

Ядерный топливный цикл

Экономика спроса на уран и его предложения

Ф. Дармаян*

Урановый рынок возник относительно недавно, и его "законы" выяснены еще не полностью. Это до некоторой степени дезориентирует заинтересованных, а также принимающих решения лиц, которым необходимо прогнозировать развитие рыночной ситуации. Рынок уранового сырья обладает рядом характеристик, которые резко отличают его от рынков других минералов, включая другие виды энергетического сырья.

Во-первых, применение урана весьма ограничено, и во всех практических целях оно ограничивается военной технологией и гражданской ядерной энергетикой. С 1942 по 1974 годы мировые потребности для военных целей составили свыше 200 000 т урана, или около 50% суммарного мирового производства за этот период. Эти потребности уже не играют определяющей роли, и для всех практических целей можно считать, что только потребности в уране для производства электроэнергии определяют экономику уранового рынка. Лишь весьма немногие другие металлы имеют подобное ограниченное применение: это барий (используемый почти целиком в виде брикетов при бурении нефтяных скважин), галлий (при изготовлении диодов и сверхпроводников) и титан (в авиационной промышленности).

Вторая характеристика, которую следует отметить, заключается в том, что *не существует прямых заменителей урана*. На построенной АЭС уран не может быть заменен каким-либо другим топливом.

* Эксперт по экономическим вопросам фирмы "Uranium Recherche Uguine Kuhlmann" и основатель рабочей группы по экономике спроса и предложения Уранового института. Г-н Дармаян выражает благодарность своим коллегам по институту за помощь в подготовке настоящей статьи.

Это почти полная невозможность замены — исключая медленную и дорогостоящую модификацию системы выработки электроэнергии — может считаться уникальной особенностью применения данного металла. Даже барий, галлий и титан могут быть заменены другими металлами, если их цена станет чрезмерно высокой. Большинство титановых деталей могут изготавливаться, если это необходимо, из алюминия или из специальных сталей.

В-третьих, уран также обладает *необычными экономическими характеристиками*, если сравнивать его с другими видами сырья для производства электроэнергии. Обработка минерала образует весьма значительный вклад — около 88% — в стоимость готовых топливных сборок, вводимых в ядерные реакторы, в сравнении соответственно с 42% или 33% в случае тепловых электростанций, работающих на угле и нефти. Однако абсолютные уровни расходов на ядерное топливо низки, и это, несмотря на высокие затраты на начальных этапах (в основном это затраты на обогатительных фабриках и расходы собственно на АЭС), позволяет прогнозировать общую экономику электростанции. Одним из практических последствий подобных низких затрат на топливо является то, что уран, необходимый для работы станции в течение ее эксплуатационного срока службы до 30 лет, можно считать уже выделенным, по существу независимо от изменений в стоимости природного урана.

В-четвертых, с точки зрения *расходов на транспортировку и хранение* уран обладает преимуществами по сравнению со всеми другими источниками энергии, включая, в частности, нефть и уголь (см. табл. 1). Подобная простота хранения в сочетании с необходимостью долгосрочных гарантий поставок топлива,

Таблица 1. Годовая потребность электростанции мощностью 1000 МВт (эл.) в топливе [1]

	На угле	На нефти	АЭС, реактор с водой под давлением
Количество топлива	2,2 × 10 ⁶ т эквивалента угля	1,5 × 10 ⁶ т эквивалента нефти	150 т природного урана
Хранение топлива	40 га (400 × 100 м)	25 га (50 резервуаров емкостью 30 000 м ³)	< 50 м ³ (66 контейнеров емкостью 3 т каждый)
Стоимость топлива (приблизительная, фр. франков)	450 млн.	600 млн.	60 млн.
Транспорт	22 насыпных сухогруза грузоподъемностью 100 000 т — по одному каждые 16 дней	1500 барж по 1000 т — по четыре баржи каждый день	2 железнодорожных вагона или семь грузов автомобилей

Таблица 2. Прогнозы установленной электрической мощности (ГВт) стран мира, кроме стран с централизованно планируемой экономикой [2]

	Министерство энергетики США (нижняя оценка)	НАС	Урановый институт (нижняя оценка)	NUKEM	Министерство энергетики США (верхняя оценка)	Урановый институт (верхняя оценка)	МОЯТЦ (нижняя оценка)	NUEXCO	НАС (по данным электроэнергетических компаний)	МОЯТЦ (верхняя оценка)
	1980	1980	1980	1980	1980	1980	1979	1980	1980	1979
1985	209	208	227	227	242	227	245	264	264	274
1990	292	306	335	345	360	350	373	328	375	462
1995	388	395	356	—	493	494	550	—	—	770

желательной для организаций, эксплуатирующих АЭС, объясняет большие размеры существующих в настоящее время запасов урана, которыми располагают компании по электроснабжению во всем мире (93 000 т урана на конец 1979 года).

И наконец, ядерная промышленность представляет собой отрасль с необычно продолжительными сроками реализации проектов. Как для владельцев урановых рудников, так и для компаний по электроснабжению время между принятием решения об осуществлении проекта и моментом, когда новый рудник или АЭС будет введена в эксплуатацию, может составлять 10 и более лет. Ввиду таких продолжительных сроков реализации проектов для всех практических целей уже известен верхний предел установленной мощности АЭС, а также мощностей обогатительных фабрик на период до конца 1980-х годов. И по весьма аналогичным причинам известны также с высокой степенью определенности максимальные уровни мощностей по производству урана, которые будут иметься к этому времени.

Ввиду всех указанных причин урановый рынок сильно зависит от прогнозов производства электроэнергии на АЭС и от рыночных перспектив в отношении основных компонентов ядерного топливного цикла, и особенно обогатения. Однако эти взаимосвязи полностью не защищают урановый рынок от неопределенностей в балансе спроса и предложения в 1980-х годах и в более поздний период. Значительное сокращение программ строительства АЭС, наблюдаемое с 1976 года, наличие избыточных мощностей на рынке обогатения и увеличение задержек при вводе новых ядерных установок в эксплуатацию плюс гибкость, обеспечиваемая легкостью хранения урана — все это подтверждает необходимость тщательного и постоянного анализа соотношения между предложением урана и спросом на него.

Урановый институт, который был организован в 1975 году, является международной промышленной ассоциацией, включающей представителей как производителей урана, так и электроэнергетических компаний. В его работах принимают участие свыше 50 крупных организаций 14 стран. Одной из наиболее важных целей института является использование накопленного среди его членов опыта для содействия

лучшему пониманию экономики уранового рынка. Решению этой задачи способствует главным образом работа комитета по спросу и предложению, который существует с 1978 года. Задачей этого комитета является анализ перспектив предложения урана и спроса на него, а также публикация докладов, в которых исследуются факторы, управляющие рынком. Кроме того, в сентябре каждого года Урановый институт организует симпозиум, на котором многочисленными организациями: производителями, потребителями, консультантами и правительственными учреждениями подробно рассматривается экономика уранового рынка.

Комитет по спросу и предложению института постоянно корректирует свои прогнозы, и в нынешнем году будет опубликован еще один доклад. Между тем, на основании анализа некоторых особенностей уранового рынка, которые были подробно рассмотрены в докладах, представленных на последних симпозиумах института, представляется возможным определить с достаточной степенью определенности вероятные тенденции.

Гибкость спроса

В табл. 2 приведены данные прогноза роста ядерных мощностей на период до 1995 года, составленного Урановым институтом в сентябре 1980 года. В соответствии с этими оценками*, которые основаны на данных о всех реакторах, находящихся в эксплуатации или строящихся в настоящее время, а также заказанных на фирмах-изготовителях (по состоянию на сентябрь 1980 года), мощность АЭС в 1985 году составит 227 ГВт (эл.), а в 1990 году 335 ГВт (эл.). Если к этим данным добавить данные о всех планируемых реакторах (на сентябрь 1980 года), то оценки на 1990 и 1995 годы составят соответственно 350 ГВт (эл.) и 494 ГВт (эл.).

Приведенные прогнозы учитывают состояние, в котором находится каждый сооружаемый реактор, а также ситуацию в отношении развития ядерной энергетики, преобладающую в каждой стране.

* Соответствующие оценки, полученные в рамках МОЯТЦ, приведены в статье Беннетта на с.9 данного бюллетеня.

Таблица 3. Возможное сокращение потребностей в уране в результате определенных изменений в топливном цикле [1]

Изменения технологии	Сокращение потребностей в уране, %
Уменьшение содержания урана в хвостах	
0,15%	7,3
0,10%	13,4
0,05%	18,6
Переработка/повторное использование:	
урана	19,0
урана/плутония	30,0
Полное использование БР:	99,0 (приблизительно)

В случае повторного использования указанная экономия реализуется лишь через несколько лет. Приведенные выше данные по сокращению соотнесены со стандартными условиями: обогащение хвостов 0,20%; обогащение по урану-235 готовой продукции 3,25%; повторное использование не применяется.

Исключая США, прогнозы института основываются на предположении о том, что сроки сооружения не превысят 6 лет. Лишь на 20 АЭС, находящихся на раннем этапе строительства, по-видимому, имеются трудности, и эти АЭС не будут введены в промышленную эксплуатацию в течение ближайших 8-10 лет. Для США приняты более продолжительные сроки реализации проектов, составляющие 10 лет; пока еще рано давать оценку влиянию в будущем на сроки реализации более благосклонного отношения к ядерной энергетике, признаки которого мы наблюдаем сейчас.

Помимо прогнозов роста ядерных мощностей, основными факторами, которые определяют спрос на уран, являются содержание урана в хвостах на обогатительных предприятиях и возможность повторного использования урана и плутония в реакторах с водой под давлением (РВД) и быстрых реакторах-размножителях (БР) после переработки отработавшего топлива. Современные методы обогащения допускают содержание урана в хвостах от 0,15% до 0,30%. Другие методы, все еще находя-

Рис. 1. Прогноз годового производства урана в отдельные годы в период с 1980 по 1990 год [2].

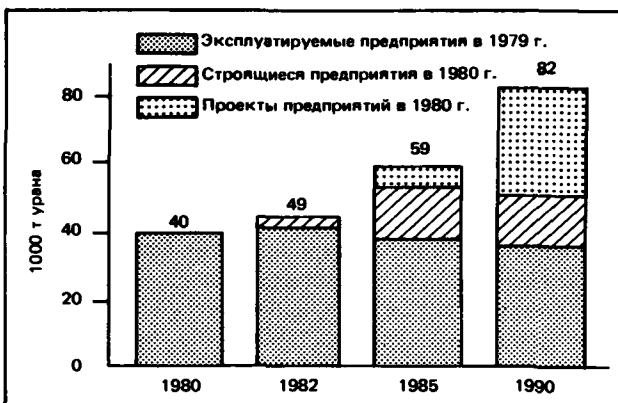


Таблица 4. Концентрация урана в относительно небольшом числе месторождений [3]

Число месторождений	Число месторождений	Суммарные данные	
		Запасы (тыс. т)	% от общего количества
9	9	982,0	49,5
17	26	1336,3	67,3
60	86	1811,0	91,2
48	134	1985,3	100,0

щиеся в экспериментальной стадии, могут позволить снизить этот уровень до 0,10% или даже до 0,05%. В табл. 3 приводятся данные, показывающие, в какой степени потребление урана может быть снижено путем изменения содержания урана в хвостах по сравнению со стандартными условиями: концентрация урана-235 в готовой продукции 3,25%; содержание урана в хвостах 0,20%; топливо повторно не используется.

Однако гибкость, которая теоретически существует в структуре спроса, не всегда оказывается практически доступной компаниям по электроснабжению, поскольку предприятия, занимающиеся обогащением, позволяют своим заказчикам выбирать содержание урана в хвостах в диапазоне только от 0,20% до 0,30% при условии предварительного уведомления, срок подачи которого может варьироваться от 15 месяцев до 4 лет. Выбор в значительной степени определяется преобладающей ценой природного урана и стоимостью разделительной работы (т.е. главным образом затратами обогатительного предприятия на электроэнергию). В зависимости от выбранной степени обогащения хвостов изменение спроса может достигать 20%, что

Таблица 5. Наличие урановых месторождений в различных странах мира (коротких тонн U₃O₈) [3]

Страна	Число месторождений	Запасы (тыс. т)	Запасы в расчете на месторождение (тыс. т)
Алжир	1	34,0	34,0
Австралия	14	491,7	35,1
Бразилия	2	4,0	2,0
Центрально-Африканская Республика	1	10,5	10,5
Канада	45	527,3	11,7
Франция	3	156,2	52,1
Габон	5	46,5	9,3
Гренландия	1	0,1	0,1
Нигер	6	273,5	45,6
Намибия	2	125,0	62,5
США	52	315,4	6,0
ФРГ	2	1,1	0,5
Всего	134	1985,3	14,8

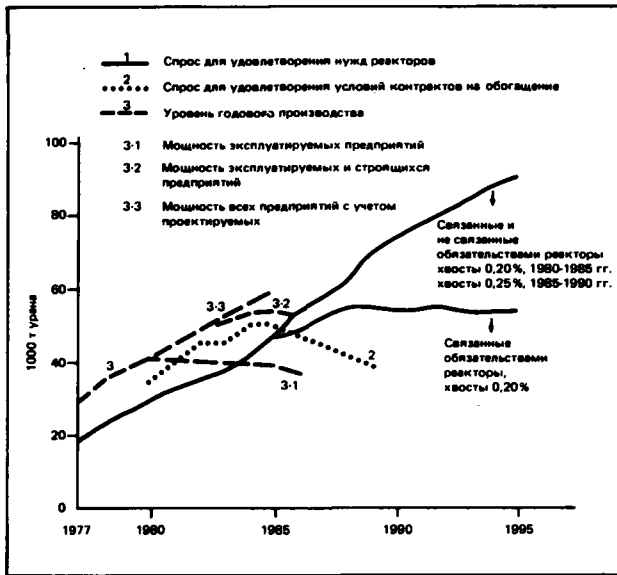


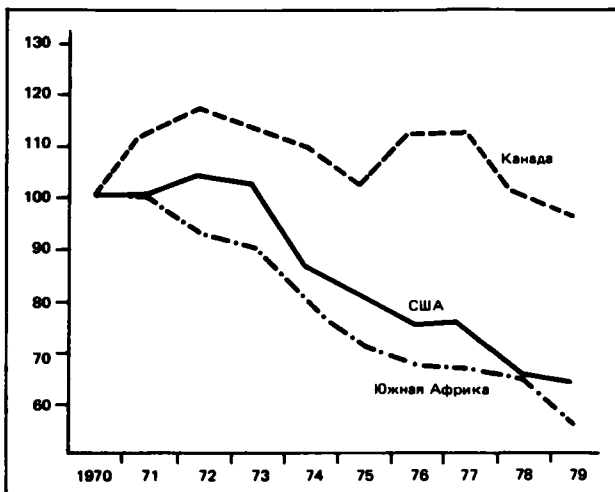
Рис. 2. Оценки предложения урана и спроса на него [2]. (Годовые данные для периода с 1980 по 1995 год, в тыс. т урана).

является весьма важным фактором в общем балансе спроса и предложения.

Гибкость предложения урана

До 1979 года вопрос о том, способна ли будет горнодобывающая промышленность производить достаточное количество урана для того, чтобы избежать его дефицита, вызывал значительное беспокойство среди потребителей; однако в 1980 году произошли существенные изменения. По-видимому, этот год войдет в историю как год, когда значительно упали цены на уран при продаже за наличные, когда был задержан или отменен ввод в эксплуатацию горнодобывающих объектов, а обогащательные предприятия закрывались или

Рис. 3. Тенденции изменения среднего содержания урана в поставляемых с рудников урановых рудах, 1970-1979 годы [4]. (Среднегодовые данные, уровень 1970 года = 100). Данные по США относятся к сырью обогащательных фабрик без учета изменения уровня извлечения, в то время как данные по Канаде учитывают изменения в уровнях извлечения.



работали с неполной мощностью. Безусловно, эти изменения явились прямым следствием продолжающихся задержек в осуществлении ядерно-энергетических программ. Итоговым результатом явилось возрастание неопределенностей в отношении уровней производства урана в будущем. Структура возможностей предложения на период с 1980 по 1995 год с точки зрения имеющихся на сегодняшний день данных приведена на рис. 1.

Производственные мощности эксплуатируемых в настоящее время обогащательных предприятий составляют около 40 000 т в год, причем половина из этих мощностей контролируется США. По прогнозам института, объем предложения урана в 1985 году может возрасти приблизительно до 60 000 т, если ни одно из существующих обогащательных предприятий не будет закрыто или эксплуатироваться с неполной мощностью. Из общего объема производства 65% будет обеспечиваться эксплуатируемыми в настоящее время предприятиями, а 24% — предприятиями, проекты которых находятся на стадии реализации; лишь 10% предложения обеспечат предприятия, создание которых в настоящее время рассматривается.

К 1990 году может быть реализовано значительно большее число проектов. К этому времени суммарная производственная мощность может составить не менее 82 000 т. В этом случае 45% объема предложения будут обеспечивать существующие предприятия, 17% — сооружаемые предприятия, а остальные 38% обеспечат предприятия, проекты которых находятся в настоящее время на стадии рассмотрения. Однако следует помнить, что технико-экономическую осуществимость многих из этих проектов еще предстоит продемонстрировать.

Структура предложения урана имеет высококонцентрированный характер. Как следует из табл. 4 и 5, 17 месторождений содержат 67% запасов (достаточно достоверные запасы, разработка которых экономически выгодна, при предварительной цене менее 30 долл. США за 1 фунт U_3O_8), а 4 страны являются обладателями 81% этих запасов. Такая концентрация, вызывающая некоторое удивление ввиду того факта, что месторождения урана встречаются в самых различных точках земного шара, представляет собой один из главных возможных источников перебоев в поставках, с которыми сталкивается урановый рынок.

Баланс спроса и предложения

На рис. 2 приводится сравнение возможного потребления и предложения урана, основанное на приведенных выше оценках института. Очевидно, что до 1985 года, несмотря на несколько случаев расторжения контрактов на обогащение, спрос, определяемый контрактами на обогащение, будет по-прежнему сохраняться более высоким, чем спрос, определяемый потребностями реакторов. Однако также ясно, что в период с 1980 по 1985 год производство урана на сооружаемых или находящихся в эксплуатации обогащательных предприятиях, вероят-

нее всего, превысит спрос на уран независимо от того, чем будет определяться этот спрос.

После 1990 года баланс спроса и предложения будет в значительной степени зависеть от текущей ядерной политики. На рис. 2 показаны также верхний и нижний пределы потребностей реакторов, в основу которых положены оценки института и параметры содержания урана в хвостах обогащения. Что касается предложения, то на решение о строительстве новых обогатительных предприятий, по-видимому, будут оказывать весьма сильное влияние решения, касающиеся возобновления активного осуществления ядерно-энергетических программ.

Анализ цен на уран

Попытки исследования уранового рынка часто производятся без стремления проанализировать влияние тенденций изменения цен на баланс спроса и предложения. Было уже показано, что спрос относительно нечувствителен к изменениям цен, причем в такой степени, что концепция равных издержек имеет весьма несущественное значение с точки зрения производства энергии с использованием урана. Эти издержки, по-видимому, соотносятся с той ценой, которую предприятие, вырабатывающее электроэнергию, должно будет заплатить за необходимый ему уран для того, чтобы обеспечить при выработке на АЭС электроэнергии такие же издержки, как и в случае другого наименее дорогостоящего способа выработки электроэнергии (обычно с использованием угля). На практике, разумеется, — вследствие

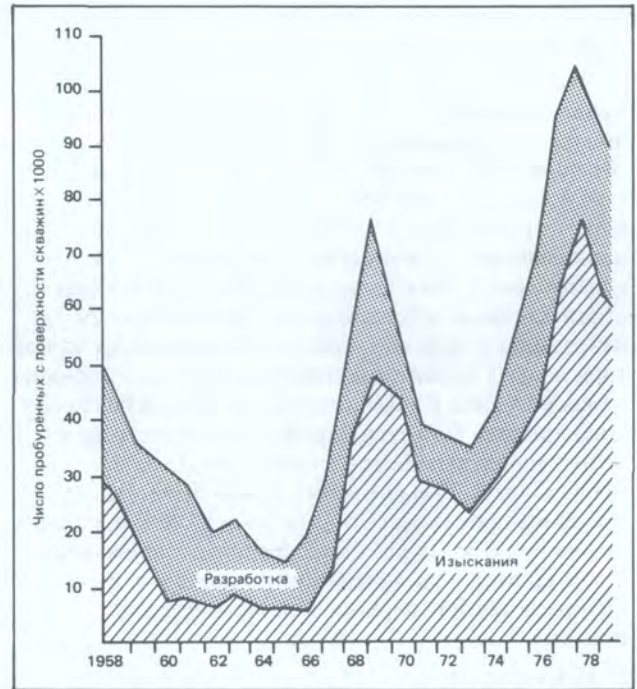


Рис. 4. Статистика изысканий урана в США [4].

продолжительных сроков реализации проектов строительства АЭС — подобная концепция оказывается более полезной для оценки экономических преимуществ ядерной энергетики по сравнению с тепловой электроэнергетикой, основанной на использовании угля, чем для целей оказания отрасли

Открытая разработка урана в департаменте Вандея, Франция.



и рынку помощи в уравнивании предложения урана и спроса на него.

Что касается предложения, то необходимо провести различие между потенциальными и имеющимися поставщиками. Последние обладают лишь ограниченной способностью реагировать на изменения экономической обстановки. Основными параметрами, на которые могут оказывать влияние принимаемые административные решения, являются: содержание урана в руде, эффективность работы обогатительных предприятий и эффективность извлечения урана. Ни один из перечисленных параметров не дает значительной гибкости, и использование каждого из них в течение слишком продолжительного времени может привести в будущем даже к неблагоприятным последствиям для уранового производства. Тем не менее важно отметить, что в прошлом проявлялась общая тенденция к использованию руд с более высоким средним содержанием урана во время экономических спадов и с более низким в течение периодов экономического подъема.

Приведенная на рис. 3 кривая данных по Канаде представляет собой яркий пример того, каким образом рыночная цена влияет на содержание урана в обогащаемой руде. Во время спада в начале 1970-х годов на рудниках Элиот-Лейк использовалась руда с высоким содержанием урана. Впоследствии перспективы улучшения прибылей и возрастание спроса способствовали расширению рудника и разработке руд с более низким содержанием урана. За исключением начального этапа разработки относительно богатого месторождения Рэббит-Лейк в конце 1975 года эта тенденция снижения среднего уровня содержания урана в добываемых в Канаде рудах продолжалась до 1979 года.

Влияние цен на уран в еще более значительной степени проявляется в отношении разведки урановых месторождений. Как показано на рис. 4, в целом интенсивность изысканий соответствует масштабам

размещения заказов на реакторы в США. На графике отражена история 20-летнего опыта изысканий и разведочного бурения в США, при этом показано число скважин, пробуренных с поверхности в каждом году. В целом график наглядно отражает спады в промышленности в начале 1960-х и 1970-х годов и показывает возможное начало еще одного спада в 1979 году.

Содержание урана в руде и расходы на разведку представляют собой два примера тесной исторической связи между тенденциями изменения цен на уран и реальным и возможным производством урана. Несмотря на то, что на выпуск продукции существующими предприятиями изменения цен могут оказывать лишь ограниченное влияние, эти изменения могут сдерживать процесс капиталовложений в урановую разведку со стороны горнодобывающих компаний, которые зачастую руководствуются и другими интересами, помимо урана. Сохранение подобной тенденции в течение определенного времени может привести к возврату весьма низких уровней интенсивности разведочных работ, как это было в начале 1970-х годов, со всеми возможными вытекающими отсюда последствиями для производства и для долгосрочной стабильности поставок топлива для АЭС во всем мире.

Литература

- [1] *The uranium market and its characteristics* Jean-Paul Langlois In: Proceedings of the 3rd international symposium of the Uranium Institute, Mining Journal Books, London, UK (1978).
- [2] *The balance of supply and demand: a reassessment* Philippe Darmayan In: Proceedings of the 5th international symposium of the Uranium Institute, Westbury House, Guildford, UK (1980).
- [3] *Reserve/grade relationships by type of uranium deposit: key to strategies for securing future uranium supplies* Hugh Douglas In: Proceedings of the 5th international symposium of the Uranium Institute, Westbury House, Guildford, UK (1980).
- [4] *Economic factors and the uranium market* Philip Crowson In: Proceedings of the 5th international symposium of the Uranium Institute, Westbury House, Guildford, UK (1980).