

# MPRA

Munich Personal RePEc Archive

## **The adequacy of Hubbert's curves for the forecasting of the rates of oil extraction**

Andrei Bazhanov and Alexei Vyscrebentsev

18. July 2005

Online at <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/479/>

MPRA Paper No. 479, posted 17. October 2006

## Адекватность кривых Хабберта для прогнозирования темпов добычи нефти

*Бажанов А.В., Выскребенцев А.С.*  
Дальневосточный государственный университет

Предлагается методика, основанная на применении статистики Дарбина-Уотсона и других статистических критериев, для определения количества нелинейных по параметрам слагаемых в эмпирической модели М.Хабберта. Приводится сравнительный анализ моделей, построенных с использованием различных критериев для описания динамики темпов добычи по данным о добыче нефти в США и в России. Адекватность полученных моделей проверяется по соответствию построенной динамики известным оценкам количества извлекаемого запаса нефти.

### Введение

Согласно результатам М. Хабберта и его последователей [1,2], лучше всего динамика добычи нефти описывается суммой логистических кривых (называемых кривыми Хабберта) вида:

$$P = \sum_{i=1}^N \frac{2P_{\max_i}}{1 + ch(b_i(t - t_{\max_i}))} + \xi(t), \quad (1)$$

где  $P$  – годовой объем добычи нефти в год  $t$ ,  $P_{\max_i}, t_{\max_i}$  – максимальный объем добычи и соответствующий год для  $i$  – кривой,  $b_i$  – параметр наклона  $i$ -й кривой,  $ch$  – гиперболический косинус,  $\xi(t)$  – нормально распределенная случайная ошибка с нулевым средним.

Основной проблемой выбора параметров  $P_{\max_i}, t_{\max_i}$  и  $b_i$  модели (1) считается определение числа слагаемых  $N$ , что, предположительно, может соответствовать, например, количеству крупнейших месторождений или нефтеносных провинций.

Для решения задач о разделении смеси, каковой является задача о поиске количества слагаемых  $N$  и параметров функции (1), существует множество подходов, включающих в себя, например, кластерный анализ [3,4], спектральный анализ [5], преобразование Лапласа с последующей аппроксимацией Паде [6]. Каждая из этих процедур имеет свои достоинства и недостатки, связанные как с техническими сложностями реализации, так и с качеством моделей, получающихся в результате их использования.

В настоящей работе применялась методика определения количества слагаемых  $N$  и параметров модели (1), основанная на использовании статистики Дарбина-Уотсона и некоторых других статистических критериев. Данная методика успешно применялась авторами для разделения смесей в плохо обусловленных задачах физической химии [7,8] и показала свое преимущество перед процедурой Паде-Лапласа. Для решения задач нелинейного программирования использовался вариант метода конкурирующих точек с предварительным масштабированием переменных (для локализации точки минимума) и модифицированный метод Ньютона для локализации решения.

## Использование статистических критериев для определения количества кривых Хабберта

Хорошо зарекомендовавшей себя методикой выбора количества кривых  $N$  является процедура, основанная на критерии метода наименьших квадратов (МНК) – суммы квадратов отклонений (СКО) между реальными данными и значениями, вычисленными по модели (1). Так, в [1] на основании соответствующих расчетов наилучшей считается модель с  $N = 6$  для прогнозирования добычи нефти в СССР. Критерий МНК действительно служит одним из показателей адекватности модели и используется либо непосредственно, либо в нормированном виде в составе коэффициента детерминации  $R^2$ :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{j=1}^m e_j^2}{\sum_{j=1}^m (P_j - \bar{P})^2}, \quad (2)$$

где  $\bar{P}$  – среднее  $m$  измерений  $P_j$ , а числитель дроби, вычитаемой из единицы, является критерием МНК. Для корректного сравнения моделей с разным числом параметров используют скорректированный коэффициент детерминации, который связан с обычным  $R^2$  формулой:

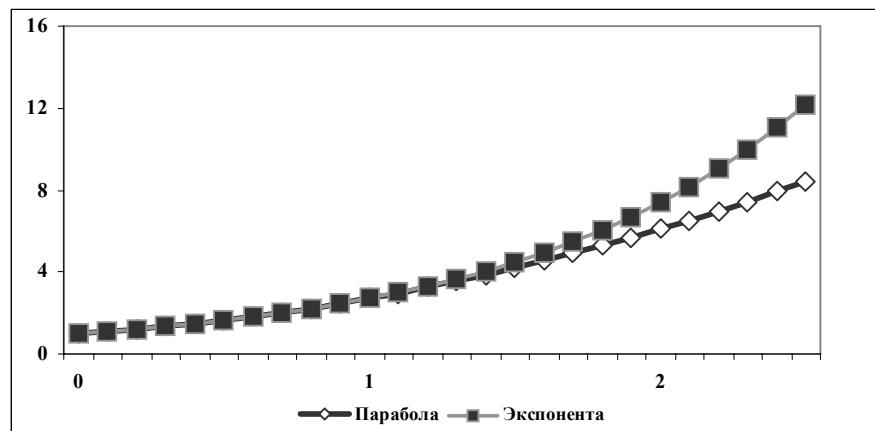
$$R_{adj}^2 = 1 - \frac{(1 - R^2)(m - 1)}{m - k}, \quad (3)$$

где  $k$  - число параметров в модели, а также информационные критерии Акаике и Шварца, вычисляемые по формулам:

$$AIC = \frac{2 \ln s^2}{m} + \frac{2k}{m}, \quad (4)$$

$$Sch = \frac{2 \ln s^2}{m} + \frac{k \ln m}{m}, \quad (5)$$

где  $s = +\sqrt{s^2}$  - стандартная ошибка оценки, а  $s^2 = \sum_{j=1}^m e_j^2 / (m - k - 1)$  - дисперсия оценки.



**Рис. 1** Несмотря на то, что на отрезке  $[0;1]$  коэффициент детерминации  $R^2=0,9999$ , СКО  $< 2 \cdot 10^{-3}$ , парабола  $P=at^2+bt+c$  не является адекватной зависимостью при моделировании данных  $P_j=exp(t_j)$  для последующего прогнозирования. Статистика  $DW=0,85$  позволяет понять, что выбранная модель неадекватна.

Из формул (2) и (3) видно, что чем лучше модель аппроксимирует исходные данные (меньше среднеквадратическое отклонение), тем ближе  $R^2$  и  $R^2_{adj}$  к единице. Однако близкое к единице значение коэффициента детерминации еще не свидетельствует о хороших прогнозных качествах уравнения регрессии (см. пример на Рис.1).

Одним из важных свойств отклонений экспериментальных данных от функции регрессии  $e_j$  является их статистическая независимость между собой. Некоррелируемость соседних величин отклонений  $e_j$  проверяется с помощью статистики Дарбина-Уотсона  $DW$  ( $0 < DW < 4$ ), рассчитываемой по формуле:

$$DW = \sum_{j=2}^m (e_j - e_{j-1})^2 / \sum_{j=1}^m e_j^2. \quad (6)$$

Причем, чем меньше автокорреляция остатков, тем ближе значение  $DW$  к середине диапазона. Так, в частности, неадекватность полиномиальной модели на рис. 1 легко позволяет обнаружить статистика Дарбина – Уотсона.

Критерий Акаике (4) является эвристической попыткой свести в один показатель два требования: уменьшение числа параметров модели и качество подгонки модели. Согласно этому критерию из двух моделей следует выбрать модель с наименьшим значением  $AIC$  (информационный критерий Акаике).

В критерии Шварца (5) используется больший штраф за увеличение количества параметров модели. По своему смыслу оба критерия близки к  $R^2_{adj}$  и направлены на отыскание таких моделей, которые дают наименьшую среднеквадратическую ошибку. Однако на практике они имеют смысл только в сравнении со значениями, вычисленными по другим моделям.

### **Моделирование данных США с использованием нескольких кривых Хабберта**

Интерес к моделям, использующим кривые Хабберта резко возрос в 70-е годы XX века после того, как в США действительно начали падать темпы добычи нефти, как и предсказывалось автором этого подхода. Однако, характер снижения темпов был связан не только с геологическими, но и с экономическими причинами. Дело в том, что до кризиса 1973 года цена на ближневосточную нефть достигала рекордно низких значений – около 3 долларов за баррель, и в таких условиях транснациональным корпорациям было выгоднее увеличивать долю импортируемой нефти, чем применять дорогостоящие методики увеличения коэффициента нефтеотдачи на начинающих истощаться американских месторождениях [9].

Однако, после введения арабскими странами эмбарго на поставки нефти в США в октябре 1973 года ситуация резко изменилась. Возникшая экономическая и политическая зависимость вынудили не только ускорить разработку открытого еще в 1968 году месторождения Норт-Слоуп (Аляска), но и увеличить интенсивность эксплуатации техасских месторождений [9]. В результате суммарные темпы добычи опять начали расти, однако не только за счет аляскинской нефти, которая начала поступать на рынок лишь в 1977 году, но и за счет увеличения добычи на тех месторождениях, где до 1973 года темпы снижались. Причем темпы роста были уже существенно ниже, чем до 1970 г.

Таким образом, оказалось, что рынок потребления нефти очень существенно влияет на темпы добычи. И если в период геологических успехов (1859-1970 г.г.) геология и экономика действовали в одном направлении – на увеличение темпов

добычи, и темпы росли по закону сложного процента, то в период истощения месторождений огромный, пронизавший все сферы деятельности человека, рынок потребления нефти существенно способствует замедлению падения темпов добычи, вызванного геологическими причинами.

Вследствие этого, зависимость темпов добычи от времени получается несимметричной относительно первого максимума и не может быть адекватно описана одной симметричной кривой. По этим же причинам пики кривых, входящих в модель, могут не совпадать с пиками добычи крупнейших месторождений.

В таблице 1 приводятся результаты расчетов по построению модели (1) для данных о добыче нефти в США, приведенных в [10] и последних выпусках журнала Oil&Gas Journal.

Таблица 1. Количество и параметры кривых Хабберта для данных о добыче нефти в США

N	Коэфф.	Кривая Хабберта в модели				$R^2$	$R^2_{adj}$	DW	AIC	Sch
		1	2	3	4					
1	$P_m$	441,3	-	-	-	0,994	0,993	1,623	0,309	0,421
	$B$	0,1	-	-	-					
	$t_m$	1975,6	-	-	-					
2	$P_m$	48,6	436,5	-	-	0,995	0,994	2,000	0,416	0,639
	$B$	0,1	0,1	-	-					
	$t_m$	1941,7	1977,3	-	-					
3	$P_m$	101,0	240,9	324,5	-	0,998	0,998	1,286	0,498	0,832
	$B$	0,6	0,2	0,1	-					
	$t_m$	1969,4	1986,0	1962,7	-					
4	$P_m$	259,5	100,7	323,8	192,2	0,999	0,999	1,905	0,584	1,030
	$B$	0,15	0,59	0,07	0,98					
	$t_m$	1986	1970	1962	1926					

Таблица 2. Процентный вклад кривых Хабберта в модели (1)

Количество кривых	Номер кривой в модели (1)			
	1	2	3	4
1	100,0%	-	-	-
2	10,1%	89,9%	-	-
3	1,8%	24,3%	73,9%	-
4	26,4%	1,8%	70,8%	1,0%

Согласно таблице 1, наиболее адекватной является модель с двумя кривыми Хабберта, так как она при достаточно близком к единице коэффициенте детерминации обладает наименьшей автокорреляцией остатков (лучшее значение

статистики Дарбина-Уотсона). Дальнейшее улучшение коэффициента детерминации в модели с тремя кривыми Хабберта приводит к ухудшению статистики Дарбина-Уотсона и появлению слагаемого с процентным вкладом менее 2% (см. табл. 2). При дальнейшей подгонке четырьмя кривыми Хабберта, помимо очень близкого к единице коэффициента детерминации и адекватном критерии Дарбина-Уотсона, согласно таблице 2, появляется уже 2 слагаемых в модели (1), чей вклад в модель менее 2%.

При этом стоит отметить, что эвристические критерии Акаике и Шварца сигнализируют о том, что наиболее адекватной является модель с одной кривой Хабберта, что объясняется тем, что модель, с точки зрения этих критериев, перегружена объясняющими переменными и, согласно определению, критерии выбирают модели с меньшим числом параметров, а такой является модель в виде одной кривой, так как коэффициент детерминации у всех моделей близок к единице.

Приведенная методика показывает, что наиболее адекватной для имеющихся данных является модель с двумя кривыми Хабберта, однако параметры этой модели в таблице 1 не позволяют объяснить пики добычи исходя из физических соображений, что связано с влиянием меняющейся рыночной конъюнктуры на темпы добычи.

Естественно задаться вопросом – а насколько сильно модель, пики в которой имеют определенный физический смысл, отклоняется от оптимальной, в смысле значений статистических критериев? Поскольку известно, что фактический первый пик добычи был в 1970 году, и то, что нефть Аляски давала не более четверти всей американской нефти, то, наложив соответствующие ограничения, получим модель в виде двух кривых Хабберта с параметрами, приведенными в таблице 3. При этом коэффициент детерминации изменился лишь в 4 знаке после запятой, а статистика Дарбина-Уотсона, несмотря на свое ухудшение, по-прежнему остается приемлемой (1,87), что говорит о плохой обусловленности задачи относительно данных критериев. Таким образом, математически задача имеет решение, приведенное в таблице 1, а решение, полученное из физических соображений (при введении дополнительных условий) также не противоречит статистическим критериям.

Таблица 3. Модель с двумя кривыми Хабберта для данных США, построенная с учетом содержательных ограничений

Коэф.	Кривая Хабберта в модели		$R^2$	$R^2_{adj}$	$DW$	$AIC$	$Sch$
	1	2					
$P_m$	412,4	103,1	0,995	0,994	1,867	0,418	0,641
$B$	0,06	0,26					
$t_m$	1970	1987					

Информационные критерии Акаике и Шварца отдавали предпочтение первой модели, построенной математически при равном количестве параметров и измерений.

Согласно первой модели десятикратное снижение уровня добычи от максимально достигнутого уровня  $P_{max} = 474$  млн. тонн в 1970 году прогнозируется на 2033 год. Модель же построенная с учетом физического смысла предсказывает такое падение по отношению к максимально достигнутому еще раньше, в 2024 году.

## Моделирование российских данных с использованием нескольких кривых Хабберта

Впервые добычу нефти несколькими кривыми Хабберта предложил описывать французский математик Ж. Лэрье [2], его идею поддержали и продолжили развивать авторы [1], однако, как видно из рисунка 1, подход к выбору числа слагаемых в модели (1), основанный только на значении критерия МНК, может приводить к большим погрешностям при прогнозировании. Поэтому предлагается выбирать модель для прогнозирования данных о добыче нефти в СССР на основании описанной выше методики, использовавшейся для выбора числа слагаемых в модели (1) по данным США. В таблице 4 приведены данные о численных экспериментах расчета параметров модели (1) по данным о добыче нефти в СССР и расчет статистических критериев для получившихся моделей. Статистики Акаике и Шварца рекомендуют выбирать модели с меньшим числом параметров, а именно, модель в виде одной кривой Хабберта. Статистика Дарбина-Уотсона ( $DW$ ), напротив, склоняется к модели с большим числом параметров. Однако, для российских данных во всех трех случаях  $DW$  неприемлемо близка к нулю, и уже в модели в виде трех кривых Хабберта появляется слагаемое, которое не имеет физического смысла, а именно, согласно третьей кривой Хабберта, в 2004 году добыча нефти в странах бывшего СССР должна была достигнуть нереальной отметки 2,3 млрд. тонн, что говорит о том, что данная модель не пригодна для прогнозирования. Дальнейшее увеличение числа слагаемых приводит к появлению большего числа кривых, не имеющих физического смысла. В модели (1) удалось выявить только два слагаемых отвечающих физическому определению модели.

Согласно построенной модели десятикратное снижение от максимально достигнутого уровня в 1988г. ожидается лишь в 2105 году.

Таблица 4. Количество и параметры кривых Хабберта для данных о добыче нефти в СССР

N	Коэфф.	Кривая Хабберта в модели			$R^2$	$R^2_{adj}$	$DW$	$AIC$	$Sch$
		1	2	3					
1	$P_m$	631,5			0,998	0,998	0,784	0,291	0,403
	$B$	0,1							
	$t_m$	1984,6							
2	$P_m$	421,3	535,6		0,997	0,997	1,525	0,419	0,642
	$B$	0,05	0,12						
	$t_m$	2040	1983						
3	$P_m$	10,5	590,6	2287,6	0,999	0,999	1,260	0,494	0,828
	$B$	0,1	0,1	0,3					
	$t_m$	1924,9	1981,8	2004,1					

Таблица 5. Процентный вклад кривых Хабберта в модели (1)

N модели	N кривой в модели (1)		
	1	2	3
1	100,0%	-	-
2	22,6%	77,4%	-
3	4,8%	89,9%	5,3%

Значение статистики Дарбина-Уотсона существенно отклоняется от 2 (табл. 4), что говорит о достаточно сильной автокорреляции остатков 1-го порядка. Однако, это легко объясняется небольшим (относительно коэффициента детерминации) шоковым воздействием на темпы добычи в период Второй Мировой войны.

Вследствие этого воздействия большая часть кривой, описывающая реальные данные до 1942г. лежит выше модели, а после 1942г. – ниже. Влияние этого шока затухает только к середине 60-х годов. Аналогичный провал наблюдается также в период гражданской войны.

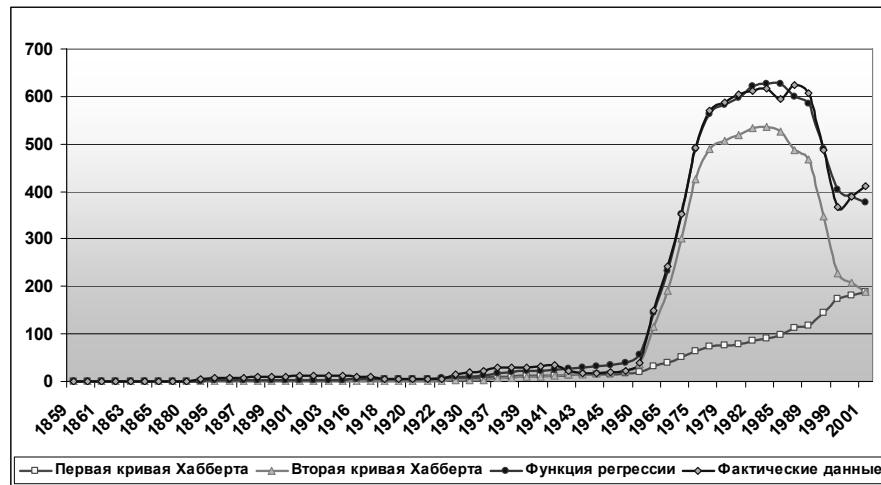


Рис. 2. Динамика добычи нефти в СССР

Увеличение числа слагаемых в модели (1) приводит к появлению кривых, которые пытаются учесть влияние таких шоковых воздействий. Этого можно попытаться избежать и построить более содержательную модель, к примеру, добавляя к модели (1) сумму параметрически определяемых функций, каждая из которых по своему физическому смыслу может означать присутствие шока. Такая модель может иметь следующий вид:

$$P = \sum_{i=1}^N \frac{2P_{\max i}}{1 + ch(b_i(t - t_{\max i}))} + \sum_{k=1}^L g_k(\alpha_k, t_k) + \xi(t), \quad (7)$$

а функции  $g_k$ , например, можно задать следующим способом:

$$g_k = \begin{cases} 0, & t < t_k, \\ \alpha_k \exp[-(t - t_k)^2], & t \geq t_k, \end{cases}$$

или в более общем случае, но уже с двумя параметрами:

$$g_k = \begin{cases} 0, & t < t_k, \\ \alpha_k \exp[-(t - t_k)^2 / \beta_k], & t \geq t_k, \end{cases}$$

где  $L$  - количество шоков,  $\alpha_k$  и  $t_k$  имеют смысл максимального шокового воздействия на добычу и год, на который приходится максимальный шок,  $\beta_k$  - скорость затухания шока.



Таблица 6. Количество и параметры кривых Хабберта для данных о добыче нефти в России и СССР и воздействие шоковых кривых на модель

Коэф.	Кривая Хабберта в модели		Коэф.	Шоковая кривая в модели		$R^2$	$R^2_{adj}$	$DW$	$AIC$	$Sch$
	1	2		1	2					
$P_m$	1088,1	-	$\alpha_k$	-502,0	-	0,997	0,997	1,272	0,28	0,39
$B$	0,1	-	$\beta_k$	355,2	-					
$t_m$	1982	-	$t_k$	1976	-					
$P_m$	606,8	-	$\alpha_k$	-774,1	-55,8	0,996	0,995	0,885	0,300	0,408
$B$	0,1	-	$\beta_k$	0,006	-7,1					
$t_m$	1985	-	$t_k$	1946	1954					
$P_m$	651,6	519,8	$\alpha_k$	-31,4	-	0,998	0,998	1,531	0,493	0,819
$B$	0,04	0,12	$\beta_k$	11,48	-					
$t_m$	2064	1983	$t_k$	1947	-					
$P_m$	476,1	497,2	$\alpha_k$	-31,2	56,4	0,999	0,999	2,001	0,584	1,018
$B$	0,13	0,04	$\beta_k$	11,82	-1,62					
$t_m$	1982	2040	$t_k$	1947	1989					

В таблице 6 приведены результаты численных экспериментов по добавлению шоковых воздействий к моделям в виде одной и двух кривых Хабберта. Информационные критерии, по-прежнему, склоняются к модели с наименьшим числом параметров, однако, согласно описанной выше методике наиболее адекватной с точки зрения статистических критериев является модель в виде суммы двух кривых Хабберта и двух шоковых воздействий. Помимо того, что в построенной модели коэффициент детерминации наиболее близок к единице, значение статистики Дарбина-Уотсона сигнализирует об отсутствии автокорреляции первого порядка, которая наблюдалась в модели (1) в виде суммы двух кривых Хабберта без воздействия на них шоковых воздействий. Дальнейшее увеличение кривых Хабберта и шоковых воздействий приводит к появлению слагаемых, доля которых либо слишком мала, либо не имеет физического смысла.

Согласно построенной модели десятикратное снижение от максимально достигнутого уровня в 1988 году ожидается лишь к 2119 году.

#### Соответствие моделей оценкам оставшегося извлекаемого запаса

В декабрьских номерах журнала Oil&Gas Journal публикуются данные об оценках оставшихся исчерпаемых запасов (ОИЗ) нефти и газа в различных странах. Пользуясь этой информацией, можно оценить адекватность построенных моделей динамики темпов добычи с точки зрения их прогнозных качеств. Поскольку темпы  $P(t)$ , описываемые моделью (1), асимптотически стремятся к нулю при  $t \rightarrow \infty$ , то количество ресурса  $Q_0$ , которое будет израсходовано согласно такой модели за бесконечный промежуток времени, начиная с некоторого момента  $t_0$ , определяется как

$$Q_0 = \int_{t_0}^{\infty} P(t) dt. \quad (8)$$

Если модель  $P(t)$  описывает характер изменения темпов добычи достаточно точно, то величина  $Q_0$  должна оказаться сравнимой с оценкой ОИЗ на момент  $t_0$ . Причем, допустимо, чтобы  $Q_0$  незначительно превышала ОИЗ, поскольку последняя величина иногда пересматривается в сторону повышения, например, в результате открытия новых месторождений и совершенствования технологий, увеличивающих коэффициент нефтеизвлечения. Самая лучшая, согласно статистическим критериям ( $R^2 = 0,999$ ;  $DW = 2,001$ ), зависимость темпов добычи от времени для российских данных описывается двумя кривыми Хабберта с двумя шоковыми воздействиями (табл. 6). Если пренебречь шоками, имеющими малую амплитуду и быстро затухающими, то интеграл (8) имеет вид суммы

$$Q_0 \approx \int_{t_0}^{\infty} \frac{2 \cdot 0,4761 [\text{млрд. т}]}{1 + ch(0,13(t - 1982))} dt + \int_{t_0}^{\infty} \frac{2 \cdot 0,4972}{1 + ch(0,04(t - 2040))} dt. \quad (9)$$

Согласно [11], величина ОИЗ для России на начало 2003 г. составляла около 8,219 млрд. т. (используя коэффициент пересчета баррелей в тонны  $1 \text{ т} = 7,3$  барреля [10]). Если же вычислить  $Q_0$  по формуле (9) с  $t_0 = 2003$ , то получится около 41,1 млрд. т., то есть пятикратное превышение официальной оценки запасов. Такую погрешность регрессионной модели, конечно, нельзя признать допустимой. Кроме того, вторая кривая Хабберта предполагает наличие пика в 2040 г. с объемом добычи 497 млн. т. в год, в то время как различные исследователи (см., например, [10, 12]) прогнозируют к этому времени исчерпание не только российских, но и общемировых запасов.

Причина столь существенных расхождений в том, что вторая кривая Хабберта моделирует увеличение темпов добычи, начавшееся в России с 2001 года. Это увеличение, связанное, в основном, с ростом мировых цен на нефть, происходило, по большей части, за счет более интенсивной добычи на существующих месторождениях, а не освоения новых [1, 10], что предполагает вторая кривая в модели. И «угворить» модель «понять», что рост темпов связан просто с их частичным восстановлением после глубокого спада, вызванного экономическими причинами, не помогают даже шоковые слагаемые. Это ставит под сомнение саму идею использования кривых Хабберта для решения задач прогнозирования темпов добычи нефти или говорит о необходимости существенного усложнения модели в ситуациях, связанных с экономической нестабильностью.

Если для российских данных могут все же найтись оптимисты, которые будут утверждать, что вторая кривая Хабберта «видит» новые перспективы российской нефтедобычи, то проверка модели, построенной по данным США, показывает ее полную непригодность для прогнозирования, поскольку согласно [11], величина ОИЗ на начало 2003 г. составляла около 3,07 млрд. т., а оценка этой величины по формуле (8) с помощью лучшей регрессионной модели (табл. 1) дает лишь 1,25 млрд. т. Конечно, можно попытаться «подогнать» кривую под выполнение условия

$$\text{ОИЗ}_{t_0} = \int_{t_0}^{\infty} P(t) dt, \text{ используя, например, моделирование изменения величин запасов с}$$

помощью еще одного набора кривых Хабберта, однако, это не устранил основного недостатка данного подхода – в модели не учитываются экономические факторы.

## Заключение

Гипотеза о виде зависимости темпов добычи нефти от времени была выдвинута М.К.Хаббертом [13] до эмбарго 1973 года. Последовавшие за этим события радикальным образом изменили баланс основных сил, влияющих на процесс добычи нефти, в результате чего изменения темпов добычи, как в отдельных странах, так и в мире в целом стали существенно отклоняться от траекторий кривых Хабберта. Это стимулировало появление большого количества публикаций, пытающихся модифицировать подход Хабберта с учетом новой информации (см. библиографию в [1]).

Возможно, кривые Хабберта по-прежнему адекватно описывали бы изменение темпов добычи, если бы интенсивность эксплуатации месторождений не менялась столь существенно под влиянием экономических и политических факторов. Оказалось, что даже если количество и объемы вновь открываемых месторождений уменьшаются, а удельные затраты на добычу растут, то все равно можно добиться того, что в течение некоторого периода темпы добычи будут увеличиваться, если для этого есть достаточно веские экономические и (или) политические причины. А эти причины существуют. И основной такой причиной, действующей в течение десятилетий, является растущий рынок потребления нефти. Поэтому, видимо, нужно согласиться с точкой зрения Ж.Лэрье [2], который ограничивает область применения кривой Хабберта только теми периодами, когда экономические факторы не оказывают на процесс добычи слишком сильного влияния.

Однако здесь нужно заметить, что экономические факторы всегда оказывают на добычу минерального сырья определяющее воздействие, просто в силу того, что это сырье является экономически значимым ресурсом. Отличие же современного периода от ситуации, имевшей место до 70-х годов XX века в том, что сейчас геологическая конъюнктура (затраты на поиск, процент «сухих» скважин, удельные затраты на добычу и т.д.) ухудшается и, тем самым, действует в направлении уменьшения темпов добычи, в то время как вектор действия рынка потребления нефти, значительно увеличившегося за последние 35 лет и продолжающего расти, направлен в противоположную сторону. До 70-х годов все факторы, включая политические, содействовали увеличению темпов добычи, следствием чего и был рост по закону сложного процента.

Согласно правилу Хартвика [14], для реализации принципа равноправия поколений, вытекающего из максиминного правила Ролза [15], вся прибыль, получаемая за счет невозобновляемого ресурса, должна инвестироваться в увеличение капитала, обеспечивающего производство такого же количества товаров и услуг при уменьшающемся количестве сырья. При этом количество ресурса должно уменьшаться асимптотически в течение бесконечного периода времени.

Если предположить, что найдутся политические и экономические силы, способные реализовать это правило, то темпы добычи будут опять изменяться по закону сложного процента, но на этот раз в сторону уменьшения. И обеспечивать это уменьшение будут уже не только геологические факторы, но и политическая воля, поддерживающая растущий антинефтяной рынок, содержащий товары и услуги, не включающие расходы на нефтепродукты. В этих условиях, по-видимому, кривая Хабберта опять будет достаточно адекватно описывать изменение темпов добычи нефти.

## Литература

1. Поляков Г.А., Полякова Т.В. Модели и прогнозные оценки перспектив добычи нефти. М.: РОССПЭН, 2004.-152 с.
2. Laherrere J.H. Learn Strengths' Weaknesses to Understand Hubbert curve // Oil & Gas Journal, April 17, 2000. P.63-76.
3. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с.
4. Дюран Б., Одел П. Кластерный анализ. М.: Статистика, 1977.- 128 с.
5. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, вып.1, 1971.-316 с.; вып.2., 1972.- 288 с.
6. Yeramian E., Claverie P. Analysis of multiexponential functions without a hypothesis as to the number of exponents. // Nature 1987. Vol.326, № 6109. P.169-174.
7. Мельниченко Н.А., Бажанов А.В., Куприянов А.С. Влияние чисел гидратации ионов в водных растворах электролитов на энергию активации молекулярных движений по данным ЯМР-релаксации // Журнал физической химии-2002, - Т.76. №5. С.844-847.
8. Vazhanov A.V., Melnichenko N.A., Vyskrebentsev A.S. Comparison of NMR-relaxation models for aqueous solutions of electrolytes. Тезисы докладов международной научно-практической конференции "Моделирование. Теория, методы и средства", ЮРГТУ, Новочеркасск, 5-7 апреля 2003 г. С. 21-24.
9. Ергин Д. Добыча. Всемирная история борьбы за нефть, деньги и власть. М.: «ДеНово», 2001.- 888 с.
10. Щелкачев В.Н. Отечественная и мировая нефтедобыча. М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа, 2001.- 128 с.
11. Radler M. Worldwide reserves increase as production holds steady // Oil&Gas Journal, Dec. 23, 2002.
12. <http://www.assessor.ru/oil/oil1.html> (июль 2005).
13. Hubbert M.K. Nuclear Energy and the Fossil Fuels // Amer. Petrol. Inst. Drilling & Production Practice. Proc. Spring Meeting, San Antonio, Texas, 1956, p.7 – 25.
14. Hartwick J.M. Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources // The American Economic Review, 1977, Vol. 67, N 5, p. 972-974.
15. Ролз Дж. Теория справедливости. Новосибирск, Изд-во Новосиб. ун-та, 1995, 536с.