 99 \%) \quad (5)$$

Линейная форма не так хорошо оценивается как нелинейная. Поэтому уравнение (5) применяется для испытания гипотез и предсказания. При масштабном множителе, равном 0.76, и стандартной ошибке 0.09 уверенность больше, чем 90-процентная уверенность в том, что масштабный множитель не равен 1.0, как это было бы при постоянном параметре НП/ОП. По этой причине гипотезы о постоянстве НП/ОП можно отвергнуть. Масштабный множитель в уравнении (5) используется для предсказания круглосуточных капитальных затрат.

**Таблица А.1:** Описательная статистика переменных для капитала.

Переменные	Описательная статистика				Корреляция		
	Средние	Стат. откл.	Минимум	Максимум	$k$	$EPP$	$RATE$
$k$ (млрд.долл.)	2.299	1.513	0.278	4.066	1	92%	54%
$EPP$ (млн. ед.)	3.501	2.620	0.203	7.500	92%	1	17%
$RATE$ (сотни)	0.920	1.176	0.100	3.000	54%	17%	1

**Таблица А.2:** Описательная статистика для переменных рабочей силы *L*.

Переменные	Описательная статистика				Корреляция		
	Средние	Стат. откл.	Минимум	Максимум	<i>L</i>	<i>EPP</i>	<i>RATE</i>
<i>L</i> (сотни)	2.900	1.507	1.000	5.000	1	83 %	82 %
<i>EPP</i> (млн. ед.)	2.681	1.424	0.203	3.800	83 %	1	57 %
<i>RATE</i> (сотни)	0.920	1.176	0.100	3.000	82 %	57 %	1

### Оценка затрат на рабочую силу для новых установок с центрифугами

Далее, следуя Кабрере-Пальмеру<sup>14</sup>, эта модель использует среднюю ежегодную зарплату (с учетом всех добавок) в 60 000 долларов в Бразилии, основанную на фиксированной зарплате 35 000 долларов в год и добавках в размере 70 %<sup>15</sup>. В этой модели также использована полная зарплата во Флориде и США в объеме 120 000 долларов, что соответствует Докладу компании по технологии обогащения за 2006 год<sup>16</sup>. В модели предполагается, что реальная доля расходов на рабочую силу не изменилась с 2006 года.

Во-вторых, если говорить о рабочей силе *L*, то объявленная проектируемая численность штата АСР составляет 500 сотрудников<sup>17</sup>, а о штате *NEF* объявлено, что он будет включать 210 человек. Ageva заявила, что она наймет, по крайней мере, 250 работников на полностью оплачиваемое время в Айдахо, а штат в Ризенде по оценкам будет насчитывать около сотни рабочих мест. Кроме того, хотя это не новая установка, на заводе Ureco в Кейпенхурсте занято 300 рабочих (производящих 3.4 миллиона *EPP* в год); это обеспечивает опорную точку и новый взгляд на процесс.

Поскольку в Табл. А-1 приведен иной взгляд, Табл. А-2 предоставляет описательную статистику и корреляции для данных по рабочей силе. Масштаб переменных был выбран таким образом, чтобы их средние значения оказались подобными. В Табл. А-2 минимальное значение для количества рабочих *L* равно 1.0 (x100) рабочих, а максимальное – 5 (x100) рабочих. Максимальное значение для *EPP* меньше, чем в Табл. А-1, поскольку для Джорджа Бесси II не удалось отыскать данные о рабочей силе. Количество рабочих демонстрирует сильную корреляцию (82-83 %) как с количеством *EPP*, так и со значением *RATE*; корреляция между *EPP* и *RATE* менее выражена (57 %).

На основе этой информации оценены линейные и нелинейные модели рабочей силы *L* и представлены в виде функции от ежегодной производительности *EPP*:

$$L_i = 0.46 + 0.91EPP_i \quad (R^2 = 68.6 \%, F = 91.7 \%) \quad (6)$$

$$\ln(L_i) = 0.65 + 0.43 \ln(EPP) \quad (R^2 = 76 \%, F = 94.6 \%) \quad (7)$$

Линейная форма не столь хорошо оценена, как нелинейная. Уравнение (7) применяется для проверки гипотез и предсказаний. При масштабном множителе, равном 0.43, и стандартной ошибке 0.14 существует 98 процентов уверенности в том, чтобы отклонить постоянные нормы прибыли. Поэтому можно также заключить, что в вопросе о рабочей силе (как и с капиталом) параметр НП/ОП возрастает. Уравнение (7) применяется для оценки будущей рабочей силы *L*.

### Оценки цены электроэнергии для новых установок с центрифугами

В-третьих, данные о потреблении электроэнергии для центрифуг ЕТС и АСР, взятые у Всемирной ядерной ассоциации, таковы<sup>19</sup>: 50 кВт-часов на *EPP* для запуска центрифуг и 62.3 кВт-часов на *EPP* для работы предприятия. Энергопотребление центрифугами в Ризенде взято из работ Кабреры-Пальмера и Ротвелла: 100 кВт-час на *EPP*<sup>20</sup>. Далее, следуя сно-

ва Кабрере-Пальмеру и Ротвеллу, а также обновив цены на доллары 2008 года, получаем цену доставляемой электроэнергии – 106.72 доллара за Мвт-час (или 0.107 доллара за кВт-час), что включает в себя оплату передачи энергии по сети и распределение между потребителями<sup>21</sup>. Поскольку производство электроэнергии отнимает примерно половину этой цены, затраты на электроэнергию будут стоить примерно 53.36 долларов за Мвт-час (или 0.053 доллара за кВт-час).

### Оценка затрат на установку с новыми центрифугами

Таблица А-3 представляет оцененную и уравненную стоимость ( в расчете на ЕРР) новых установок с центрифугами в предположении о реальной 5%-ной стоимости капитала. Большие капитальные затраты технологии обогащения центрифугами приводят к тому, что ежегодные капитальные затраты составляют около 2/3 полных расходов. Рабочая сила потребляет около 1/6 ежегодных расходов, а электричество и оборудование - оставшуюся шестую часть.

Таблица А-3 показывает следующее:

- Похоже, что установки с технологией Urenco (NEF в Нью Мехико и George Besse II во Франции) стоят меньше, чем американская АСР компании USEC.
- Уравненная цена небольшой бразильской установки может оказаться вдвое выше, чем цена АСР и почти втрое выше по сравнению со средней ценой установок Urenco.

**Таблица А.3:** Уравненные затраты в расчете на ЕРР для будущих центрифуг (5% стоимость капитала, 6.51% - фактор возмещения капитала, + 7.48% - IDC, 10% на непредвиденные расходы).

Фирма		USEC	Urenco	Areva	Eurodif	Brazil
Завод	(2008 \$)	ACP	NEF	Idaho	Besse II	Resende
<b>Производительность</b>	тыс. ЕРР/год	<b>3800</b>	<b>3000</b>	<b>3000</b>	<b>7600</b>	<b>203</b>
Затраты на непрерывную работу	млн. долл.	3500	1650	2000	4066	278
Затраты на инвестиции	млн. долл.	4152	1957	2372	4823	330
<b>Капитал/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>71.07</b>	<b>42.44</b>	<b>51.44</b>	<b>41.83</b>	<b>105.68</b>
Количество сотрудников	человек	500	210	250	481	100
Полная ежегодная зарплата	тыс.долл./год	120	120	120	120	60
<b>Рабочая сила/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>15.79</b>	<b>8.40</b>	<b>10.00</b>	<b>7.70</b>	<b>29.560</b>
Потребление электроэнергии	кВт-час/ЕРР	62	62	62	62	100
Цена электроэнергии	долл./МВт-час	107	107	107	107	107
<b>Электричество/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>	<b>10.670</b>
<b>Материалы/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>9.21</b>	<b>5.50</b>	<b>6.67</b>	<b>5.42</b>	<b>13.69</b>
<b>Полные ежегодные затраты</b>	млн. долл.	<b>390</b>	<b>189</b>	<b>224</b>	<b>462</b>	<b>32</b>
<b>Уравненные цены ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>103</b>	<b>63</b>	<b>75</b>	<b>62</b>	<b>160</b>

## ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ ЗАТРАТЫ НА ПЕРЕДЕЛКУ РАБОТАЮЩИХ УСТАНОВОК С ЦЕНТРИФУГАМИ

В этом разделе дается приблизительная оценка существующих коммерческих установок с центрифугами, которыми владеют Urenco, японская компания JNFL и Росатом. (Смотрите Табл. 4 и Табл. 5.) Компания Urenco имеет три производственные установки в Кейпенхурсте, Великобритания с ежегодной производительностью 3.4 миллиона ЕРР, в Альмело, Голландия (2.9 миллиона ЕРР) и в Гронау, Германия (1.8 миллиона ЕРР). Затраты на круглосуточную переделку (в долларах 2008 года) оценены с помощью уравнения (5). Поскольку эти установки были уже построены, а часть капитала обесценилась, нет запасов на несчастные случаи и на другие обстоятельства, так что полные инвестиционные затраты ( $K$ ) равны оцениваемым затратам на круглосуточную переделку ( $k$ ). (Это предположение уменьшает уравненные капитальные затраты на устаревших установках примерно на 10%.) В данном случае Urenco и JNFL пользуются реальной пятипроцентной ценой капитала. Установки Urenco приносят уравненные расходы в том же самом диапазоне, что и новые установки в США. Затраты в Роккашо (Япония) выше из-за небольшого размера предприятия (кроме того, японские уравненные расходы могут оказаться еще выше из-за низких коэффициентов производительности в Роккашо, а его производительность уменьшается и средние цены могут оказаться наивысшими в мире.)

Точно такой же анализ приложим для оценки затрат на российских установках с центрифугами в Новоуральске (Уральский электрохимический комбинат, Свердловская область) с 12.45 миллионами ЕРР, Зеленогорске (Электрохимический завод, Красноярский край) с 7.39 миллионами ЕРР, Северске (Северский химический комбинат, Томская область) с 3.65 миллионами ЕРР и Ангарске (Иркутская область с 2.5 миллионами ЕРР<sup>22</sup>). Отметим еще раз, что значения для переделки установок могут быть промоделированы с помощью уравнения (5), а требования на рабочую силу – с использования уравнения (7). Для определения подходящих значений параметров обратитесь к работе Бухарина<sup>23</sup>.

Большие возможности разделения изотопов и низкая цена производства – возможно порядка 20 долларов за ЕРР (по сравнению примерно с 70 долларами за ЕРР в США), что стало возможным при использовании высоко эффективной методики центрифуг, а также доступность дешевых электричества, материалов и рабочей силы сделали российское обогатительное предпринимательство высоко конкурентоспособным.

Поэтому предположим, что российские заводы обладают следующими особенностями: (1) реальная цена капитала равна 2.5 %, что приводит к фактору возврата капитала 4.8 % ( в отличие от 6.5 % для всех остальных установок с центрифугами), (2) полная стоимость рабочей силы равна 60 000 долларов в год на сотрудника, как и в Бразилии, и (3) цена электроэнергии равна 53 доллара за МВт-час (неявно подразумевается, что передача и распределение энергии уже оплачены). Подробности смотрите в Таблице А-5. Оцененная уравненная цена в долларах 2008 года лежит между 53 долларами для самых малых установок и 35 долларами для самых больших, что меньше, чем у всех остальных обогатительных установок. Упомянутое Бухариным соотношение 20-70 долларов идентично отношению взвешенных средних, российских цен (от 46 долларов за ЕРР до рыночных цен в конце 2008 года, равных 160 долларам за ЕРР). Российское обогатительное предпринимательство продолжает оставаться высоко конкурентоспособным.

## ПРОЕКТИРУЕМЫЕ ЗАТРАТЫ ДИФфуЗИОННЫХ УСТАНОВОК

Наконец, модель используется для приближенного анализа ценовой структуры существующих коммерческих диффузионных заводов, которыми владеют USEC и Eurodif (смотрите Табл. А.6).

Конечно, это другая технология (но примерно 85 % затрат на диффузионное обогащение определяются ценой за электричество, а все остальные затраты, которые можно аппроксимировать моделью технологии центрифуг, имеют второй порядок важности). Применяя такую же методику предсказания, как и ранее, получим, что текущие инвестиционные расходы (*значения для замены*) для каждого диффузионного завода составят около 4 миллиардов долларов. В модели предполагается реальная цена капитала 2.5% для определения еже-

годного налога на капитал. Допустим, что новейший диффузионный завод Eurodif (завершенный в 1982 году) работает при 2200 кВт-час/ЕРР, в то время как более старый завод USEC в Падуке (завершен в 1954 году) работает при 2500 кВт-час/ЕРР. Допустим, что заводы обслуживают электрогенераторы по цене 53 доллара за МВт-час (стоимостью передачи и распределения энергии, как и до этого, пренебрегаем). Такое большое использование электричества делает газодиффузионные заводы самыми дорогими производителями в обогащательной промышленности (обладающими примерно половиной всемирного коммерческого производства). Эти заводы предполагается остановить в следующем десятилетии.

**Таблица А-4: Уравненные расходы на ЕРР, производительности работающих центрифуг (в Европе и Японии). Цена капитала – 5%, фактор возврата капитала - 6.51%. +0% IDC, 0% непредвиденных расходов.**

Фирма		Urenco	Urenco	Urenco	JFNL
Завод	(2008 \$)	Кейпенхурст	Альмело	Гранану	Роккашо
<b>Производительность</b>	тыс. ЕРР/год	<b>3400</b>	<b>2900</b>	<b>1800</b>	<b>1500</b>
Затраты на непрерывную работу	млн. долл.	2342	2076	1445	1095
Затраты на инвестиции	млн. долл.	2342	2076	1445	1095
<b>Капитал/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>44.82</b>	<b>46.56</b>	<b>52.21</b>	<b>56.98</b>
Количество сотрудников	человек	340	317	257	219
Полная ежегодная зарплата	тыс.долл./год	120	120	120	120
<b>Рабочая сила/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>11.99</b>	<b>13.10</b>	<b>17.12</b>	<b>20.99</b>
Потребление электроэнергии	кВт-час/ЕРР	62	62	62	62
Цена электроэнергии	долл./МВт-час	107	107	107	107
<b>Электричество/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>	<b>6.65</b>
<b>Материалы/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>6.89</b>	<b>7.16</b>	<b>8.03</b>	<b>8.76</b>
<b>Полные ежегодные затраты</b>	млн. долл.	<b>239</b>	<b>213</b>	<b>151</b>	<b>117</b>
<b>Уравненные цены ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>70</b>	<b>73</b>	<b>84</b>	<b>93</b>

#### ОЦЕНКА ДОЛГОСРОЧНЫХ СРЕДНИХ ЗАТРАТ НА УСТАНОВКАХ С ЦЕНТРИФУГАМИ

Обратная функциональная форма использована для оценки связи между средними затратами АС и объемом производства ЕРР для этих моделирующих данных:

$$AC = \gamma + \delta(1/ЕРР) \quad (8)$$

Средние затраты подсчитываются для *гипотетических* заводов многих размеров при реальной цене капитала 5 % и 10 %. Связь между средними затратами и величиной, обратной размеру установки, подсчитывается с использованием методики наименьших квадратов (МНК). Такие расчеты приведены на Рис. А.1, где показаны результаты МНК. (Здесь рост параметра НП/ОП почти полностью истощается на участке с “минимальным эффективным объемом производства”, расположенном между 2.5 и 2.9 миллионами ЕРР, где затраты составляют не более 10% от значения асимптоты, равного постоянной величине  $\gamma$ ). Как пример, для завода с производительностью в один миллион ЕРР за год с  $r = 10\%$  уравненные средние затраты примерно составят  $108 + 27 = 135$  долларов на ЕРР в ценах 2008 года.



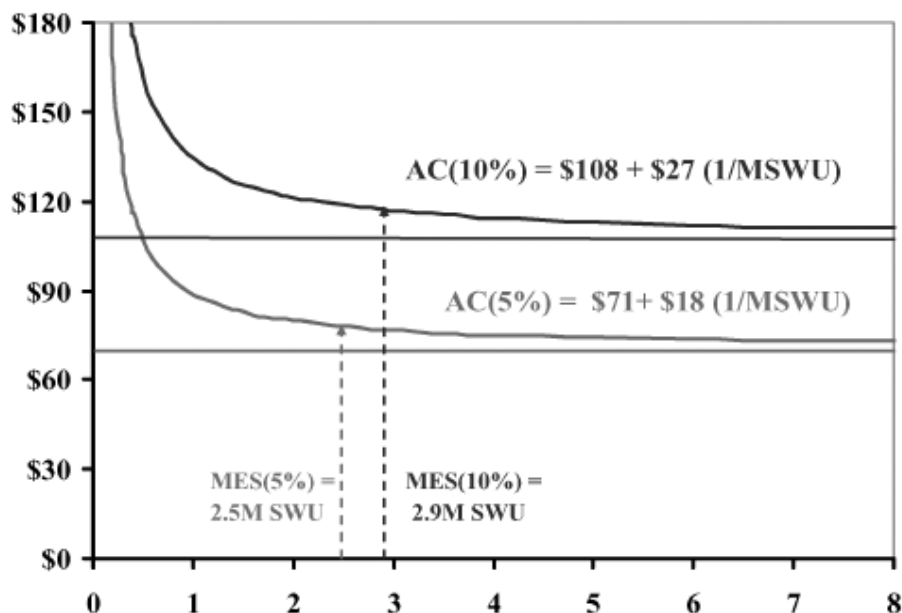
**Таблица А-5:** Уравненные расходы на ЕРР, производительность существующих центрифуг (Россия). (Цена капитала 2.5%, фактор возврата капитала – 4.78%, + 0% IDC, 0 % непредвиденных расходов.)

Фирма		Тенех	Тенех	Тенех	Тенех
Завод	(2008 \$)	УЭХК	ЭХЗ	СХК	Ангарск
<b>Производительность</b>	тыс. ЕРР/год	<b>12450</b>	<b>7390</b>	<b>3650</b>	<b>2500</b>
Затраты на непрерывную работу	млн. долл.	6282	4226	2472	1854
Затраты на инвестиции	млн. долл.	6282	4226	2472	1854
<b>Капитал/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>24.11</b>	<b>27.32</b>	<b>32.36</b>	<b>35.44</b>
Количество сотрудников	человек	601	478	350	297
Полная ежегодная зарплата	тыс.долл./год	60	60	60	60
<b>Рабочая сила/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>2.90</b>	<b>3.88</b>	<b>5.76</b>	<b>7.12</b>
Потребление электроэнергии	кВт-час/ЕРР	62	62	62	62
Цена электроэнергии	долл./МВт-час	53	53	53	53
<b>Электричество/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>3.32</b>	<b>3.32</b>	<b>3.32</b>	<b>3.32</b>
<b>Материалы/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>5.05</b>	<b>5.72</b>	<b>6.77</b>	<b>7.42</b>
<b>Полные ежегодные затраты</b>	млн. долл.	<b>440</b>	<b>297</b>	<b>176</b>	<b>133</b>
<b>Уравненные цены ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>35</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>53</b>

**Таблица А.6:** Уравненные расходы на ЕРР, производительность существующих в США и Франции диффузионных заводов (цена капитала 2.5%, фактор оборота капитала 4.75%, +0% IDC , +0 % на непредвиденные расходы.

Фирма		USEC	Areva
Завод	(2008 \$)	Падука	Eurodif
<b>Производительность</b>	тыс. ЕРР/год	8000	11300
Затраты на непрерывную работу	млн. долл.	4.488	5.836
Затраты на инвестиции	млн. долл.	4.488	5.836
<b>Капитал/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>18.98</b>	<b>25.82</b>
Количество сотрудников	Человек	495	576
Полная ежегодная зарплата	тыс.долл./год	120	120
<b>Рабочая сила/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>6.88</b>	<b>8.61</b>
Потребление электроэнергии	кВт-час/ЕРР	2500	2200
Цена электроэнергии	долл./МВт-час	53	53
<b>Электричество/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>133.38</b>	<b>117.37</b>
<b>Материалы/ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>3.97</b>	<b>5.40</b>
<b>Полные ежегодные затраты</b>	млн. долл.	<b>1826</b>	<b>1674</b>
<b>Уравненные цены ЕРР</b>	доллары/ЕРР	<b>163</b>	<b>157</b>

В данном случае неизвестно, где кривая затрат, изображенная на Рис.А.1, может начать расти. С учетом того, что Россия может увеличить производительность любой из своих установок, а сейчас производительность на УЭХЗ в Новоуральске уже достигла 12.45 миллионов ЕРР в год, разумно сделать вывод, что затраты на УЭХЗ больше уже не растут. Так что, непохоже, чтобы средние затраты на установку из сходных по конструкции центрифуг начали расти до достижения производительности в 12 миллионов ЕРР в год, что в четыре раза превышает параметры любого завода, строящегося в США, и не попадает на график Рис.А.1.



**Рисунок А.1:** Оцененные кривые затрат для технологии центрифуг. На вертикальной оси отложены затраты на ЕРР в долларах 2008 года. На горизонтальной оси отложен объем производства в миллионах ЕРР/год. Кривые построены по уравнению (8). Отдельно указаны значения MES (минимальный эффективный объем производства)

#### ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ К ПРИЛОЖЕНИЮ

1. Paul Harding, "Роль английского бизнеса в обеспечении безопасности энергопитания от атомной энергетики", представлено на заседании Рабочей группы Британской энергетической ассоциации, Лондон (14 апреля 2005 года).
2. Рабочая группа по экономическому моделированию (РГЭМ). *Справочник по оценке затрат для ядерных энергосистем четвертого поколения.* (Международный форум., 2007).
3. Смотрите [1].
4. G.S Rothwell, and T. Gomez, "Экономика электричества: Регулирование и отсутствие регулирования" (IEEE Press/ John Wiley, 2003).
5. Смотрите ссылку [4] к основной статье, а также [2].
6. Смотрите [2].
7. USEC, "Замечания Джона Уелша, президента и главного исполнительного руководителя, на ежегодной встрече акционеров USEC Inc." Bethesda, MD (April 26, 2007).
8. WNA (Всемирная ядерная ассоциация), "Обогащение урана".
9. Смотрите [8], а также R. Auteberg (представитель Areva), "Долгосрочный взгляд на подпитку цикла ядерного топлива – вложения компании AREVA в деятельность на первом этапе", представлено на ежегодной встрече участников Всемирного рынка ядерного топлива, Сиэтл, Вашингтон 6 июня 2006).
10. Смотрите ссылку [4] к основной статье.
11. E.Guizzo, "Как Бразилия воодушевилась атомом", IEEE Spectrum (March 2006), 6.
12. Все оценки были также проведены с использованием  $CENTS_i$  в качестве пояснительной переменной. Это не было статистически существенным ни в одном уравнении само по себе или с другими переменными.  $RATE_i$  также применялись в качестве независимой переменной

во всех статистических анализах для определения прочности оценки коэффициента у  $EPP_i$ . Эти результаты можно получить у автора.

13. Были оценены несколько функциональных форм, включая полулогарифмическую, обратную и логарифмически-обратную. Линейная, логарифмически-линейная и логарифмически-обратная модели имеют наиболее высокую объяснительную силу, но ни одна модель не привела к уменьшению параметра НП/ОП. Это также оказалось верным для уравнений (6) и (7). Смотрите J. Johnston and J. Dinardo, *Эконометрические методы*, 4<sup>th</sup> ed, (McGraw-Hill, 1997), 44.

14. Смотрите ссылку [4] к основной статье.

15. Смотрите [2].

16. Enrichment Technology Company Limited (ETC), *Годовой отчет и доклад за 2006* (2007).

17. USEC, "Определение параметров завода с центрифугами в Пайктоне, Огайо" Пресс-релиз (2004).

18. Смотрите [14].

19. Смотрите [8].

20. Смотрите [14].

21. Там же.

22. International Panel on Fissile Materials, 2007: *Глобальный отчет о делящихся материалах, 2007*. Фонд Карнеги.

23. Олег Бухарин. "Понимание российского комплекса по обогащению урана", *Наука и всеобщая безопасность* 12 (2004):