



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 58 за 2010 г.



Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н.

Сравнительный анализ  
долгосрочных прогнозов  
развития мировой  
энергетики, Часть II

**Рекомендуемая форма библиографической ссылки:** Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики, Часть II // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2010. № 58. 26 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2010-58>

## Оглавление

4. Предварительные замечания об исходных данных .....	4
5. Точность прогнозов МЭ США и МЭА мирового использования энергии за период с 1993 по 2003 гг. ....	9
6. Точность прогнозов МЭ США и МЭА мирового использования природного газа за период с 1993 по 2003 гг. ....	17
Приложение. Основные понятия статистического анализа временных рядов .....	25
Источники .....	28

## Перечень таблиц

Табл. 7. Пример меняющихся фактических данных в обзорах МЭ США .....	7
Табл. 8. Относительная ошибка прогнозов МЭ США мирового потребления энергии (базовый сценарий), % .....	10
Табл. 9. Относительная ошибка прогнозов МЭА мирового спроса на энергию (базовый сценарий), % .....	13
Табл. 10. Относительная ошибка регрессионных прогнозов мирового потребления энергии, % .....	16
Табл. 11. Данные прогнозов МЭ США мирового потребления природного газа, QBTU. Базовый сценарий.....	18
Табл. 12. Данные прогнозов МЭА мирового спроса на природный газ, QBTU (млн. т н.э.). Базовый сценарий .....	19
Табл. 13. Относительная ошибка прогнозов МЭ США мирового потребления природного газа (базовый сценарий), %.....	20
Табл. 14. Относительная ошибка прогнозов МЭА мирового спроса на природный газ (базовый сценарий), % .....	21
Табл. 15. Сравнение базовых прогнозов МЭА с фактическими данными мирового потребления природного газа в период 2006-2009 гг., QBTU .....	23

## Перечень рисунков

Рис. 3. Сравнение прогнозов МЭА мирового потребления газа .....	24
Рис. 4. Сравнение прогнозов МЭ США мирового потребления газа .....	25

#### 4. Предварительные замечания об исходных данных

Во второй части нашего исследования разработанная методология оценки точности прогнозов [1] применяется к результатам, полученным с помощью двух прогнозных систем, созданных такими крупными организациями, как МЭА [2] и МЭ США [3, 4]. Для связности изложения в данной Части II будем придерживаться сквозной нумерации разделов, рисунков, таблиц и формул, продолжая тем самым нумерацию Части I.

Поскольку в Части II используется большое количество специальных терминов, принятых в математической статистике, в приложении приводятся основные определения из теории статистического анализа временных рядов.

Проводя анализ точности прогнозов в области энергетики, мы трактуем совокупности годовых данных о потреблении энергии в целом и природного газа в частности, как временные ряды соответствующих случайных величин. Случайный характер поведения анализируемых нами величин обуславливается тем, что функционирование, развитие экономической системы происходит под воздействием большого числа трудно учитываемых во всей полноте факторов чрезвычайно сложным, практически недетерминированным образом. Кроме того, недетерминированность поведения величин усиливается неизбежными погрешностями, связанными с неточностью используемых исходных данных.

Рассмотрим вопрос о погрешностях, обусловленных неопределённостью *фактических значений анализируемых величин*, а также процедурой *приведения сравниваемых величин к сопоставимому виду*. Эти проблемы обозначены и, в определённой степени, проанализированы в [5].

В данной работе фактические значения используются для определения относительных ошибок прогнозных значений. Представленные в таблицах и на графиках Части II относительные ошибки охватывают промежуток времени в 13 лет с 1993-го по 2005-й, включительно. При этом, если данные МЭ США (International Energy Annual – IEA; все данные, кроме 2005-го года, взяты из IEA-2004, таблицы «E1. World Primary Energy Consumption, (QBTU) 1980-2004» и «E2. World Dry Natural Gas Consumption, (QBTU) 1980-2004») имеются по обоим рассматриваемым параметрам – природный газ и энергия в целом – за все 13 лет, то данные МЭА (World Energy Outlook – WEO) – лишь за отдельные годы (1993, 1995, 1997, 2000, 2002-2004, то есть за 7 лет, в совокупности). Дело в том, что авторы не имели в своем распоряжении количественной (то есть, «оцифрованной», неграфической) информации МЭА по фактическому использованию энергии и газа за все рассматриваемые 13 лет, представленной в каком-либо одном источнике, как это имеет место для МЭ США, и им пришлось собирать соответствующие данные из отдельных выпусков WEO. Тем не менее, даже такая неполная информация позволяет сделать достаточно определенные выводы о том, как соотносятся между собой фактические значения вышеуказанных организаций, и тем самым пояснить выбор авторами фактических значений из данных МЭ США (за исключением единичных случаев).

Необходимо указать, что МЭА выпускает, наряду с WEO, и другую информационную литературу, содержащую данные по отдельным энергоресурсам и энергии в целом. Однако в этой работе авторами анализировались только выпуски WEO и, соответственно, выводы делались, исходя из рассмотренной в этих выпусках информации.

Данные в обзорах МЭА приведены в тоннах нефтяного эквивалента, а в обзорах МЭ США – в квадриллионах британских тепловых единиц (QBTU). Для перевода т н.э. в QBTU в МЭА используется формула 1 млн т н.э. = 0,0397 QBTU. При этом, как уже отмечалось в Части I [1], значение данного коэффициента в обзорах МЭА варьируется в пределах 5%. С другой стороны, в обзорах BP World Energy Review, на которые ссылаются составители обзоров МЭ США, используется другой коэффициент перевода: 1 млн т н.э. = 0,0404 QBTU. Таким образом, обнаруживается еще одна причина возникновения погрешностей при сравнении между собой данных МЭА и МЭ США – расхождение значений данного коэффициента для этих двух организаций. При этом следует отметить, что последнее расхождение составляет здесь менее 2%, что даже меньше указанной выше погрешности этого же коэффициента, вычисляемой по данным обзоров одной только МЭА (5%).

Рассмотрим теперь, как соотносятся между собой *фактические значения* из отчетов МЭА и МЭ США отдельно для мирового использования энергии в целом и для мирового использования природного газа.

Что касается мирового использования *энергии в целом*, то в отношении этих величин в основном имеет место высокая степень совпадения их фактических значений. Так, относительное расхождение фактических значений, определяемое по формуле  $\left| E_{\text{МЭА}} - E_{\text{МЭСША}} \right| / E_{\text{МЭСША}}$ , не превышает 0,6% для всех лет, для которых имеются данные МЭА, за исключением 1993 г. Для этого года расхождение равняется 9,2%. (Подробнее о причинах такого расхождения фактических значений МЭА и МЭ США в 1993 г. см. [1, стр.18]).

Упомянутые фактические значения МЭА за 1993 г. были взяты из обзора WEO-1996. Из этого же обзора при работе над Частью I нами брались также и *прогнозные значения*. При этом прогнозные значения указанного обзора строились авторами прогноза, исходя из имевшихся в их распоряжении на тот год фактических данных, которые, как мы только что отметили, существенно отличаются от фактических данных МЭ США за аналогичные годы (мы пока что отметили расхождение фактических значений только для энергии в целом, однако ровно то же самое имеет место и в отношении природного газа). Это привело к тому, что наряду с фактическими данными и прогнозы МЭА, представленные в WEO-1996, также обнаружили значительное отличие от прогнозов МЭ США. Данный факт нашел свое отражение на Рис.1 и 2 Части I.

Вместе с тем, во всех обзорах МЭА, начиная с WEO-1998, в котором представлены фактические значения рассматриваемых нами величин за 1995 г., наблюдается весьма хорошее совпадение приводимых в них фактических данных использования *энергии в целом* с данными МЭ США.

Такое соотношение, в свою очередь, дало основание предположить, что и прогнозные значения энергии в целом по материалам обзоров МЭА, начиная с WEO-1998, также будут значительно лучше совпадать с прогнозами МЭ США, чем это имело место в отношении WEO-1996.

И действительно, сопоставление прогнозных значений МЭА и МЭ США, выполненных в одни и те же годы, начиная с 1998 (а именно, WEO-1998/-2000/-2002 и IEO-1998/-2000/-2002, соответственно), подтвердило это предположение и обнаружило значительно лучшее совпадение прогнозов.

Таким образом, следует признать, что представленные на Рис. 1 результаты (характеризующиеся значительным расхождением данных МЭА и МЭ США *мирового использования энергии в целом*) не являются типичными в отношении степени несовпадения прогнозов указанных организаций по данной величине, поскольку для большей части имеющихся в наличии прогнозных данных по использованию энергии в целом наблюдается куда более хорошее совпадение прогнозов МЭА и МЭ США.

Что же касается фактических и прогнозных данных МЭА и МЭ США по использованию *природного газа* в мире, то здесь ситуация иная. В отличие от энергии в целом, *фактические данные* по использованию *природного газа* по материалам МЭА и МЭ США существенно расходятся практически для всех лет составления обзоров. Иначе говоря, для природного газа расхождение наблюдается и при использовании данных обзора WEO-1996 (данные за 1993 г.), и при обращении к прочим обзорам WEO. Величины относительных расхождений составляют около 10%.

Сначала, при сопоставлении данных по газу использовались те же источники информации, что и при сравнении энергии в целом (в частности, данные МЭА брались из WEO). Затем, в процессе поиска причины указанного весьма значительного расхождения набор анализируемых источников информации был расширен и к рассмотрению были привлечены обзоры МЭА International Energy Annual – IEA. (В IEA были представлены несколько иные показатели использования природного газа, чем в WEO, но все-таки достаточно близкие по своему содержанию, чтобы сопоставление имело смысл. Так, если из WEO брались данные по мировому *спросу* (demand) на природный газ, то из IEA привлекались данные уже по *потреблению* (consumption) газа.) Но и после привлечения данных из IEA расхождение с результатами МЭ США осталось по-прежнему значительным, хотя и немного снизилось.

Причины такого существенного расхождения данных по фактическому использованию *природного газа* пока установить не удалось. Возможно, расхождение связано с неучетом вклада в этот показатель каких-либо регионов мира или способов использования природного газа.

Подобное положение дел в отношении *природного газа* имеет одно «положительное» следствие. Поскольку данные не только за 1993 год, но также и за все последующие годы демонстрируют расхождение показателей МЭА и МЭ США *фактического* мирового использования природного газа, то (с учётом указанного выше анализа этой же проблемы применительно к

*энергии в целом*) имеется веское основание ожидать существенного расхождения также и соответствующих *прогнозных* значений двух организаций. Сопоставление прогнозных значений МЭА и МЭ США подтверждает данное предположение. А это, в свою очередь, означает, что результаты по *использованию газа в мире*, представленные на Рис. 2 на основании материалов из WEO-1996 и характеризующиеся, как и в случае Рис. 1, значительным расхождением данных МЭА и МЭ США, в этом случае «нетипичными» уже не являются (в отличие от *энергии в целом* на Рис. 1), а, напротив, оказываются вполне репрезентативными.

Укажем, еще на одну достаточно серьезную методологическую проблему оценки точности прогнозной системы, связанную с *фактическими значениями* рассматриваемых величин. Для определения точности прогноза в рамках ретроспективного анализа на некоторый конкретный год прогнозную величину сопоставляют с фактическим значением за этот же год. При этом, фактическое значение призвано играть здесь роль некоего эталона, сопоставление с которым как раз и должно давать оценку качеству прогнозирования. Однако на практике с такого рода «эталонам» имеют место значительные сложности.

Как уже говорилось выше, фактические значения разных организаций отличаются друг от друга. Однако проблема состоит ещё и в том, что для некоторых организаций фактические значения за один и тот же год отличаются друг от друга и в рамках одной и той же организации в зависимости от года выпуска её обзора (на что уже указывалось в Части I). Из соображений практического удобства фактические данные мирового потребления энергии и природного газа брались авторами из обзоров МЭ США: эти обзоры публикуются регулярно и находятся в открытом доступе на сайте организации. Вместе с тем, в этих обзорах фактические значения, относящийся к одному и тому же году, меняются от выпуска к выпуску International Energy Outlook (IEO) МЭ США (см. Табл. 7, а также Табл. 3 Части I). Таким образом, приходится признать, что «факты», представленные в материалах МЭ США, обладают не только погрешностью текущего измерения или вычисления, но также и неопределённостью номинальных значений, что вносит дополнительную специфическую погрешность в фактические значения, предоставляемые данной организацией.

**Табл. 7. Пример меняющихся фактических данных в обзорах МЭ США**

Год выпуска IEO	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Указываемое фактическое потребление энергии в 1990 г., QVTU	345,6	345,6	347,8	344,9	343,8	343,8	346,7	346,0	346,2	348,4

Не обсуждая здесь причины такого странного, с точки зрения авторов, поведения «факта», зададимся вопросом: как следует поступать в таком случае при статистическом анализе точности прогнозов?

С одной стороны, свершившийся факт интуитивно хочется воспринимать как нечто неизменное, пусть даже и известное при этом с определённой погрешностью. Кроме того, любой прогноз опирается на некоторую предысторию в виде набора фактических значений. И если впоследствии мы будем эти фактические значения подправлять, то мы, тем самым, будем как бы «отрывать» соответствующие прогнозы от своих «корней», поскольку эти прогнозы строились на основе одних фактических значений, а фигурировать в будущих базах данных станут уже другие – подправленные – фактические значения.

С другой стороны, есть свои резоны и у уточнения время от времени фактических значений. В самом деле, если со временем обнаруживается, что использовавшийся ранее способ определения фактических значений содержал очевидные изъяны (например, не учитывал каких-то видов энергии), то желание подправить соответствующую величину выглядит вполне естественным. Но тогда следовало бы (в идеале, конечно) изменить и прогноз в соответствии с уточненными данными.

Авторы данной работы пошли по следующему пути: при сравнении *всех* прогнозов с фактом ими использовалась *одна* таблица фактического мирового потребления энергии, датированная (table posted) на сайте МЭ США 13.07.2006 (International Energy Annual 2004, Table E.1). В частности, в этой таблице фактическое значение энергопотребления за 1990 г. равно 347,3 QBTU, что, заметим, отличается от всех приведенных в Табл. 7 значений энергопотребления за этот же год. Однако, *при интерполяции* прогнозных данных между последним «историческим» годом (то есть самым поздним годом, для которого в соответствующем обзоре приводится фактическое значение рассматриваемой величины; «историческим» потому, что такие годы в обзорах ИЕО МЭ США обозначаются словом “history”), приведенным в выпусках ИЕО, и первым прогнозным годом данные фактического энергопотребления за «исторический» год брались авторами из соответствующего обзора ИЕО.

Таким образом, изложенные в параграфе 4 результаты сравнения фактических значений мирового использования энергии в целом и природного газа, приведенных в обзорах МЭА и МЭ США, позволяют сделать ряд существенных выводов.

Во-первых, наш «эталон», с которым мы сопоставляем анализируемые прогнозные значения – то есть, фактические значения – сам по себе не идеален в смысле точности. Иначе говоря, фактические значения, с которыми мы работаем, существенно различаются по данным разных занимающихся энергетической аналитикой организаций (в данном случае – МЭА и МЭ США). То есть, «эталон» имеет собственную погрешность. Но, если так, то сразу возникает вопрос: а что, в таком случае, является его, если угодно, «математическим ожиданием»? Иначе говоря, что в таком случае следует использовать в качестве «эталона», с которым предстоит сопоставлять тем или иным образом прогнозные значения? На этот вопрос авторы исчерпывающего ответа не имеют и полагают, что анализ точности данных о фактическом

мировом использовании энергии в целом и природного газа (не говоря уже о более широком спектре энергетических величин) является самостоятельным значительным исследованием, проведение которого в рамках Части II не планировалось.

Во-вторых, возникает другой, близкий к предыдущему и вполне утилитарный вопрос: а с чем тогда следует соотносить прогнозные значения МЭА и МЭ США? Действительно, если бы мы не ставили перед собой цели сопоставления прогнозов разных организаций, то ситуация не выглядела бы столь удручающе: прогнозы каждой организации в этом случае сравнивались бы с её же фактическими значениями, и всё было бы, по крайней мере, логично. Но при желании сравнивать между собой прогнозы различных организаций проблема получения «истинного» фактического значения выходит на передний план. Поскольку, как уже было сказано выше, мы не знаем пока способа определить «истинные», действительно «эталонные» фактические значения анализируемых нами величин, то в рамках Части II останавливаемся для определенности на признании в качестве таковых данных (фактических значений) МЭ США (International Energy Annual, Table E.1 от 13.07.2006).

Поскольку такой выбор ставит МЭА в заведомо невыгодное положение, то вопрос сравнения точности прогнозов МЭА и МЭ США мы вынуждены исключить из рассмотрения в рамках Части II. Следовательно, все наши изыскания в данной статье носят исключительно *методологический характер*. Это означает, что здесь разрабатывается методика сравнения качества прогнозов различных прогнозных организаций, но, при этом, данная методика на практике в полной мере здесь не применяется из-за отсутствия «эталонных» фактических значений, необходимых для её полноценной работы.

## **5. Точность прогнозов МЭ США и МЭА мирового использования энергии за период с 1993 по 2003 гг.**

Как уже отмечалось в начале данного исследования (Часть I), наличие достаточного количества прогнозов за определенный промежуток времени (как это до некоторой степени имеет место в отношении МЭА [2] и МЭ США [3]) предоставляет возможность исследовать их достоверность путем сравнения прогнозных значений с фактическими за соответствующий год, причем делать это, если необходимо, не на одном прогнозе, а на целой серии прогнозов за несколько лет.

В Табл. 8 приведены результаты расчета относительной ошибки прогнозов МЭ США мирового энергопотребления  $E_{n, forecast}$  (Табл. 5) по имеющимся фактическим данным  $E_n$  (Табл. 4). Табл. 8 составлена в формате, аналогичном Табл. 2 в Части I, для удобства сравнения соответствующих величин.

Относительная ошибка  $\Delta_n$  прогноза на год  $n$  вычисляется по формуле

$$\Delta_n = \frac{E_{n, forecast} - E_n}{E_n} \cdot 100\%. \quad (24)$$

Среднеквадратичные ошибки или среднеквадратичные отклонения (СКО) прогнозов, каждый из которых был выполнен в один и тот же год относительно ряда лет (приведены в нижней строке Табл. 8), а также СКО прогнозов, выполненных в различные годы относительно одного и того же года (представлены в правом крайнем столбце), вычисляются по формуле (3). Что касается СКО всей совокупности прогнозов, представленных в Табл. 8, то она вычисляется по формуле (4). Следует отметить, что эту «совокупную» СКО можно вычислять двумя способами: либо основываясь на среднеквадратичных ошибках, вычисленных по совокупностям ежегодных прогнозов (именно в этом случае будет использоваться формула типа (4)), т.е. по СКО, расположенным в нижней строке, либо на основе СКО, вычисленных по совокупностям прогнозов на один и тот же год, выполненных в различные годы, т.е. по СКО, расположенным в правой крайней строке.

**Табл. 8. Относительная ошибка прогнозов МЭ США мирового потребления энергии (базовый сценарий), %. Расчет авторов**

Год, на который дан прогноз	Годы выпуска обзора ИЕО (1993-2003)											СКО, %
	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	
1994	3,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,4
1995	2,8	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0
1996	1,9	-0,1	-0,3	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1
1997	2,1	0,2	0,1	0,0	–	–	–	–	–	–	–	1,1
1998	3,5	1,9	1,6	1,9	3,3	–	–	–	–	–	–	2,6
1999	3,3	1,9	1,6	2,3	4,1	3,8	–	–	–	–	–	3,0
2000	2,3	1,1	0,8	1,8	4,0	3,5	2,3	–	–	–	–	2,5
2001	2,9	1,8	1,5	2,9	5,4	4,9	3,4	2,3	–	–	–	3,4
2002	3,0	2,0	1,7	3,5	6,2	5,8	4,1	2,9	0,0	–	–	3,7
2003	0,7	-0,1	-0,4	1,7	4,5	4,3	2,3	1,2	-1,5	-1,6	–	2,3
2004	-2,5	-3,1	-3,4	-1,0	2,0	1,9	-0,4	-1,5	-3,9	-4,0	-4,6	2,9
2005	-2,1	-2,5	-2,9	-0,1	3,1	3,1	0,6	-0,6	-2,7	-2,9	-4,0	2,5
СКО, %	2,7	1,7	1,8	2,0	4,3	4,1	2,6	1,9	2,5	3,0	4,3	2,8

Отметим, что выражение (4) Части I для только что рассмотренного случая можно представить в следующем виде:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m n_i \sigma_i^2, \quad N = \sum_{i=1}^m n_i. \quad (25)$$

В формуле (25)  $\sigma_i$  есть среднеквадратичное отклонение, вычисляемое на выборке данных, содержащихся в  $i$ -ом столбце (строке) в Табл. 8,  $n_i$  – число непустых ячеек в нем (в ней), а  $m$  – число столбцов с относительными ошибками прогнозов, равное количеству лет, в которые делались прогнозы (строка с относительными ошибками прогнозов, равное количеству лет относительно которых делались прогнозы). Рассчитанное таким образом «совокупное» СКО находится в нижней правой ячейке Табл. 8. Формула (25) позволяет статистически корректно складывать дисперсии (квадраты СКО), относящиеся к выборкам разных объемов.

Ранее в Части I мы указывали, что прогнозы МЭ США [3] (они представлены в Табл. 5 Части I) приводятся с интервалами в пять лет и что значения прогнозируемых величин, соответствующие годам внутри этих интервалов, рассчитываются в предположении постоянства трендов внутри интервалов. Для получения прогнозных значений в указанных промежутках, а также на промежутке от года выпуска прогноза до первого прогнозного года, представленного в соответствующей таблице, мы применили интерполяцию по формуле (14), основанную на расчете среднегодового прироста (СГП) на этих интервалах: между указанными годами, на которые приведены прогнозные значения, а также между первым прогнозным годом и данными за ближайший «опорный» год. Под «опорным» годом понимается год, указанный в обзоре ИЕО как последний год «исторических» данных (см. параграф 4).

Следует отметить, что авторы прогнозов МЭА и МЭ США [2, 3] на промежутках лет, для которых в приводимых ими таблицах отсутствуют прогнозные значения, указывают соответствующие значения СГП. Тем самым пользователь имеет основание применить интерполяцию для получения прогнозных данных за любой промежуточный год, чем и воспользовались авторы данной статьи для увеличения массива анализируемых прогнозных значений потребления энергии и природного газа.

Следует также пояснить, что данные прогнозов в Табл. 5 и 6 записаны в округленном виде: после запятой оставлена одна значащая цифра или вовсе ни одной (в последнем случае речь идет о значениях в скобках Табл. 6). Сделано это исключительно с целью повышения наглядности табличных данных. Но при этом необходимо иметь в виду то обстоятельство, что в случае вычисления относительных ошибок по формуле (24) с использованием (округленных!) данных непосредственно из Табл. 5 и 6, могут получаться величины, которые в ряде случаев будут отличаться от значений Табл. 8 в последней значащей цифре.

Прокомментируем некоторые результаты расчетов, представленные в Табл. 8. Крайний правый столбец Табл. 8 представляет среднеквадратичные ошибки прогнозов на годы, указанные в соответствующих строках крайнего левого столбца, выполненных в разные годы рассматриваемой прогнозной системой. Эти величины показывают, какова в среднем надежность предсказаний прогнозной системы, если в своей деятельности пользователь будет обращаться к ежегодно обновляемым прогнозам на один и тот же год.

Отметим, что в методиках прогнозирования МЭА и МЭ США с течением времени могут происходить изменения, обусловленные модификациями, которые разработчики время от времени могут вносить в систему. Следовательно, по прошествии ряда лет она может измениться настолько существенно, что станет уже качественно иной. К результатам, полученным в различные годы с помощью такой прогнозной системы, можно относиться двояко. Можно, к примеру, не придавать значения указанной изменчивости и рассматривать систему как «ту же самую», пусть и претерпевающую некоторые изменения. Слабость такого подхода очевидна и связана с возможностью, с течением времени, весьма существенной модификации прогнозной системы, делающей неприемлемым рассмотрение её как однородного во времени объекта. Тем не менее, в данной работе мы будем придерживаться именно такого взгляда на системы МЭА и МЭ США, оставляя проблему анализа степени *однородности во времени прогнозной системы* за рамками нашего рассмотрения. Отметим при этом, что другой подход подразумевает разделение изменений, происходящих с системой, на существенные и несущественные и восприятие в зависимости от этого изменяющейся во времени прогнозной системы либо как все еще «той же самой» системы, либо – в случае «существенных» изменений – как уже «качественно иной» [5].

Рассмотрим многолетний результат применения прогнозной системы МЭ США к составлению прогноза использования энергии на определённый год как один вероятностный эксперимент (см. определения в приложении II), значениями которого являются относительные ошибки из соответствующей этому году строки Табл. 8. Результатами таких испытаний («событиями») будем считать представленные в крайнем правом столбце среднеквадратичные значения ошибок из данной строки.

Среднее значение результатов экспериментов, рассчитанное по формуле (25), составляет 2,77% (или 2,8%, как с точностью до одного знака после запятой указано в правой нижней ячейке). А их среднеквадратическое отклонение от указанного среднего равняется 0,84% (точнее сказать, 0,84 процентных пункта или «п.п.») или 0,3 в относительном выражении. Эта величина – 0,3 или 30% в процентном выражении – является *относительным среднеквадратическим отклонением* или *ОСО* (см. приложение II). Данные величины – СКО и ОСО – характеризуют дисперсию в «работе» прогнозной системы.

Наилучший результат работы прогнозной системы был достигнут в прогнозах на 1996 и 1997 гг. (СКО составили 1,1% для каждого года), однако надо отметить, что сравнительно малая ошибка прогноза получена на статистически небольшом количестве данных. Если не принимать во внимание первый прогнозный год (1994) с единственным «экспериментальным» значением, то хуже прочих выглядят прогнозы на 2001 и 2002 гг.

В нижней строке Табл. 8 представлены среднеквадратические ошибки прогнозов, составленных в годы, приведённые в верхней строке, относительно ряда лет, приведённых в левом столбце таблицы. Для этого случая, если

воспользоваться терминологией предыдущего абзаца, вероятностным экспериментом является вышеуказанное составление прогноза в один из годов относительно ряда лет, а результатом такого эксперимента – соответствующее значение СКО в нижней строке. Среднее значение этих экспериментов, будучи рассчитанным, как и среднее экспериментов предыдущего абзаца, по формуле (25), составит то же самое значение – 2,77% (или – 2,8% как указано в таблице). А среднеквадратическое отклонение значений нижней строки Табл. 8 равняется 0,96 п.п., т.е. ОСО в этом случае составляет 0,35 или 35%.

В Табл. 9 приведены результаты расчетов относительной точности прогнозов МЭА *мирового спроса на энергию* по формуле (24).

**Табл. 9. Относительная ошибка прогнозов МЭА мирового спроса на энергию (базовый сценарий), %. Расчет авторов**

Год, на который составлен прогноз	Годы выпуска обзора WEO (1993-2002)							СКО, %
	93	94	95	96	98	00	02	
1994	-7,9	–	–	–	–	–	–	7,9
1995	-8,6	-8,8	–	–	–	–	–	8,7
1996	-9,4	-9,6	-10,0	–	–	–	–	9,7
1997	-9,3	-9,4	-9,9	-8,5	–	–	–	9,3
1998	-8,1	-8,1	-8,6	-6,8	–	–	–	7,9
1999	8,4	-8,3	-8,7	-6,6	2,5	–	–	7,3
2000	-9,3	-9,2	-9,6	-7,1	1,9	–	–	8,0
2001	-8,1	-7,9	-8,4	-5,9	3,0	2,6	–	6,4
2002	-7,4	-7,2	-7,6	-5,1	3,6	3,1	–	5,9
2003	-8,8	-8,5	-9,0	-6,5	1,8	1,2	-0,6	6,3
2004	-11,0	-10,7	-11,2	-8,8	-0,9	-1,7	-3,5	8,1
2005	-10,0	-9,6	-10,1	-7,7	0,0	-0,9	-2,8	7,2
СКО, %	8,9	8,9	9,3	7,1	2,2	2,1	2,6	7,5

Проблема применения МЭ США и МЭА различающихся между собой характеристик *использования энергии потребителями* – а именно, *потребления* («consumption») и *спроса* («demand»), соответственно, – подробно рассмотрена в Части I [1, стр.9], где, в том числе, указано на возможность их сопоставления между собой. В дальнейшем, когда необходимо одновременно говорить о прогнозах МЭ США и МЭА, мы будем применять термин *использование энергии* (а также *использование газа*).

Как уже отмечалось в Части I, МЭА в своих отчётах пользуется следующим определением относительной ошибки прогноза [1, 2]:

$$\delta_n = 100\% \cdot (E_{n, forecast} - E_n) / E_{n, forecast} \quad (26)$$

которое отличается от определения, используемого в данной работе (см. выражение (24) выше). Пересчет от величин типа  $\delta_n$ , представленных в Табл. 2, к величинам типа  $\Delta_n$ , представленным в таблицах Части II, включая Табл. 9, дается формулой

$$\Delta_n = \frac{\delta_n}{1 - \delta_n / 100\%}. \quad (27)$$

Если сравнить данные Табл. 9 с Табл. 2, то можно увидеть довольно существенные расхождения в оценках точности прогнозов. Это связано не с отмеченным использованием различных видов относительных ошибок  $\Delta_n$  и  $\delta_n$ , поскольку влияние этого расхождения значительно меньше наблюдаемого в таблицах, а с тем, что мы используем в Табл. 9 в качестве «факта» данные МЭ США, которые гораздо сильнее отличаются от прогнозных значений МЭА, чем фактические значения самого МЭА. Можно сказать, что использование фактических значений МЭ США для сравнения с прогнозом МЭА приводит к возникновению как бы систематической ошибки в прогнозах МЭА. Причина возникновения этой «систематической ошибки» связана с уже упоминавшимся расхождением фактических значений МЭА и МЭ США, а также с тем обстоятельством, что прогноз МЭА строится, отталкиваясь от фактических значений МЭА, а сравнивается уже с фактическими значениями МЭ США.

Рассмотрим данные Табл. 9 аналогично тому, как были выше рассмотрены данные Табл. 8, а именно: каждая строка таблицы, содержащая набор прогнозов на один и тот же год, выполненных в течение ряда лет, считается вероятностным экспериментом. Во-первых, необходимо отметить, что среднее значение результатов экспериментов (правая нижняя ячейка) из Табл. 9, составляет 7,5%. Это значительно больше соответствующего значения из Табл. 8, равного 2,8%, что является грубым (поскольку – интегральным) количественным подтверждением утверждения из предыдущего абзаца о более сильном отличии от фактических значений (МЭ США) прогнозных значений МЭА по сравнению с прогнозными значениями МЭ США.

Среднеквадратичное отклонение результатов статистических испытаний, представленных в правом столбце Табл. 9, от указанного среднего составляет 1,13 процентных пункта, что соответствует ОСО в 0,15 (15%). Таким образом, разброс показателей качества прогнозирования на различные годы у МЭА менее чем в полтора раза превосходит разброс МЭ США в абсолютном выражении (1,13 п.п. против 0,84 п.п.), а в относительном выражении оказывается вдвое меньшим (15% против 30%).

При худшем, в целом, совпадении прогнозов МЭА с фактическими значениями, по сравнению с прогнозами МЭ США, можно, тем не менее, отметить, исходя из значений правого столбца Табл. 9, что наиболее хорошее совпадение данные МЭА демонстрируют при прогнозировании на годы с 2001 по 2003 и наихудшее – при прогнозировании на 1996 и 1997 годы. Причина такого результата заключается в существенном изменении качества прогнозирования МЭА, начиная с 1998 г., о чём более подробно будет сказано

ниже. Это изменение повлияло на значения СКО правого столбца, начиная с 1999 года.

СКО нижней строки Табл. 9 равняется 3,56 п.п. (ОСО – 0,47 или 47%) и, таким образом, значительно превышает аналогичное значение Табл. 8 – 0,96 п.п. Это говорит о том, что разброс точностей испытаний, отражённых в этой строке Табл. 9 (а именно, прогнозов, выполненных в один год на ряд лет), значительно больше соответствующих разбросов Табл. 8. И этот результат, как и результат из предыдущего абзаца, имеет следующее объяснение.

Как было отмечено выше в параграфе 4, начиная с обзоров за 1998 г., фактические значения МЭА и МЭ США начинают значительно лучше совпадать друг с другом. В результате чего существенно улучшается и совпадение прогнозов этих организаций в указанный период, о чём можно косвенно судить по соответствующим данным Табл. 8 и 9 (с учётом того, что они получены на основе выражения (24) с использованием в нём одних и тех же фактических значений МЭ США). Показательны в этой связи значения нижней строки Табл. 9: первые четыре величины, соответствующие годам с 1993 по 1996, в 3-4 раза превосходят следующие три, соответствующие годам 1998, 2000 и 2002.

Сравним теперь относительные ошибки прогнозов МЭ США и МЭА, представленные в Табл. 8 и 9, с относительными ошибками прогнозов, полученных по формулам *линейной регрессии* (15-16) с расчетными базами в виде фактических значений за одинаковое количество лет (в данном случае – за 14), которые приведены в Табл. 10. Вся база используемых здесь в рамках регрессионного прогнозирования «фактов» начинается с 1980 г. и заканчивается 2003 г., при этом база каждого отдельного прогноза заканчивается годом, предшествующим первому году, на который делается прогноз (назовём его годом « $n$ »), а начинается с года « $n-13$ ». В параграфе 1 (Часть I) этот прогноз упоминается как «авторский», однако здесь мы будем называть его «регрессионным», чтобы подчеркнуть используемую в нём методику прогнозирования. Коэффициенты  $b$  и  $q$  в формуле (15) определяются отдельно для каждой расчетной базы. Этот прогноз носит чисто статистический характер и не использует каких-либо предположений об экономическом состоянии и перспективах развития мирового энергетического рынка.

Данные Табл. 10 наглядно демонстрируют типичный для величин, получаемых посредством «простой» экстраполяции (чем, по существу, и является представленный регрессионный прогноз), характер поведения: ошибка такого рода прогноза с фиксированной базой растет по мере увеличения промежутка времени, на который делается прогноз. Это хорошо видно из большинства столбцов Табл. 10, но лучше всего – на примере крайнего правого столбца со значениями СКО, полученными из серий ошибок прогнозирования на отдельные годы. Так, при прогнозировании всего на 1 год относительные ошибки из этой таблицы составляют около 0,5%-2,0%, при прогнозировании на 5 лет отдельные ошибки приближаются к 10%, а для 10-летнего прогноза часть из них превышает 20%.

**Табл. 10. Относительная ошибка регрессионных прогнозов мирового потребления энергии, %. Расчет авторов**

Год, на который составлен прогноз	Прогнозная база (от 1980-1993 до 1990-2003)											СКО, %
	80-93	81-94	82-95	83-96	84-97	85-98	86-99	87-00	88-01	89-02	90-03	
1994	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,4
1995	-0,3	-1,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0
1996	-1,3	-3,2	-1,9	–	–	–	–	–	–	–	–	2,3
1997	-1,4	-4,1	-3,0	-0,9	–	–	–	–	–	–	–	2,6
1998	-0,2	-3,9	-3,0	-0,7	0,8	–	–	–	–	–	–	2,3
1999	-0,6	-5,4	-4,8	-2,3	-0,1	-1,1	–	–	–	–	–	3,1
2000	-1,8	-7,7	-7,4	-4,8	-1,9	-3,0	-1,6	–	–	–	–	4,7
2001	-1,4	-8,6	-8,6	-5,9	-2,1	-3,4	-1,7	0,6	–	–	–	5,0
2002	-1,5	-10,0	-10,5	-7,6	-2,9	-4,4	-2,4	0,8	0,4	–	–	5,8
2003	-3,9	-13,6	-14,5	-11,6	-6,1	-7,7	-5,3	-1,4	-1,5	-1,8	–	8,2
2004	-7,1	-17,9	-19,3	-16,4	-10,0	-11,8	-9,1	-4,4	-4,2	-4,4	-2,1	11,3
2005	-6,9	-19,3	-21,1	-18,1	-10,8	-12,7	-9,6	-3,9	-3,2	-3,4	-0,4	12,1
СКО, %	3,2	10,4	11,4	9,7	5,8	7,6	6,0	2,7	2,8	3,4	1,5	7,6

В этой связи можно сказать, что результаты прогнозирования МЭ США и МЭА (Табл. 8 и 9) выгодно отличаются от представленного регрессионного прогноза отсутствием столь явной зависимости качества прогнозирования от удалённости года, на который делается прогноз. Указанное обстоятельство позволяет с высокой долей уверенности утверждать, что *горизонт прогнозирования* (то есть промежуток времени, на который рассматриваемая система способна давать прогноз заданной приемлемой точности) у прогнозных систем МЭА и МЭ США выше, чем у представленной регрессионной системы.

Осреднённые показатели качества регрессионного прогноза (нижняя строка Табл. 10) заметно уступают аналогичным показателям МЭ США, а также «лучшей части» показателей МЭА (прогнозы 1998-2002 годов; о неоднородности качества прогнозов из Табл. 8 см. выше). Большие значения СКО получаются для прогнозов с базами 1981-1994, 1982-1995, 1983-1996, 1985-1998 гг. (10,4%, 11,4%, 9,7% и 7,6%, соответственно), что не удивительно, поскольку эти прогнозы делались – по максимуму – на 11, 10, 9 и 7 лет, т.е. содержали много «дальних» прогнозов ожидаемо плохого качества. Неожиданным, в этой связи, выглядит высокое качество самого долгосрочного из приведённых в Табл. 10 прогноза с базой 1980-1993 (СКО равняется 3,2%). Впрочем, этому факту имеется некоторое объяснение. Дело в том, что если посмотреть на всю совокупность значений нижней строки, то нетрудно заметить волнообразный характер её изменения от базы к базе. Так, если регрессионные прогнозы обозначать по последнему году базы, то указанная

«волна» имеет пики в 1995, 1998 и 2002 годах и впадины в 1993, 1997, 2000 и 2003 годах. Отметим, что волнообразный характер фактических значений мирового потребления энергии, которые влияют на любой прогноз, а особенно – на регрессионный, был отмечен в Части I [1, стр. 19-20]. Таким образом, если исходить из того, что кривая энергопотребления представляет собой волну с неопределёнными, плавающими значениями амплитуд и периодов, то понятно, что качество регрессионного прогнозирования будет во многом зависеть от степени попадания или непопадания прогноза в эту гипотетическую «волну» в конкретный год.

Если же на каком-то временном отрезке отмеченный волнообразный характер поведения кривой энергопотребления не столь значителен, а определяющей тенденцией является увеличивающийся темп роста, то отличительной особенностью регрессии в этом случае будет занижение прогноза, поскольку он будет основываться на данных, изменение которых происходит с меньшим темпом по сравнению с последующими годами, на которые делается прогноз. Именно такой характер поведения прогноза наблюдается в нашем случае, о чём свидетельствуют по большей части отрицательные значения ошибок из Табл.10, вычисленных по формуле (24).

Следует иметь в виду, что точность прогноза по регрессионной модели может зависеть от объема выборки, на которой основывается оценка коэффициентов линейной регрессии (тем более с учётом отмеченного волнообразного характера поведения фактических значений некоторых величин). Однако в данной работе, носящей в целом методологический характер, анализ такой зависимости не проводится, поскольку приведённый пример регрессионного прогноза представляет интерес не сам по себе, а имеет, в основном, сравнительное значение.

## **6. Точность прогнозов МЭ США и МЭА мирового использования природного газа за период с 1993 по 2003 гг.**

В Табл. 11 и 12, которые по своей структуре аналогичны Табл. 5 и 6 из Части I [1, стр. 24 и 25], приведены данные соответствующих прогнозов МЭ США и МЭА мирового потребления природного газа, а в Табл. 13 и 14 – точности этих прогнозов, рассчитанные по формуле (24).

Сравнение между собой данных прогнозов МЭ США (Табл. 11) на какой-либо один год, т.е. величин, содержащихся в одном из столбцов таблицы, показывает, что их динамика в зависимости от года выполнения прогноза немонотонна, а разброс значений достаточно велик. Немонотонность отражает влияние переменных по величине – а иногда и по знаку – годовых приростов фактического потребления газа, которые имели место в годы выпуска обзоров, на оценку будущих уровней его потребления. Вариация прогнозного ряда (или относительное среднеквадратичное отклонение, ОСО) составляет для 2005 г. 5%, а для 2010 г. 7%.

**Табл. 11. Данные прогнозов МЭ США мирового потребления природного газа, QBTU. Базовый сценарий. Источник: [3]**

Прогноз	2000	2005	2010	2015	2020	2025
IEO-93*	89,8	100,1	111,6	–	–	–
IEO-94	86,8	99,2	113,4	–	–	–
IEO-95	89,2	97,6	106,8	–	–	–
IEO-96**	91,0	104,2	117,7	133,3	–	–
IEO-97	97,6	113,8	129,0	144,7	–	–
IEO-98	94,8	113,8	133,3	152,5	174,2	–
IEO-99	90,1	111,3	130,8	153,6	177,5	–
IEO-2000	–	107,7	127,7	145,3	173,3	–
IEO-01	–	106,5	124,2	146,2	168,6	–
IEO-02	–	105,2	123,4	145,8	168,6	–
IEO-03	–	103,0	117,5	137,3	158,5	181,8
IEO-04	–	–	108,5	122,0	138,8	156,5

*Примечания:*

\* данные IEO-93 взяты из раздела «Сравнение прогнозов» в обзоре IEO-94, где они приведены в млн баррелей нефтяного эквивалента (б н.э.) в день. При пересчете данных IEO-93 в QBTU здесь, во-первых, используется соотношение 1 б н.э./день = 49,64 т н.э./год. А, во-вторых, учитывается тот факт, что коэффициент перевода в BTU в обзоре IEO-94 отличается от принятого в последующие годы и равняется 0,0411 QBTU/млн т н.э.

\*\* в обзоре IEO-96 данные по газу приведены в триллионах кубических футов, причем из сопоставления данных таблиц (3, стр. 8 и 93) следует, что коэффициент перевода этих величин в QBTU принят равным 1.

В Табл. 12 прогнозные значения МЭА мирового спроса на природный газ представлены в каждой ячейке двумя величинами, соответствующими двум разным единицам измерения, аналогично тому, как это сделано в Табл. 6 из Части I. Во-первых, это данные МЭА в исходных единицах – миллионах тонн нефтяного эквивалента, которые указаны в скобках. А также, для удобства сравнения, величины в тепловых единицах QBTU, указанные без скобок.

Анализ данных МЭА (Табл. 12) также обнаруживает немонотонный характер поведения значений прогнозов на определённый год в зависимости от года выполнения прогноза (значений столбцов), как это имеет место и для аналогичных данных МЭ США (Табл. 11). Кроме того, он показывает, что прогнозные значения МЭА потребления газа для каждого прогнозируемого года колеблются вокруг своих средних значений со значительно меньшей

дисперсией, чем у МЭ США. Так, вариация прогноза (ОСО) на 2005 г. составила 1,2%, а на 2010 г. – 1,4%.

**Табл. 12. Данные прогнозов МЭА мирового спроса на природный газ, QVTU (млн. т н.э.). Базовый сценарий. Источник: [2]**

Прогноз	2000	2005	2010	2015	2020	2025
<b>WEO-93</b>	78,4 <sup>*</sup> (1974)	93,1 <sup>**</sup> (2345)	110,6 (2785)	–	–	–
<b>WEO-94</b>	80,2 (2020)	93,0 <sup>**</sup> (2343)	107,9 (2718)	–	–	–
<b>WEO-95</b>	78,6 (1979)	91,9 <sup>**</sup> (2315)	107,5 (2708)	–	–	–
<b>WEO-96</b>	81,4 (2050)	95,0 <sup>**</sup> (2394)	111,0 (2795)	–	–	–
<b>WEO-98</b>	82,3 <sup>**</sup> (2073)	94,3 <sup>**</sup> (2375)	108,0 (2721)	121,9 <sup>**</sup> (3072)	137,7 (3468)	–
<b>WEO-2000</b>	–	94,3 <sup>**</sup> (2375)	108,1 (2724)	123,4 <sup>**</sup> (3110)	141,0 (3551)	–
<b>WEO-02</b>	–	95,8 <sup>**</sup> (2414)	110,9 (2794)	124,7 <sup>**</sup> (3142)	140,2 (3531)	152,9 <sup>**</sup> (3852)
<b>WEO-04</b>	–	94,1 <sup>**</sup> (2370)	107,3 (2703)	121,2 <sup>**</sup> (3054)	137,0 (3451)	149,9 <sup>**</sup> (3775)

*Примечания:*

*\* Данные Табл. 12, которые указаны в скобках жирным шрифтом, взяты из различных выпусков WEO, где они приводятся в млн баррелей нефтяного эквивалента в день. Прочие данные таблицы (указаны нежирным шрифтом и без скобок) даны в QVTU. Они связаны с соответствующими вышеупомянутыми значениями коэффициентом перевода 0,0397 QVTU/млн т н.э., ранее использовавшимся в [1].*

*\*\* данные получены интерполяцией на основе прочих, взятых из отчётов WEO, значений Табл. 12.*

Рассмотрим теперь ошибки прогнозов МЭ США и МЭА использования природного газа (Табл. 13 и 14). Аналогично тому, как это указано в отношении мирового потребления энергии, здесь в качестве вероятностных экспериментов рассматриваются значения строк Табл. 13 и 14, в которых представлены относительные ошибки прогнозов мирового использования природного газа, выполненных в течение ряда лет (верхняя строка таблицы) в отношении одних и тех же лет из числа указанных в крайнем левом столбце.

Результаты этих экспериментов (события) приведены, как и в Табл. 8 и 9, в крайнем правом столбце таблицы и представляют собой СКО ошибок из соответствующих строк.

**Табл. 13. Относительная ошибка базовых прогнозов МЭ США мирового потребления природного газа (базовый сценарий), %. Расчет авторов**

Год, на который составлен прогноз	Годы выпуска обзора ИЕО (1993-2003)											СКО, %	
	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03		
1994	-0,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,0
1995	-0,6	-2,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0
1996	-2,7	-5,1	-3,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0
1997	-0,8	-3,4	-1,8	-0,9	–	–	–	–	–	–	–	–	2,0
1998	0,2	-2,7	-0,7	0,5	3,8	–	–	–	–	–	–	–	2,1
1999	-0,4	-3,5	-1,1	0,5	5,8	3,9	–	–	–	–	–	–	3,2
2000	-1,7	-5,0	-2,4	-0,4	6,8	4,0	2,9	–	–	–	–	–	3,9
2001	-1,1	-4,0	-2,2	0,7	8,4	6,1	4,8	2,4	–	–	–	–	4,5
2002	-2,4	-4,7	-3,8	0,0	8,0	6,3	4,7	2,1	0,1	–	–	–	4,4
2003	-3,8	-5,6	-5,5	-0,9	7,4	6,3	4,5	1,6	-0,1	-0,9	–	–	4,4
2004	-5,3	-6,6	-7,3	-1,9	6,7	6,1	4,1	1,0	-0,4	-1,5	-2,9	–	4,7
2005	-5,2	-6,0	-7,6	-1,3	7,8	7,8	5,4	2,0	0,9	-0,4	-2,5	–	5,1
СКО, %	2,7	4,7	4,3	1,0	7,0	5,9	4,5	1,9	0,5	1,0	2,7	–	4,1

Среднее значение событий из Табл. 13 (МЭ США, газ), рассчитанное по формуле (25) и представленное в правой нижней ячейке таблицы, равняется 4,1%, их СКО – 1,63 п.п., а ОСО, соответственно, 0,39 или 39%. Если не брать в расчёт прогнозы на 1994 и 1995 гг., статистическая база которых мала, то в качестве лучших следует назвать прогнозы на 1997 и 1998 годы, хотя и их база также не слишком велика. Худшими же являются прогнозы на 2004 и 2005 годы, что, впрочем, выглядит вполне естественно, поскольку эти годы являются самыми поздними из рассматриваемых и потому для всех лет, когда выпускались обзоры, прогнозы на данные годы были самыми долгосрочными.

Нижняя строка Табл. 13 со значениями СКО прогнозов, выполненных в один и тот же год (из числа указанных в верхней строке) относительно ряда лет (указанных в левом столбце), характеризуется следующими количественными и качественными показателями. Среднеквадратичное отклонение (СКО) событий из этой строки – при том, что в качестве среднего значения этих событий берутся те же 4,1%, как и для экспериментов со значениями из правого столбца – составляет 2,21 п.п., а ОСО – 0,54 или 54%. Высокой точностью отличаются прогнозы 1996 и 2000-2002 гг. (хотя точность последних трех рассмотрена на малом количестве данных). Прогнозы же 1994-1995 гг. и 1997-1999 гг. нельзя признать удачными. Отметим, что по

сравнению с прогнозированием энергопотребления (Табл. 8) для природного газа «удачные» прогнозы имеют меньшую ошибку (СКО), а «плохие» – большую.

Кроме того, можно отметить, что в поведении значений нижней строки Табл. 13 от базы к базе наблюдается выраженный волнообразный характер с пиками, соответствующими 1994, 1997 и 2003 годам, подобно тому, что было отмечено выше в отношении нижней строки Табл. 10 с регрессионными прогнозами. Кстати, таким же поведением отличается и нижняя строка Табл. 8.

**Табл. 14. Относительная ошибка прогнозов МЭА мирового спроса на природный газ (базовый сценарий), %. Расчет авторов**

Год, на который составлен прогноз	Годы выпуска обзора WEO (1993-2002)							СКО, %
	93	94	95	96	98	00	02	
<b>1994</b>	-9,8	–	–	–	–	–	–	<b>9,8</b>
<b>1995</b>	-10,8	-9,2	–	–	–	–	–	<b>10,1</b>
<b>1996</b>	-13,2	-11,6	-12,8	–	–	–	–	<b>12,5</b>
<b>1997</b>	-12,0	-10,2	-11,6	-11,1	–	–	–	<b>11,3</b>
<b>1998</b>	-11,6	-9,7	-11,3	-9,9	–	–	–	<b>10,7</b>
<b>1999</b>	-12,5	-10,6	-12,3	-10,0	-9,1	–	–	<b>11,0</b>
<b>2000</b>	-14,2	-12,2	-14,0	-10,9	-9,9	–	–	<b>12,4</b>
<b>2001</b>	-12,6	-11,0	-12,6	-9,6	-8,9	-8,9	–	<b>10,7</b>
<b>2002</b>	-12,6	-11,4	-12,9	-9,9	-9,5	-9,5	–	<b>11,1</b>
<b>2003</b>	-12,7	-12,0	-13,3	-10,3	-10,3	-10,3	-9,3	<b>11,3</b>
<b>2004</b>	-13,0	-12,7	-13,8	-10,9	-11,2	-11,2	-10,0	<b>11,9</b>
<b>2005</b>	-11,8	-11,9	-13,0	-10,0	-10,7	-10,7	-9,3	<b>11,1</b>
СКО, %	<b>12,3</b>	<b>11,2</b>	<b>12,8</b>	<b>10,3</b>	<b>10,0</b>	<b>10,2</b>	<b>9,5</b>	<b>11,3</b>

Сравним Табл. 14 как с Табл. 13 (аналогичная таблица на основе прогнозов МЭ США), так и с Табл. 9 (ошибки прогноза МЭА мирового потребления энергии). Видно, что ошибка прогнозов МЭА отрицательна, что, как и при рассмотрении прогнозов энергопотребления, связано с систематической ошибкой вследствие соотнесения прогнозов МЭА с соответствующими фактическими значениями, взятыми из материалов МЭ США. Напомним, также, что среднеквадратичное отклонение в Табл. 14 вычислялось, как и в Табл. 9, с учетом того, что, начиная с 1996 г., прогнозы МЭА делались с интервалом в 2 года, т.е. прогноз МЭА в 1997 г. совпадал с прогнозом в 1996 г., прогноз в 1999 г. совпадал с прогнозом в 1998 г. и т.д.

Среднее квадратичное значение результатов экспериментов Табл. 14 (в правой нижней её ячейке) равняется 11,3%, что значительно превосходит аналогичное значение из Табл. 13 (4,1%; МЭ США) и ещё раз иллюстрирует наличие вышеупомянутой систематической ошибки в отклонениях прогнозов МЭА от «факта». Причём, как уже отмечалось, в отличие от использования

*энергии* для фактических данных МЭА использования *природного газа* не происходит после 1996 г. (или после какого-либо ещё года) сближения их значений с фактическими данными МЭ США. В результате этого прогнозные данные МЭА использования газа, «отталкивающиеся» от фактических данных МЭА, для всех лет выпусков обзоров (для всех столбцов), представленных в Табл. 14, демонстрируют стабильно существенное расхождение.

СКО результатов экспериментов из правого столбца Табл. 14 составляет 1,16 п.п., а ОСО – 0,10 или 10%. Это означает, что разброс показателей точности прогнозирования использования газа на различные годы у МЭА не слишком отличается по величине от аналогичного разброса для МЭ США (Табл. 13) в абсолютном выражении (1,63 п.п.), но, при этом, значительно меньше разброса МЭ США в относительном выражении (39%).

Сравнение с аналогичными характеристиками Табл. 9 (МЭА, использование энергии) показывает, что у МЭА данный разброс для газа почти совпадает со значением разброса для энергии в абсолютном выражении (СКО – 1,13 п.п.) и лишь в полтора раза меньше разброса в относительном выражении (ОСО – 15%).

СКО для нижней строки Табл. 14 составляет 1,21 п.п., ОСО – 0,11 (11%). Таким образом, разброс точностей прогнозов, выполненных в один год на ряд лет в отношении использования газа у МЭА примерно вдвое меньше, чем у МЭ США (Табл. 13) в абсолютном выражении (2,21 п.п.) и в 5 раз меньше в относительном (54%).

Если производить сравнение с разбросом прогнозов МЭА же, но только в части использования энергии (Табл. 9), то разброс для газа приблизительно втрое меньше разброса для энергии в абсолютном выражении (3,56 п.п.) и в 4 раза меньше – в относительном (47%).

Проведенный анализ показал, что при тщательном сопоставлении прогнозов даже таких двух высоко котирующихся организаций, как МЭА и МЭ США, обнаруживается, тем не менее, целый ряд неточностей, неопределённостей и несоответствий. Это означает, что объективная ценность каждого из прогнозов, которые создаются в области энергопотребления (и не только его) различными организациями и компаниями, значительно возрастает при условии детального описания особенностей методики сбора данных, сценариев относительно внешних переменных, а также прогнозного алгоритма.

Большая активность в области прогнозирования должна со временем привести к определенной стандартизации или, по крайней мере, унификации структуры обзоров по мировой энергетике и методики прогнозирования. Одной из компонент такой унификации должна быть математически корректная оценка качества прогнозной системы. Данная работа, насколько известно авторам, является одной из первых в этом направлении.

В заключение кратко остановимся на мировом финансово-экономическом кризисе 2008-2009 г.г. и его возможном влиянии на точность прогнозирования. Следствием данного кризиса в части, касающейся этой работы, явилось снижение в 2009 г. спроса на энергоносители, в том числе на

природный газ и энергию в целом. Этот кризис, как известно, оказался достаточно неожиданным для мирового экономического сообщества (голоса отдельных специалистов, осторожно говоривших о возможности кризиса до 2008 г., картину неготовности к нему, в общем-то, не меняют). Соответственно, и энергетические прогнозы – даже последних предкризисных лет – практически не отследили указанного снижения спроса. Это снижение, а также вся «яма» кривой спроса, которая, вероятно, возникнет на ней в течение нескольких лет, начиная с 2009 года, двояким образом повлияет на точность прогнозирования.

Во-первых, для уже выполненных прогнозов оно будет означать изменение тренда фактических значений рассматриваемых энергетических величин. Причём точность прогнозирования от этого может не только ухудшаться, но и улучшаться: для завышенных прогнозов снижение фактических значений приведёт к ухудшению точности прогнозирования, а для заниженных – к улучшению. Проиллюстрируем сказанное следующими табличными данными.

**Табл. 15. Сравнение базовых прогнозов МЭА с фактическими данными мирового потребления природного газа в период 2006-2009 гг., QBTU. Источник: [6]**

Годы	2006	2007	2008	2009
<b>Факт*</b>				
	106,5	111,5	114,2	112,4
<b>Прогноз</b>				
<b>WEO-93</b>	96,4	99,8	103,2	106,9
<b>WEO-94</b>	95,8	98,7	101,7	104,7
<b>WEO-95</b>	94,8	97,9	101,0	104,2
<b>WEO-96</b>	98,0	101,1	104,3	107,6
<b>WEO-98</b>	96,9	99,6	102,3	105,1
<b>WEO-2000</b>	96,9	99,6	102,4	105,2
<b>WEO-02</b>	98,6	101,6	104,6	107,7
<b>WEO-04</b>	96,6	99,2	101,8	104,5

*Примечания:*

\* фактические значения взяты из таблицы «*World natural gas consumption*» [6], где они приведены в тераджоулях (ТД). При пересчете данных таблицы в QBTU используется соотношение  $1 \text{ ТД} = 947,8 \text{ MBTU}$  ( $1 \text{ QBTU} = 1 \text{ млрд. MBTU}$ ).

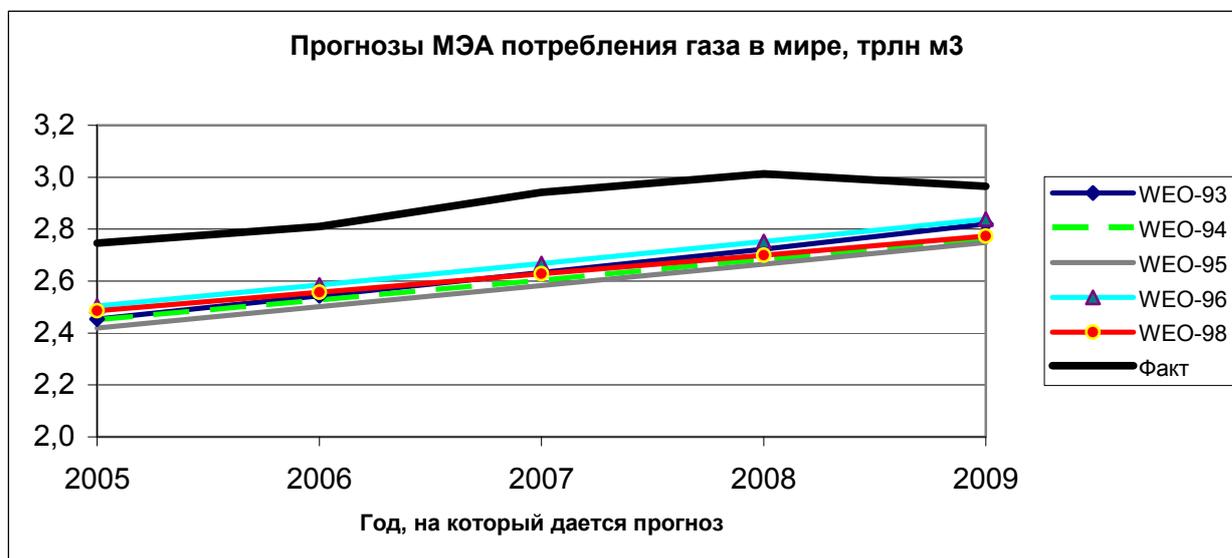
В Табл. 15 дано сравнение прогнозов МЭА, выполненных в 1993-2002 гг., мирового потребления природного газа в период 2006-2009 гг. с соответствующими фактическими значениями. Прогнозные значения за эти годы получены авторами линейной интерполяцией прогнозов на 2005 и 2010 годы, опубликованных в [2] и приведённых выше в Табл. 12.

Из Табл. 15 видно, что все прогнозы, выполненные в указанные годы, давали для периода 2006-2009 г.г. занижение спроса по сравнению с «фактом», приводимым в МЭА. Следовательно, снижение фактических значений в 2009 г. только улучшило точность прогноза в данном случае.

Интересно отметить, что прогнозы МЭ США по модели WEPS для того же периода давали, напротив, завышение спроса на природный газ – впрочем, относительно уже «факта» МЭ США. Две эти группы прогнозов приведены на рис. 3 и 4 в натуральных единицах, т.е. в триллионах куб. м.

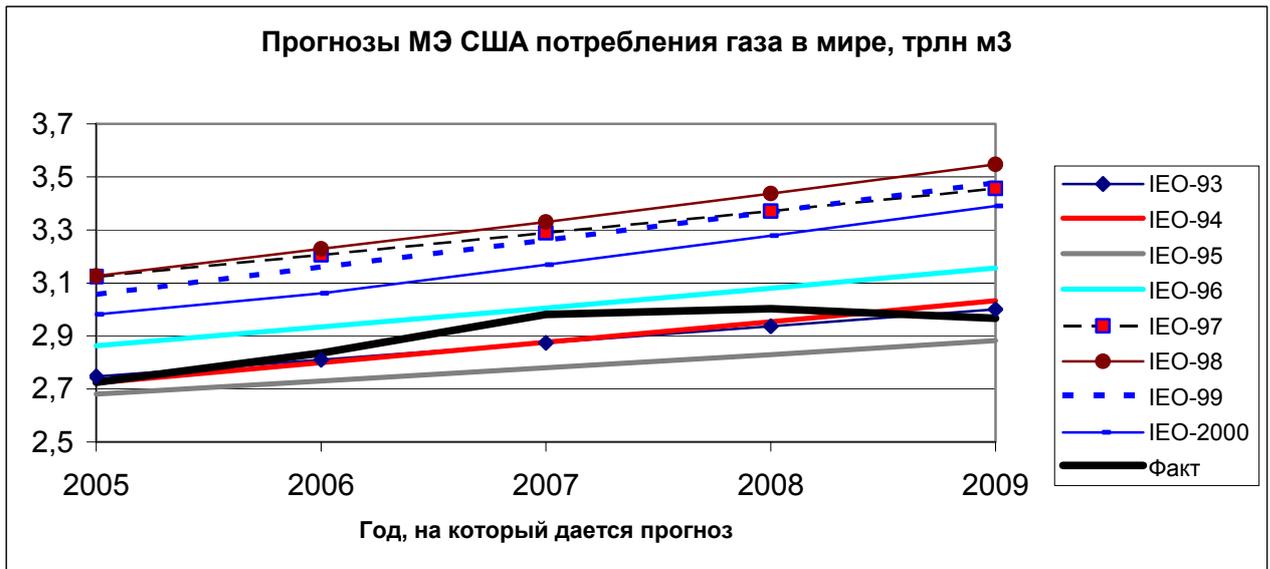
Отметим также, что мы в качестве «факта» на указанных рисунках взяли данные МЭА из Табл. 15, а не МЭ США, как делали раньше при сравнении точности прогнозов. Дело в том, что МЭ США в течение 2010 г. не давало информации о потреблении газа в мире за 2009 г., а за период с 2005 по 2008 гг. данные по потреблению газа, предоставляемые обеими организациями, совпадают с точностью до 1%.

Рис. 3. Сравнение прогнозов МЭА мирового потребления газа



Все прогнозы МЭА оказались занижены в среднем на 10%, что можно трактовать как систематическую ошибку, причины которой были обсуждены ранее. Наилучшим среди данной серии прогнозов был прогноз 1996 г., который, тем не менее, все же нельзя признать удачным.

Рис. 4. Сравнение прогнозов МЭ США мирового потребления газа



Из рис. 4 видно, что лучшими прогнозами были самые ранние, выполненные в 1993 и в 1994 годах. Их относительная среднеквадратичная ошибка на промежутке в 5 рассматриваемых лет составила всего 2%. Прогнозы 1995 и 1996 гг. имеют ошибку на уровне 5%, а остальные прогнозы дают ошибку от 10 до 15%.

Заметим в заключение, что снижение спроса на энергоносители в кризисные и послекризисные годы может заметно сказаться на количественных показателях прогнозов, которые будут выполнены в течение нескольких лет после 2009 г., поскольку на эти прогнозы будет существенно влиять новый характер поведения фактических значений, выражающийся в упомянутом провале спроса (а, значит, и снижения многих других индикаторов мировой энергетики, зависящих от спроса). В последующие годы влияние этого «провала» на результаты прогнозирования будет ослабляться по мере того, как он будет уходить в прошлое.

### **Приложение. Основные понятия статистического анализа временных рядов**

В приложении мы приводим для справки основные понятия и определения из математической статистики, используемые в данной работе, следуя [7-10]. Дело в том, что сравнение прогнозных систем, включая анализ точности получаемых по ним прогнозов, проводится нами в рамках определенного формализма, принятого в математической статистике. Во избежание разночтений ниже дается перечень наиболее важных понятий с указанием того смысла, который в них вкладывается в рамках данной работы. Полагаем это необходимым, поскольку в ряде статистических обзоров термины «точность», «погрешность» и т.п. бывают не вполне конкретизированы, и по смыслу своего использования иногда отличаются от терминов, принятых в математической статистике.

*Случайным или вероятностным экспериментом* (или *испытанием*) называется эксперимент, в котором при одних и тех же условиях его проведения возможно наступление различных событий. В этом определении фраза «одни и те же условия» относится к тем условиям проведения эксперимента, которые «экспериментатор» хочет и может обеспечить. При этом, разумеется, он не может контролировать вообще все условия, влияющие на проведение эксперимента, в силу естественной ограниченности своих возможностей. Так что, если неконтролируемые «экспериментатором» факторы несущественны с точки зрения допустимой ошибки измерений, то изучаемый процесс (и, соответственно, эксперимент) относится к классу *детерминированных*, а если существенны – то к классу *случайных*.

*Событием*, таким образом, называется результат проведения эксперимента (детерминированного или случайного), заключающийся в том, что реализовались некоторые состояния изучаемой системы, наблюдаемые экспериментатором. И, соответственно, в зависимости от характера эксперимента (испытания) говорят о детерминированных или о случайных событиях.

*Случайной величиной* называется величина, принимающая ровно одно из возможных значений в результате случайного эксперимента (испытания). Множество значений, которые могут наблюдаться в случайном эксперименте, образуют *пространство событий*  $\Omega$ . В этом смысле эксперимент рассматривается как некая функция, заданная на множестве событий.

*Функцией распределения*  $F(x)$  случайной величины  $\xi$  называется неубывающая неотрицательная функция, определенная на множестве событий, представляющая вероятность того, что значение случайной величины не превосходит  $x$ :

$$F(x) = P\{\xi \leq x, \xi \in \Omega\}. \quad (\text{П.1})$$

Суммирование функции распределения по значениям  $x$  (интегрирование в случае непрерывных функций  $F(x)$  по пространству событий), обозначается  $\int_{\Omega} dF(x)$ . Если  $F(x)$  дифференцируема, то  $dF = F'(x)dx$ . Функция  $f(x) = F'(x)$

называется *плотностью вероятности* или *распределением* случайной величины  $\xi$ .

*Математическим ожиданием*  $M[\xi]$  случайной величины  $\xi$  называется среднее значение этой величины, вычисленное по известному распределению вероятностей  $f(x)$ :

$$M[\xi] = \int_{\Omega} xf(x)dx. \quad (\text{П.2})$$

Математическим ожиданием некоторой функции  $g$  случайной величины  $\xi$  с распределением  $f(x)$  называется аналогичное среднее значение

$$M[g(\xi)] = \int_{\Omega} g(x)f(x)dx. \quad (\text{П.3})$$

*Дисперсией*  $D$  случайной величины  $\xi$  называется математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания:

$$D[\xi] = M[(\xi - M[\xi])^2]. \quad (\text{П.4})$$

*Относительным стандартным (относительным среднеквадратическим) отклонением* или *вариацией*  $\sigma_0[\xi]$  случайной величины  $\xi$  называется отношение квадратного корня из дисперсии случайной величины к ее математическому ожиданию, если последнее отлично от нуля. Сам квадратный корень из дисперсии называется *стандартным (среднеквадратическим) отклонением*  $\sigma[\xi]$  случайной величины:

$$\sigma[\xi] = \sqrt{D[\xi]}; \quad \sigma_0[\xi] = \sqrt{D[\xi]} / M[\xi], \quad M[\xi] \neq 0. \quad (\text{П.5})$$

*Временным или динамическим рядом* называется набор значений  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$  некоторой случайной величины  $\xi$ , полученных в результате наблюдений, выполненных в последовательные дискретные моменты времени.

*Выборкой* объема  $n$  называется совокупность из  $n$  значений случайной величины.

*Выборочным математическим ожиданием*  $\mu$  случайной величины  $\xi$  называется среднее арифметическое значение этой величины, вычисленное по данной выборке длины  $n$   $\{x_1, \dots, x_n\}$ :

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k. \quad (\text{П.8})$$

*Временной ряд* называется *стационарным в узком смысле*, если его функция распределения не зависит от времени, и *стационарным в широком смысле*, если от времени не зависят несколько его первых моментов  $m_r$  вплоть до порядка  $r_0$ . Этот порядок  $r_0$  называется *порядком стационарности* в широком смысле. Обычно рассматриваются стационарные процессы *второго порядка*, когда не зависят от времени математические ожидания и дисперсии членов этого временного ряда.

*Уравнением регрессии* называется соотношение между зависимой переменной – случайной величиной  $\eta$  и независимой переменной – как правило, неслучайной величиной  $\xi$ . Это соотношение носит характер функциональной связи между значениями величины  $\xi$ , которая называется *объясняющей переменной*, и условным математическим ожиданием величины  $\eta$  (*объясняемой переменной*).

$$M[\eta] \Big|_{\xi=x} = \varphi(x). \quad (\text{П.9})$$

Если эта связь, выражаемая функцией  $\varphi(x)$ , линейна, то *регрессию* называют *линейной*. *Условным математическим ожиданием* называется среднее значение случайной величины  $\eta$ , определяемое при условии, что объясняющая переменная  $\xi$  имеет при этом данное значение  $x$ .

*Метод наименьших квадратов* (МНК) оценивания параметров регрессионной модели (П.9) состоит в нахождении таких параметров функции  $\varphi(x)$  (например, для линейной функции  $\varphi(x) = ax + b$  параметрами являются коэффициенты  $a$  и  $b$ ), что сумма квадратов отклонений фактически наблюдаемых величин  $y_k$ , как реализаций случайной величины  $\eta$ , от регрессионной оценки  $M[\eta]$ , представленной в виде функции  $\varphi(x)$ , по данной выборке минимальна:

$$\sum_{k=1}^n (y_k - \varphi(x_k))^2 \rightarrow \min .$$

Известно [6-9], что если регрессия линейна, то оценка с помощью МНК параметров регрессии состоятельна.

### **Источники**

1. Аполонский О.Ю., Орлов Ю.Н. Сравнительный анализ долгосрочных прогнозов развития мировой энергетики. / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, № 26, 2007.
2. International Energy Agency. World Energy Outlook. / [www.iea.org](http://www.iea.org)
3. International Energy Outlook. DOE/EIA-0484.  
/ <http://www.eia.doe.gov/international/reports.html#Archive>
4. EIA – International Total Primary Energy Consumption and Energy Intensity Data. / <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/energyconsumption.html>
5. Аполонский О.Ю. Об оценке качества прогнозных систем для анализа энергетических рынков. – Известия РАН, Энергетика, 2009, № 6.
6. IEA Statistics. Natural Gas Information 2010.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1972.
8. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2002.
9. Уилкс С. Математическая статистика. – М.: Наука, 1967.
10. Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука, 1985.