

Семенычев В.К., Молостова П.Н. Анализ динамики показателей добычи нефти и ее цены на мировом и региональном рынках. Вестник Самарского муниципального института управления. Изд-во «Самарский муниципальный институт управления». – Самара. Изд-во САГМУ. 2012. №3(22). – С. 87-98.

УДК 338.2

**Семенычев В.К., Молостова П.А.**

**АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ЕЕ ЦЕНЫ НА МИРОВОМ И РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКАХ**

*В статье рассмотрена статистика динамики изменения объемов добычи сырой нефти, а также цен на нее на территории основных стран-производителей. Проведен анализ прогнозных значений, сформированных посредством моделирования и прогнозирования временных рядов динамики с использованием полиномиального тренда и аддитивно-мультипликативной колебательной компоненты на основе моделей авторегрессии скользящего среднего.*

*In the article the statistics of the dynamics of changes in the volume of crude oil, and prices for it in the main producing countries of this energy resource. The analysis of the predicted values generated by modeling and forecasting of time series dynamics using a polynomial trend and additive-multiplicative oscillatory component on the basis of an autoregressive moving average models.*

**Ключевые слова:** моделирование, прогнозирование, аддитивная и мультипликативная колебательные компоненты, временные ряды, полиномиальные тренды, параметрическая итерационная декомпозиция, добыча нефти, цена на нефть.

Высокий уровень потребления нефти в мире служит основанием для высказываемого рядом ученых и специалистов предположения о неизбежности скорого истощения нефтяных запасов к концу XXI века. Вследствие этого, анализ динамики добычи сырой нефти на различных временных интервалах становится одной из важнейших задач.

Общей параметрической моделью динамики добычи нефти может служить нелинейный тренд, взаимодействующий с аддитивными (независимыми от тренда) и пропорционально-мультипликативными (зависимыми от уровней тренда) колебательными компонентами [1]:

$$Y_k = T_k(1 + S_k^M) + S_k^A + \varepsilon_k, \quad (1)$$

где  $T_k$  – тренд,  $T_k S_k^M$  – мультипликативная колебательная компонента,  $|S_k^M| < 1$ ,  $S_k^A$  – аддитивная колебательная компонента,  $\varepsilon_k$  – стохастическая компонента, которую обычно считают отвечающей условиям Гаусса-Маркова (центрированности, гомоскедастичности, отсутствия автокорреляции и симметричного закона распределения) для обеспечения

оптимальных (несмещенных, эффективных и состоятельных оценок параметров) при применении для идентификации метода наименьших квадратов (МНК) [2],  $k = 1, \dots, N$  - наблюдения,  $N$  - объём анализируемой выборки.

Используем в (1) разложение нелинейного в общем случае тренда в виде ограниченного  $N_T$  полиномиального ряда Тейлора:

$$T_k = \sum_{i=0}^{N_T} [D_{i+1} \cdot (k\Delta)^{N_T-i}]. \quad (2)$$

Колебательные компоненты определим набором гармоник  $N_M$  и  $N_A$  с частотами  $\omega_q$  и  $\Omega_r$  и амплитудами  $A_q, B_q, E_r, F_r$ :

$$S_k^M = \sum_{q=1}^{N_M} [A_q \cdot \sin(\omega_q \cdot k\Delta) + B_q \cdot \cos(\omega_q \cdot k\Delta)], \quad (3)$$

$$S_k^A = \sum_{r=1}^{N_A} [E_r \cdot \sin(\Omega_r \cdot k\Delta) + F_r \cdot \cos(\Omega_r \cdot k\Delta)]. \quad (4)$$

Рассматриваемый вид пропорционально-мультипликативного взаимодействия тренда  $T_k$  в (1) с колебательной компонентой  $S_k^M$  является частным, но, как убедительно показала экономическая практика, наиболее распространенным [3]: амплитуда колебательной компоненты обычно пропорциональна уровням тренда.

Идентификацию модели динамики реализуем посредством обобщенных параметрических моделей авторегрессии – скользящего среднего (ARMA-моделей), использовании МНК [1, 3, 4] и программы «Z\_ident» [5].

Параметры  $D_1^i, D_2^i, \dots, D_{N_T+1}^i$  входят в (2) линейно, поэтому их поиск легко реализует МНК. При идентификации модели (1) целесообразно для уменьшения размерности систем нормальных уравнений, формируемых при применении МНК применить метод «параметрической итерационной декомпозиции» [6]. В соответствии с этим методом на первой итерации осуществляется одним из известных методов параметрическая идентификация тренда. После детрендрования осуществляется параметрическая идентификация колебательной компоненты с помощью ARMA-моделей и МНК, затем после десезонализации вновь идентифицируется тренд и т. д.

При выборе модели реализуется перебор различных моделей тренда и колебательных компонент, сравнивается их точность.

Критерием точности служат получаемые для различных моделей оценки точности моделирования (коэффициента детерминации  $R^2$ ) и ошибки прогнозирования (МАРЕ-оценки)[2]. Удовлетворительными для практики принято обычно считать значения коэффициента детерминации больше 0,7 (т.е. объяснение моделью более 70% рассматриваемой выборки), а для прогнозирования – МАРЕ-оценку менее 10%. В идеале они должны стремиться к единице и нулю, соответственно.

Начнем с анализа возможности описания динамики ежегодного изменения объема добычи нефти в мире [7] с 1980г. по 2010г. моделью (1) (рис.1).

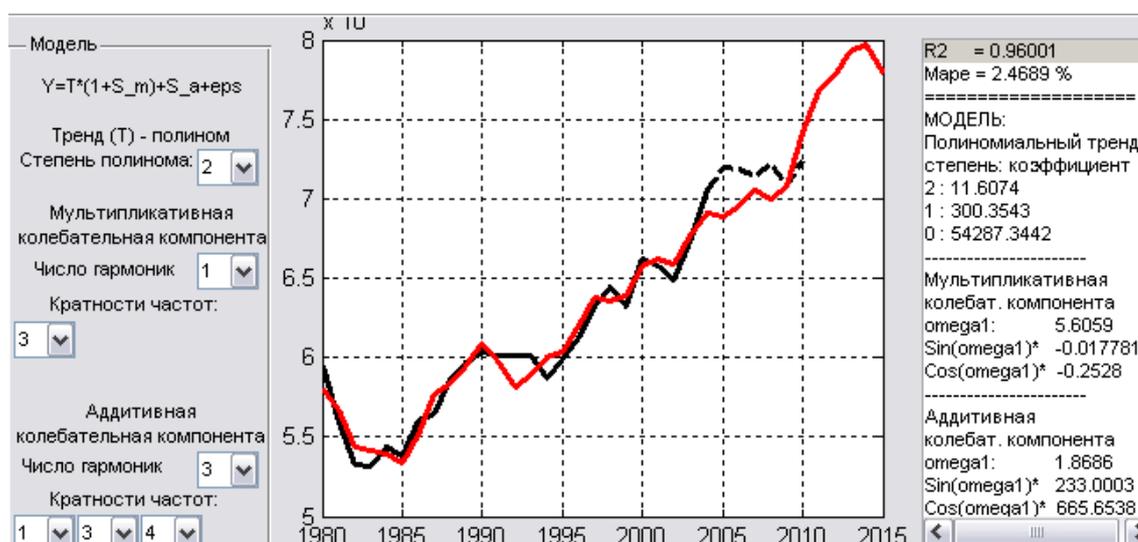


Рис. 1. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти в мире (\*10<sup>7</sup> бар/сут), 1980-2010 гг.

Более точной моделью добычи оказался полином второй степени, три гармоники аддитивной колебательной компоненты с кратностями частот 1, 3 и 4, а также одна гармоника мультипликативной колебательной компоненты с кратностью частот 1. Значения параметров данной модели, характеристик точности, как и ряда других моделей, представлены в табл. 1.

Табл. 1 – Сводная таблица результатов моделирования и прогнозирования

Объект моделирования	Степень полинома	Аддитивные гармоники		Мультипликативные гармоники		$R^2$	MAPE-оценка, %
		Количество	Кратности частот	Количество	Кратности частот		
Добыча в мире	2	3	1, 3, 4	1	3	0,96	2,47
Добыча в Азии	1	1	1	3	1, 2, 3	0,99	2,93
Добыча в Европе	4	1	7	1	1	0,96	3,80
Добыча в Северной Америке	1	3	1, 2, 4	1	3	0,97	3,58
Добыча в Африке	2	1	1	2	1, 4	0,95	3,74
Добыча в РФ	3	1	2	1	2	0,99	5,08
Добыча в Саудовской Аравии	1	2	1, 5	1	2	≈1	3,88

Добыча в США	2	1	7	1	2	0,99	2,73
Цены	2	1	1	1	3	0,98	6,93

Коэффициент детерминации модели оказался равен 0,960, а MAPE-оценка 2,47% при горизонте прогноза 5 лет. Из анализа можно сделать вывод о росте мирового объема добычи нефти в эти годы.

Известно, что основными регионами добычи сырой нефти (90% всей мировой добычи) являются, соответственно, Азия, Европа, Северная Америка и Африка - рис. 2.

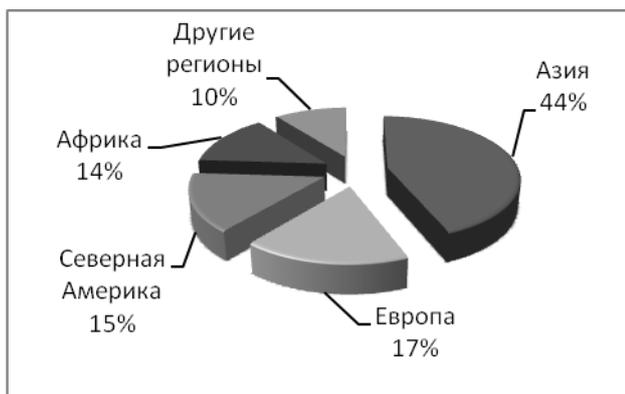


Рис. 2. Объемы добычи сырой нефти по регионам на конец 2010 г. (бар/сут)

Имея данные по добычи нефти в Азии, построим модель ее динамики и оценим прогноз на 5 лет вперед (рис. 3).

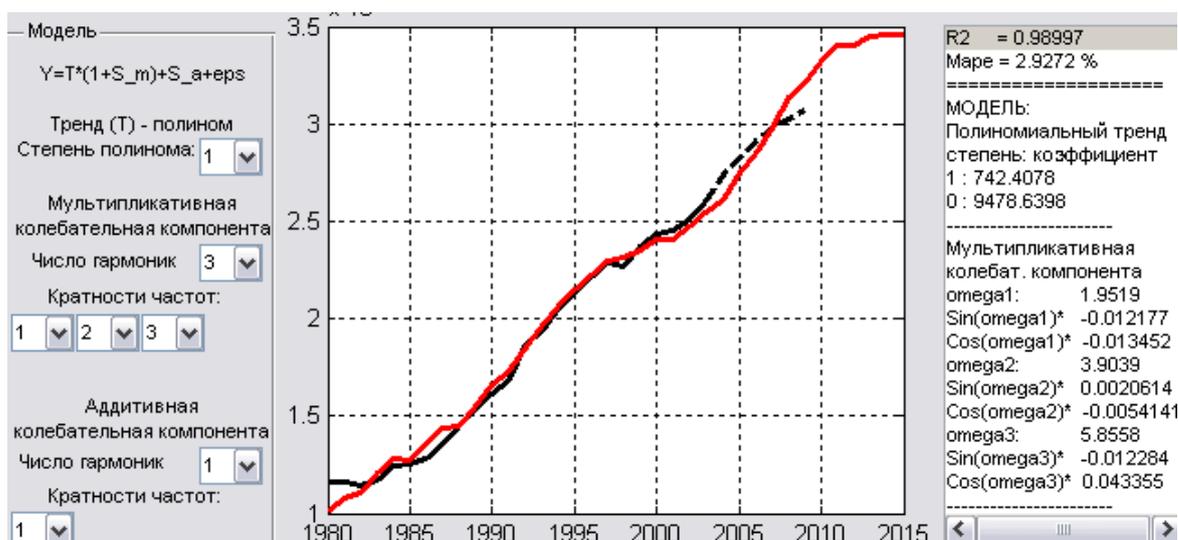


Рис. 3. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории Азии (\*10<sup>7</sup> бар/сут), 1980-2010 гг.

Более точная модель описывается полиномом первого порядка, содержит одну аддитивную и три мультипликативных гармоники (табл. 1).

При этом  $R^2=0,99$ , а MAPE-оценка 2,93%. Прогноз свидетельствует об увеличении объемов добычи нефти в исследуемом регионе.

Проведем аналогичные исследования динамики добычи сырой нефти в Европе и Северной Америке (результаты на рис. 4 и 5).

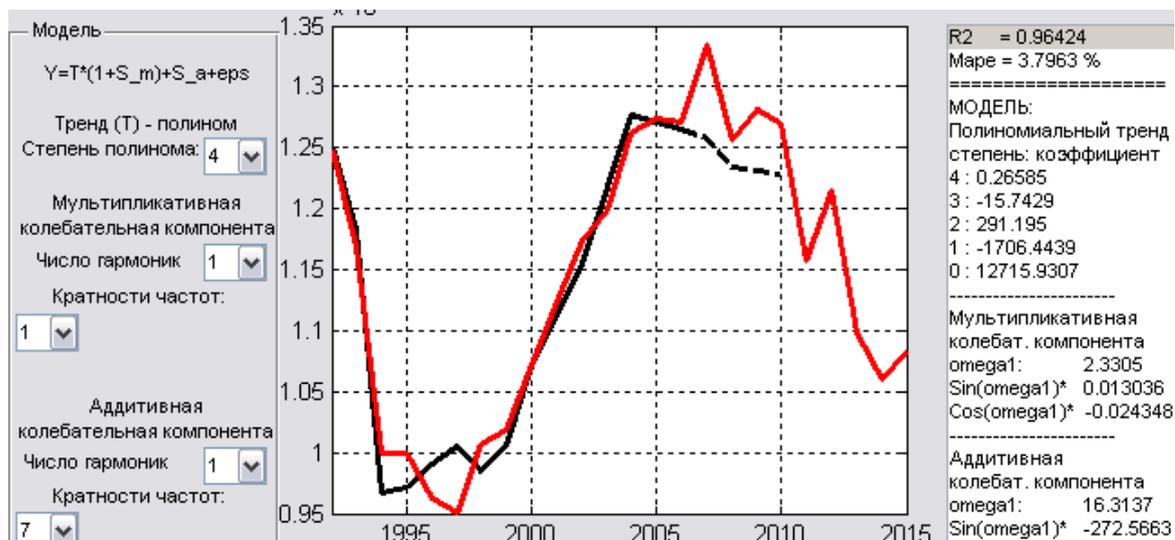


Рис. 4. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории Европы (\* $10^7$  бар/сут), 1992 - 2010 гг.

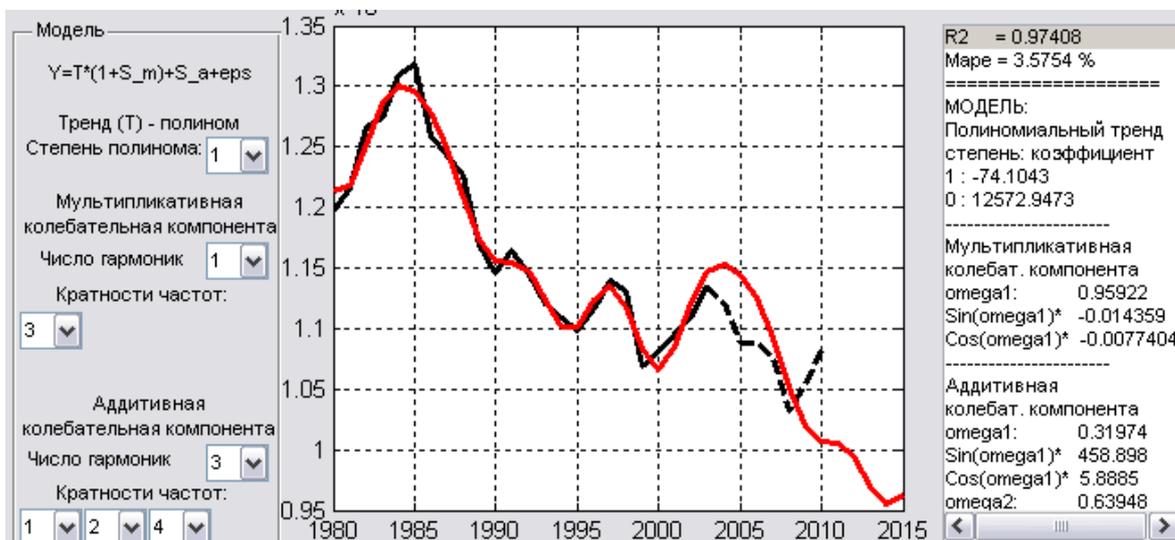


Рис. 5. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории Северной Америки (\* $10^7$  бар/сут), 1980-2010 гг.

Ряды динамики показателей более точно описываются полиномами четвертой и первой степеней, соответственно, с вхождением как аддитивных, так и мультипликативных колебательных компонент (табл. 1). Прогнозные значения на ближайшие 5 лет, как на территории Европы, так и Северной Америки показывают снижение объемов добычи нефти.

Исследования динамики аналогичного показателя на территории Африки свидетельствуют, напротив, об увеличении объемов добычи ресурса. Результаты моделирования приведены на рис. 6, представлены в табл. 1. Выборку точнее описывает модель, содержащая полином второй степени с аддитивно-мультипликативной колебательной компонентой. Прогнозные значения на 2015 год свидетельствуют о тенденции роста объемов добычи нефти относительно 2010 года.

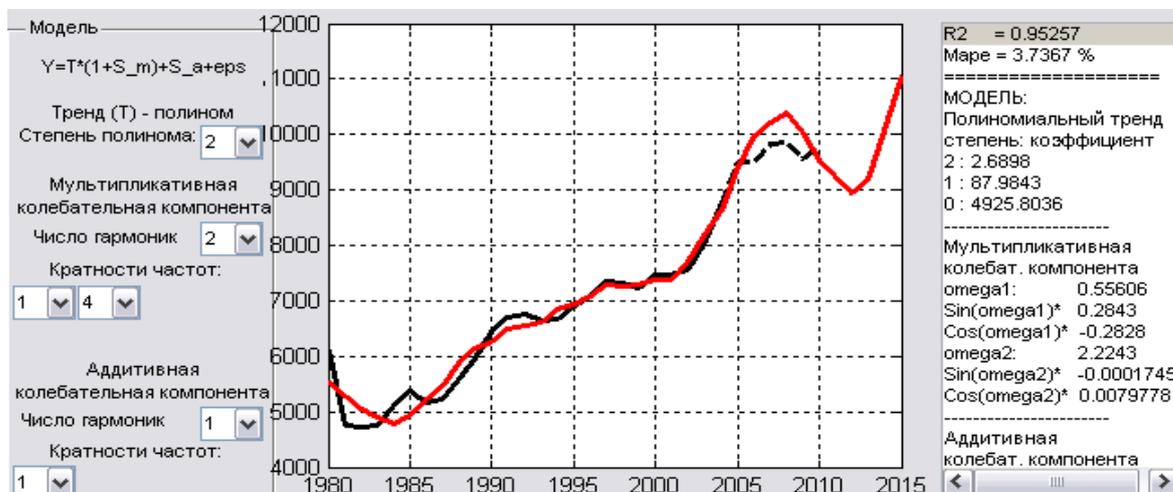


Рис. 6. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории Африки ( $10^3$  бар/сут), 1980-2010 гг.

На рис. 7 представлено процентное соотношение прогнозируемых объемов добычи нефти основных регионов в 2015 г.

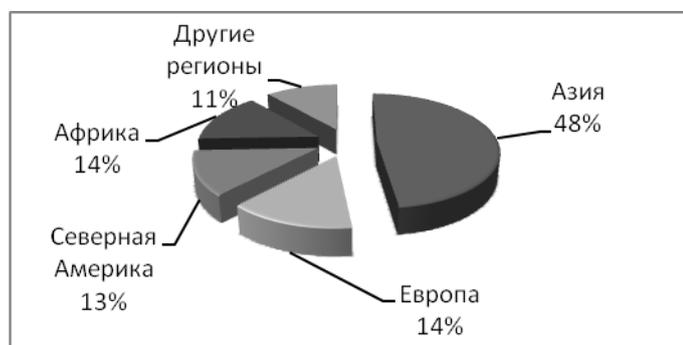


Рис. 7. Прогнозные значения объема добычи сырой нефти по регионам на конец 2015 г. ( $*10^3$  бар/сут)

Если проводить исследование добычи сырой нефти на уровне государств, то первое место в мире - за РФ. В конце 2010г. на территории РФ добывалось 9773,52 тыс. баррелей сырой нефти в сутки. Учитывая, что РФ территориально относится к Европе, добывающей в 2010г. сырой нефти 12284,02 тыс. баррелей в сутки, можно сделать вывод, что объемы добычи на территории РФ составляют 80% объема добычи всего рассматриваемого региона (рис. 8).

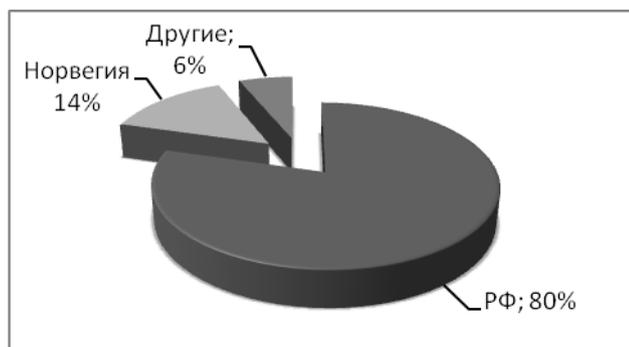


Рис. 8. Структура объема добычи нефти в Европе на конец 2010 г. (\*10<sup>3</sup> бар/сут)

Идентифицируем модель (1) динамики объемов добычи нефти на территории РФ на основе данных за 1992-2010гг. Лучшим по точности является полиномом третьей степени с вхождением одной аддитивной и одной мультипликативной гармониками (табл. 1).

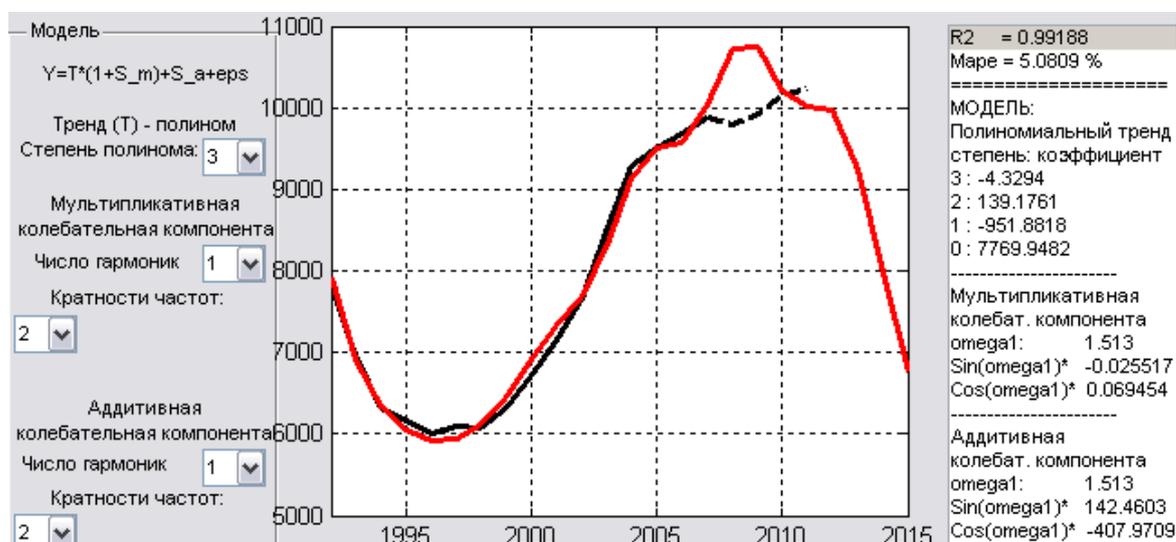


Рис. 9. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории РФ (10<sup>3</sup> бар/сут), 1992-2010 гг.

Прогнозные значения объемов добычи нефти на ближайшие 5 лет свидетельствуют о снижении производства данного энергоресурса на территории РФ, а, следовательно, и во всем регионе Европы (рис. 4). Доля российской нефти в объемах добычи Европы, видимо, снизится до 62,4% к 2015 г.

Второе место в мире по производству сырой нефти занимает Саудовская Аравия, входящая в Азиатский регион и имеющая объем добычи в конце 2010г. 8500,27 тыс. баррелей в сутки – 26,7% от общего объема добычи данного региона (рис. 10).

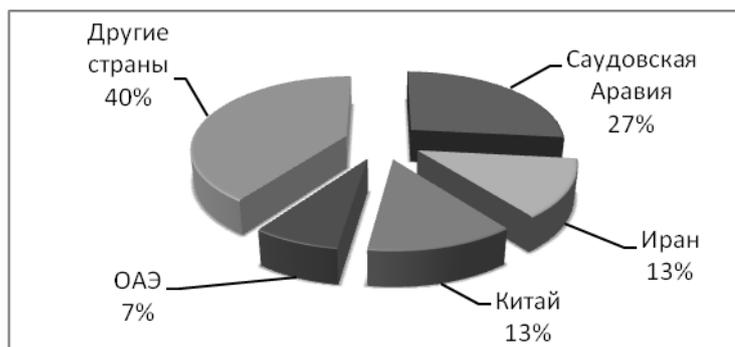


Рис. 10. Структура объема добычи нефти в Азии на конец 2010 г. (\*10<sup>3</sup> бар/сут)

Результаты моделирования динамики добычи данного региона приведены на рис. 11. Более точной моделью является полином первой степени с вхождением аддитивных и мультипликативных гармоник:  $R^2 \approx 1$ , а точность прогноза 3,88%. Прогноз на ближайшие 5 лет свидетельствует об увеличении объемов производства нефти на территории Саудовской Аравии, что подтверждается и аналогичным более общим прогнозом исследуемого показателя в Азиатском регионе.

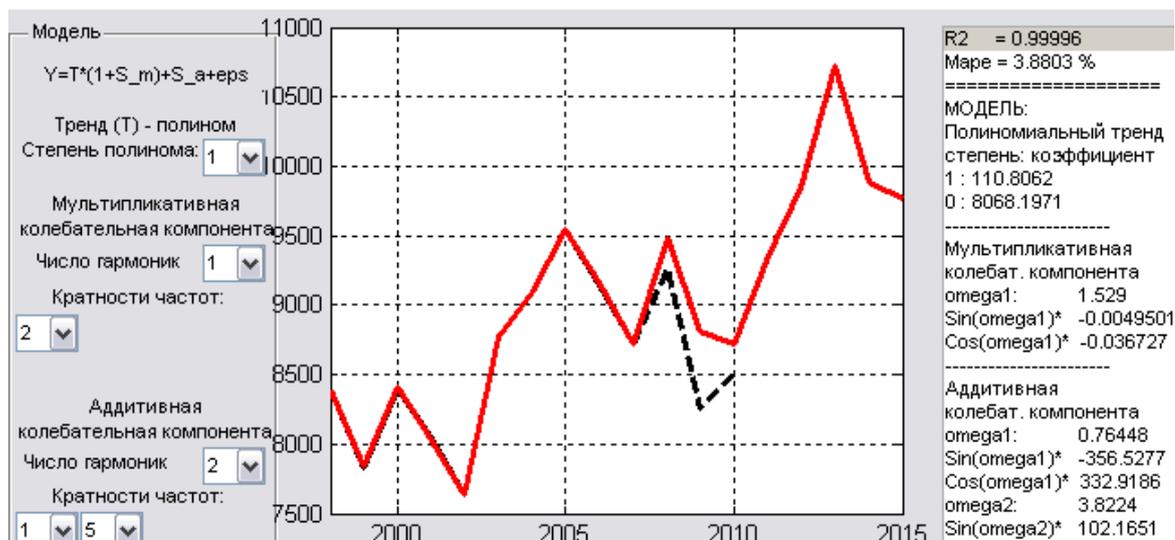


Рис. 11. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории Саудовской Аравии (10<sup>3</sup> бар/сут), 1998-2010 гг.

Третье место в мире по производству сырой нефти на уровне государств занимает США с объемом добычи в конце 2010г. 5511,93 баррелей в сутки, что составляет 51% от общего объема добычи региона (рис. 12). Отметим, что при этом США приняли стратегическое и, видимо, дальновидное решение о снижении темпов своей добычи, перейдя к ее закупкам за рубежом.

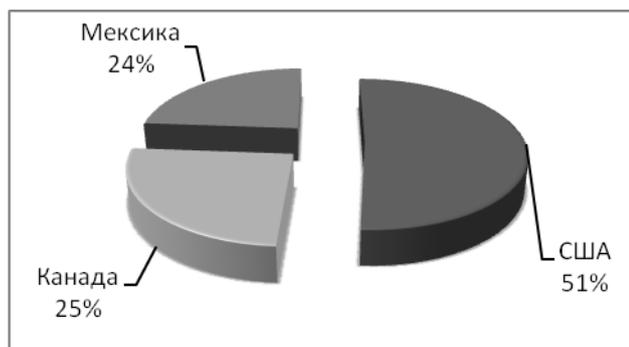


Рис. 12. Структура объема добычи нефти Северной Америки на конец 2010 г. (\*10<sup>3</sup> бар/сут)

На рис. 13 представлены результаты моделирования и прогнозирования имеющейся соответствующей статистики. Более точная модель содержит полином второй степени, одну аддитивную и одну мультипликативную гармоники. При этом  $R^2=0,97$ , а оценка точности прогноза равна 2,73%, что свидетельствует о снижении объемов добычи нефти и подтверждается результатами на уровне региона Северной Америки, куда входит США. Прогноз на следующие 5 лет также совпадает с региональными ожиданиями.

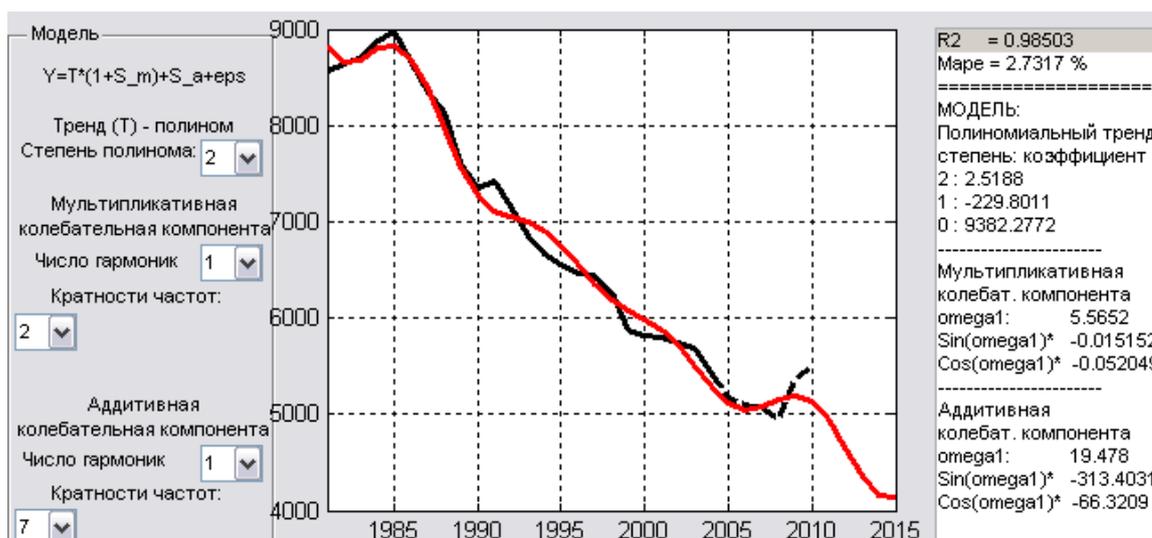


Рис. 13. Модель динамики изменения объема производства сырой нефти на территории США (\*10<sup>3</sup> бар/сут), 1981-2010 гг.

Анализируя полученные результаты по динамике объема добычи сырой нефти в мире и на отдельных территориях, можно сделать вывод, о том, что добыча нефти в мировом масштабе будет увеличиваться (рис. 1). Доли Европейской и Североамериканской нефти будут уменьшаться (рис. 7), в связи со снижением объемов добычи основных стран-производителей данного энергоресурса – РФ и Северной Америки.

Мировое увеличение объемов добычи сырой нефти будет производиться в ближайшие годы за счет таких стран таких, как Саудовская Аравия, Иран.

Если же говорить об уровне цен на сырую нефть, то его изменения имеют нестабильный характер на протяжении 2010-2011гг. (рис. 14), что можно объяснить в первую очередь политическими причинами.

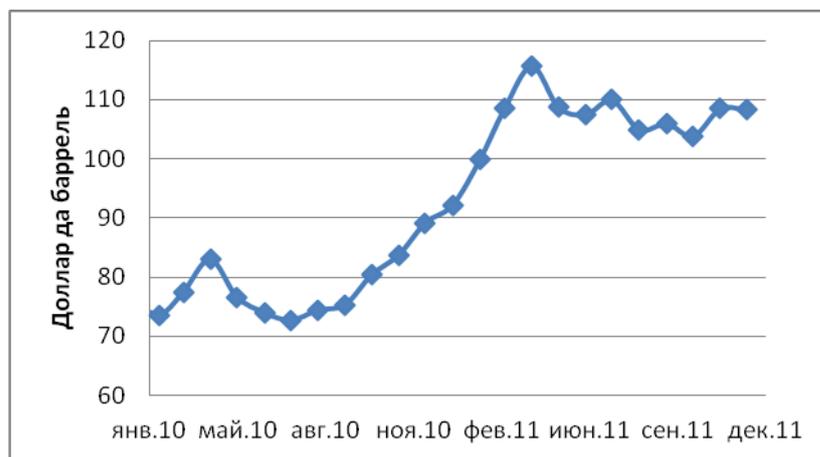


Рис. 14. Ежемесячная динамика изменения цен на нефть за 2007-2011гг.

Рассмотрим ежемесячные данные в мире за 2010-2011гг. (рис. 15). Более точной моделью динамики цен на нефть оказался полином первой степени с тремя аддитивными и одной мультипликативной гармониками: коэффициент детерминации  $R^2=0,98$ , а МАРЕ-оценка 6,93%. Можно ожидать, что цена на сырую нефть в течение первого полугодия 2012 года будет увеличиваться и к июню 2012 года достигнет 120,4 доллара за баррель.



Рис. 15. Модель колебательными компонентами динамики изменения цен на сырую нефть за 2010-2011гг. (доллар/бар)

Полученные прогнозные значения цен на сырую нефть совпадают с данными, представленными Управлением информации по энергетике США на официальном сайте [7]. Фактическое значение цены баррели нефти в апреле 2012 года составило 117,38 долларов и имело повышательную тенденцию в течение последнего полугодия, что говорит о высокой точности прогнозирования модели.

Обобщим представленные результаты. Предложенные модели и методы их идентификации обеспечивают высокую точность моделирования и прогнозирования рассмотренных объектов исследования, учитывая совокупность влияющих на динамику изменения показателей факторов. Объемы производства сырой нефти и цена на нее в течение

ближайших 5 лет будут расти, изменится лишь соотношение объемов добычи в основных регионах-производителях.

Предложенные модели и методы их идентификации могут быть применены и для других показателей социально-экономических систем при моделировании и прогнозировании их значений для принятия управленческих и маркетинговых решений.

#### Литература

1. Семенычев В.К., Куркин Е.И. ARMA-моделирование уровня годовой добычи нефти из пласта и оценка геологического риска инвестиций в нефтедобывающей промышленности. Вестник Самарского муниципального института управления. Самара. №2(13). 2010. – С.7 - 14.
2. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. - М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2001. – 432.
3. Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В. Параметрическая идентификация рядов динамики: структуры, модели, эволюция: монография. - Самара: Изд-во «СамНЦ РАН», 2011. - 364 с.
4. Семенычев В.К., Идентификация экономической динамики на основе моделей авторегрессии. - Самара: АНО «Изд-во СНЦ РАН», 2004. - 243 с.
5. Программа моделирования рядов экономической динамики полиномиальным трендом и одновременным вхождением аддитивной и мультипликативной колебательных компонент «Z\_ident». Куркин Е.И., Семенычев В.К. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011610065» от 11 января 2011 г.
6. Семенычев В.К., Коробецкая А.Н, Семенычев Е.В. Метод параметрической итерационной декомпозиции тренд-сезонных рядов аддитивной структуры. Вестник Самарского муниципального института управления. - Самара. №1(12). 2010. – С.63 - 71.
7. Управление информации по энергетике США - [www.eia.gov](http://www.eia.gov)