

УДК 330.43

И.А. ЯНКОВСКИЙ, канд. экон. наук, доцент,
доцент кафедры высшей математики
и информационных технологий
Полесский государственный университет,
г. Пинск, Республика Беларусь

Статья поступила 12 апреля 2019 г.

ЦЕНА НА НЕФТЬ МАРКИ BRENT: В ПОИСКАХ ЭФФЕКТИВНОГО РЫНКА

В статье рассматриваются модели авторегрессии для анализа динамики цен на сырую нефть марки Brent. Цель исследования заключалась в проверке гипотезы об эффективном рынке при биржевой торговле нефтью. В исследовании были применены эконометрические методы анализа временных рядов. Основной предпосылкой исследования являлось то, что при наличии спекулятивной составляющей именно фундаментальные показатели совокупного спроса и предложения на нефтяном рынке оказывают основное влияние на ценообразование. Исследование показало, что для квартальных данных цены на нефть марки Brent модель эффективного рынка работает. То есть для долгосрочного прогнозирования цены могут быть использованы модели авторегрессии первого порядка. В случае краткосрочного прогнозирования цен на нефть марки Brent модель эффективного рынка неприменима.

Ключевые слова: эффективный рынок, мартингал, цена на нефть, марка Brent, модель авторегрессии, структурные сдвиги.

YANKOUSKI Ihar A., Cand. of Econ. Sc., Associate Professor
Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Information Technology
Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

CRUDE OIL PRICES BRENT: SEARCHING FOR AN EFFICIENT MARKET

The article discusses auto regression models to analyze Brent crude oil price fluctuations. The purpose of the study was to test the hypothesis of an efficient exchange market to trade in oil. In the studies, econometric methods were applied to analyze time series. In the presence of a speculative component, the fundamental indicators of aggregate demand and supply in the oil market have the main influence on pricing, which was the main prerequisite for the research study. The findings showed that an efficient market model works out on the price of Brent crude in the quarterly term run. That is, first-order auto regression models can be used in the long-term price prediction. In the case of short-term Brent crude oil price forecasting, the effective market model is not applicable.

Keywords: efficient market, martingale, oil price, Brent, autoregression model, structural changes.

Введение. Лучший прогноз «цены на завтра» – это цена сегодня. Сформулированное правило применимо для эффективного рынка. Рынка, все участники которого имеют равный доступ к информации для формирования рыночной цены какого-либо актива. Положительная информация об активе в этих условиях повышает его доходность, а отрицательная – уменьшает. На эффективном

рынке доходность финансового актива (случайный процесс) является мартингалом по отношению к некоторому потоку информации. Модель эффективного рынка представляется уравнением:

$$K_t = K_{t-1} + \xi_t, \quad (1)$$

где K_t и K_{t-1} – текущая доходность актива и его доходность в предыдущем периоде,

ξ_t - временной ряд взаимно независимых случайных величин, которые представляют собой ошибки прогноза.

Физической моделью эффективного рынка можно считать рулетку. У Я.Флэминга в «Casino "Royale"» читаем: «Англичанин мистер Бонд вновь в выигрыше: ровно три миллиона за два дня. Играл мартингал на красном за пятым столом. ... Мистер Бонд настойчив, умеет рисковать» [1]. И крупные и все игроки за столом владеют одинаковой информацией перед каждой следующей игрой. Именно мартингал является случайным процессом, будущее поведение которого наилучшим образом определяется его текущим состоянием.

Нефть – черное золото. Человечество научилось добывать нефть, перерабатывать его. Научилось определять совокупный спрос и предложение этого актива. Специалистам хорошо известны возможности добывающих компаний, химический состав нефти для каждого месторождения. Внимательно отслеживаются политические события и особенности развития экономик экспортеров и импортеров нефти. Можно ли считать, что все участники нефтяного рынка владеют одинаковой, полной и достоверной информацией? Проверим гипотезу об эффективном рынке при биржевой торговле нефтью марки Brent.

Основная часть. В качестве исходных данных будем использовать квартальные статистические данные номинальной цены на нефть марки Brent с сайта Федеральной резервной системы США [2] за период с 2000 по 2018 год. Специалисты Института энергетических исследований Российской академии наук отмечают, что наибольшее влияние (80-85%) на цены оказывают спрос и предложение на различные сорта нефти, а спекулятивная составляющая в цене (финансовые факторы) – 15-20%. [3] То есть имеются основания предполагать, что нефтяной рынок является эффективным рынком.

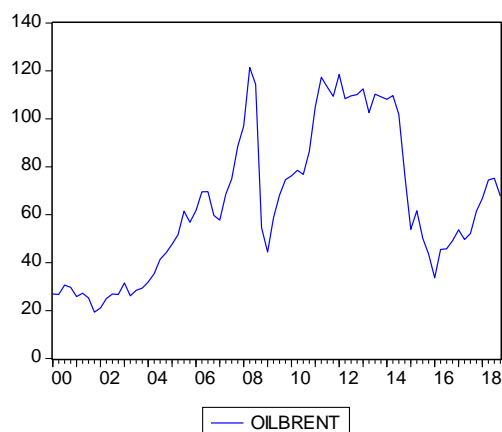


Рисунок 1. – Динамика номинальной цены на нефть марки Brent (OILBRENT)

Графический анализ динамики номинальной цены на нефть марки Brent позволяет предположить, что рассматриваемый временной ряд является нестационарным (рисунок 1). Вид автокорреляционной функции и частной автокорреляционной функции временного ряда номинальной цены на нефть марки Brent свидетельствует об авторегрессии первого порядка (рисунок 2) [4]. А результаты расширенного теста Дикки-Фуллера (Augmented Dickey-Fuller test statistic) позволяют подтвердить предположение, что анализируемый временной ряд является нестационарным, и уточнить тип нестационарности – интегрированный временной ряд первого порядка (таблица 1).

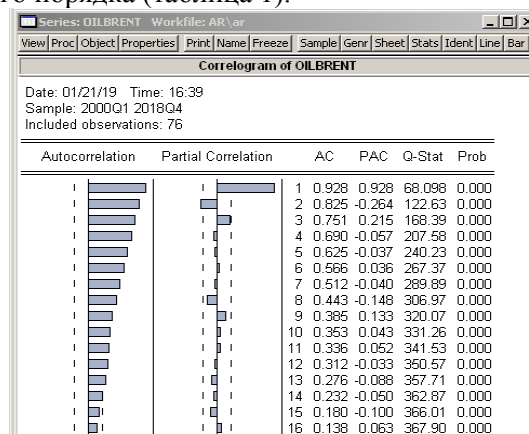


Рисунок 2. – Коррелограмма временного ряда номинальной цены на нефть марки Brent

Таблица 1. – Расширенный тест Дикки-Фуллера временного ряда OilBrent

Временной ряд	t-Statistic	Test critical values		
		1% level	5% level	10% level
OILBRENT	-0.354065	-2.597025	-1.945324	-1.613876
D(OILBRENT)	-6.807263	-2.597025	-1.945324	-1.613876

Построим авторегрессионную модель первого порядка (AR(1)) первоначально в спецификации без фиктивных переменных:

$$P_t^{oil} = \beta_0 + \beta_1 P_{t-1}^{oil} + e_t, \quad (2)$$

где P_t^{oil} – индекс цены на нефть,
 β_0 – константа,
 β_1 – параметры модели,
 e_t – остатки.

Результат моделирования представлен на рисунке 3. Хотя уравнение в целом статистически значимое (таблица 2), объясняющий фактор оказался статистически значимым, однако тесты на отсутствие автокорреляции остатков, постоянство дисперсии, вида распределения остатков не позволяют определить адекватность модели.

В четвертом квартале 2008 года имеет место структурный сдвиг (рисунок 3), поэтому в спецификацию 2 добавим импульсную фиктивную переменную структурного сдвига T_i со своими параметрами δ_i :

$$P_t^{oil} = \beta_0 + \sum \delta_i T_i + \beta_1 P_{t-1}^{oil} + e_t \quad (3)$$

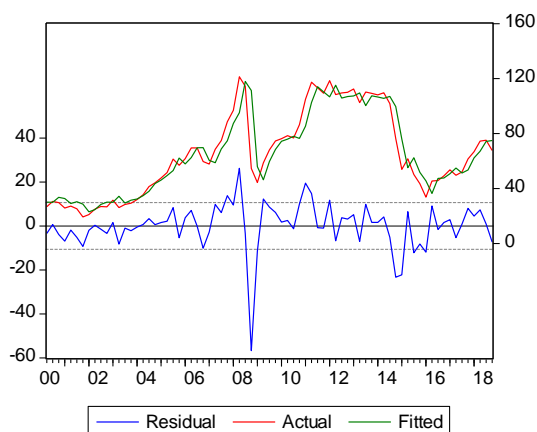


Рисунок 3. – Модель AR(1) номинальной цены на нефть марки Brent

Модель 3 с оцененными параметрами представлена следующим уравнением (стандартная ошибка указана в скобках под оценками параметров модели):

$$OILBRENT = 0.97 * OILBRENT(-1) - 59.64 * D2008Q4 + 3.19, \quad (4)$$

(0.03) (8.38) (2.22)

где $D2008Q4$ - импульсная фиктивная переменная структурного сдвига для 4 квартала 2008 года.

Таблица 2. – Статистические характеристики модели 2.

Dependent Variable: OILBRENT
 Method: Least Squares
 Date: 05/26/19 Time: 06:33
 Sample (adjusted): 2000Q2 2018Q4
 Included observations: 75 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
OILBRENT(-1)	0.928837	0.040022	23.20831	0.0000
C	5.135369	2.857489	1.797161	0.0764
R-squared	0.880646	Mean dependent var		65.06573
Adjusted R-squared	0.879011	S.D. dependent var		30.46348
S.E. of regression	10.59626	Akaike info criterion		7.585184
Sum squared resid	8196.490	Schwarz criterion		7.646983
Log likelihood	282.4444	F-statistic		538.6258
Durbin-Watson stat	1.448544	Prob(F-statistic)		0.000000

Графическое представление результатов моделирования отображено на рисунке 4. Анализ статистической значимости уравнения в целом, каждого параметра в отдельности, оценка адекватности модели проводилась с помощью статистических тестов и тестовых статистик [4]. Тест множителей Лагранжа (*Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test*) на уровне значимости 5 % в целом не отклоняет нулевую гипотезу о взаимно независимых остатках модели, однако в 4 лаге имеет место автокорреляция остатков. Тест Льюнга-Бокса (рисунок 5) также определяет наличие автокорреляции остатков в 4 лаге. Статистика Дарбина-Уотсона (*Durbin-Watson stat*) $DW=1.55$ для 75 наблюдений попадает в зону положительной автокорреляции первого порядка [5].

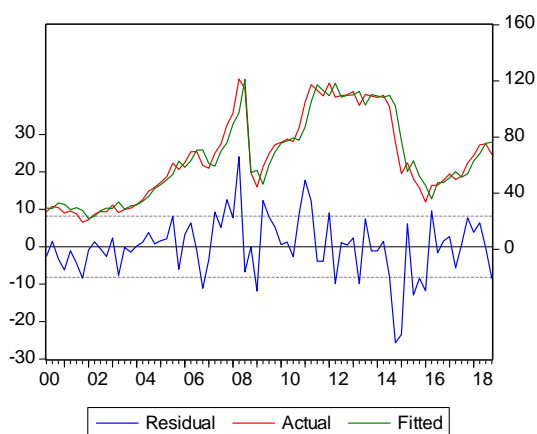


Рисунок 4. – Модель AR(1) номинальной цены на нефть марки Brent с фиктивной переменной

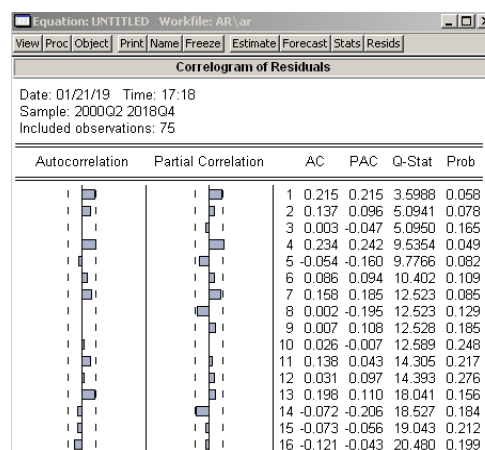


Рисунок 5. – Correlogramma остатков модели 4

Тест Уайта (*White Heteroskedasticity Test*) позволяет на уровне значимости 5 % сделать вывод о постоянстве дисперсии остатков. Тест Жака-Бера (*Jarque-Bera*) определяет симметричность остатков, но отклоняет гипотезу о нормальном законе распределения остатков (рисунок 6).

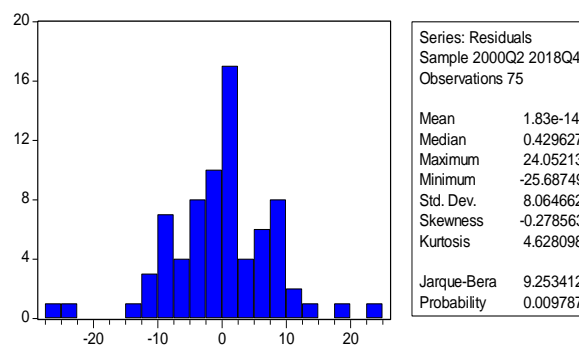


Рисунок 6. – Вид распределения остатков модели 4

Таким образом, модель 4 является неадекватной, так как остатки автокоррелированы и не подчиняются нормальному закону распределения. Модель 4 нуждается в улучшении.

На рисунке 4 наблюдаются неучтенные структурные сдвиги. Поэтому добавим две импульсные фиктивные переменные структурного сдвига для 2 квартала 2008 года и 4 квартала 2014 года:

$$OILBRENT = 0.97 * OILBRENT(-1) + 23.93 * D2008Q2 - 59.81 * D2008Q4 - 25.82 * D2014Q4 + 3.04, \quad (5)$$

(0.03) (7.26) (7.34) (7.28) (1.95)

где $D2008Q2$, $D2014Q4$ – импульсные фиктивные переменные структурного сдвига для 2 квартала 2008 года и 4 квартала 2014 года соответственно.

Графическое представление результатов моделирования отображено на рисунке 7.

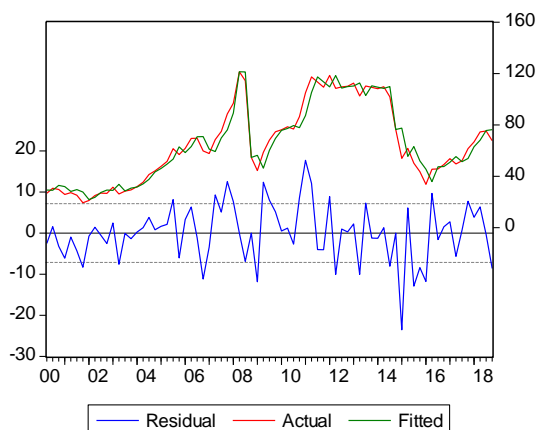


Рисунок 7. – Модель AR(1) номинальной цены на нефть марки Brent с тремя фиктивными переменными

Уравнение 5 является статистически значимым, все объясняющие переменные также являются статистически значимыми. Тест множителей Лагранжа (*Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test*) на уровне значимости 5 % в целом не отклоняет нулевую гипотезу о взаимно независимых остатках модели без всяких оговорок. Тест Льюнга-Бокса (рисунок 8) также подтверждает отсутствие автокорреляции остатков. Статистика Дарбина-Уотсона (*Durbin-Watson stat*) $DW=1.87$ для 75 наблюдений попадает в зону отсутствия автокорреляции первого порядка. Остатки являются симметричными и подчиняются нормальному закону распределения (смотри рисунок 9). Одновременно Тест Уайта (*White Heteroskedasticity Test*) позволяет на уровне значимости 5 % сделать вывод о постоянстве дисперсии остатков.

Таким образом, модель 5 является адекватной.

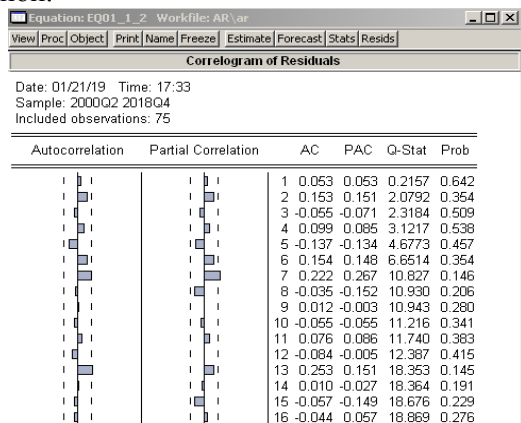


Рисунок 8. – Correlogramma остатков модели 5

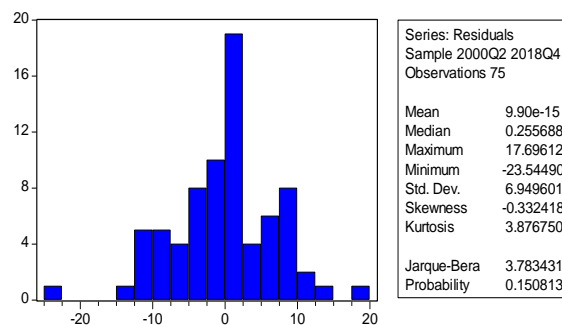


Рисунок 9. – Вид распределения остатков модели 5

Экономика США подвержена инфляционным процессам. С января 2000 г. по декабрь 2018 г. инфляция доллара США составила 7,8% [6]. Поэтому было проведено логарифмирование исходных данных (рисунок 10). Correlogramma процесса подтверждает, что наилучшей моделью для его описания является автокорреляционный процесс первого порядка (рисунок 11). Временной ряд логарифма цены на нефть по результатам тестирования (*Augmented Dickey-Fuller test statistic*) является нестационарным интегрированным рядом первого порядка (таблица 3).

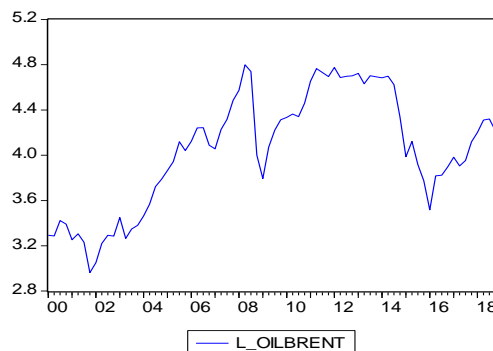


Рисунок 10. – Динамика логарифма номинальной цены на нефть марки Brent (L_OILBRENT)

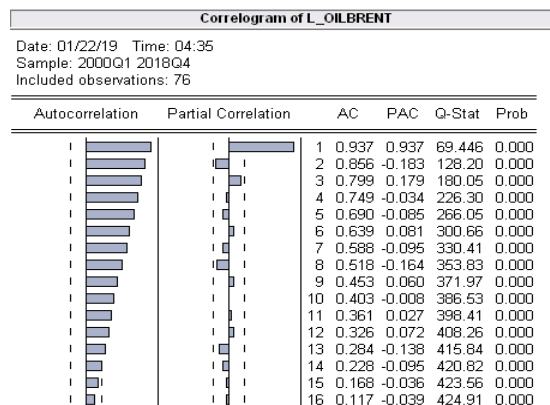


Рисунок 11. – Correlogramma логарифма номинальной цены на нефть марки Brent

Таблица 3. – Расширенный тест Дикки-Фуллера временного ряда L_OilBrent

Временной ряд	t-Statistic	Test critical values		
		1% level	5% level	10% level
L_OILBRENT	0.462209	-2.596160	-1.945199	-1.613848
D(L_OILBRENT)	-7.004072	-2.596586	-1.945260	-1.613912

Для преобразованных данных была построена альтернативная модель в спецификации 2:

$$L_OILBRENT = 0.94 * L_OILBRENT(-1) + 0.25, \quad (6)$$

(0.03) (0.14)

Графическое представление результатов моделирования (рисунок 12) позволяет увидеть структурный сдвиг в 4 квартале 2008 года. Полученное уравнение является статистически значимым. Объясняющий фактор оказывает значимое влияние на зависимую переменную и позволяет объяснить 91% её дисперсии [4].

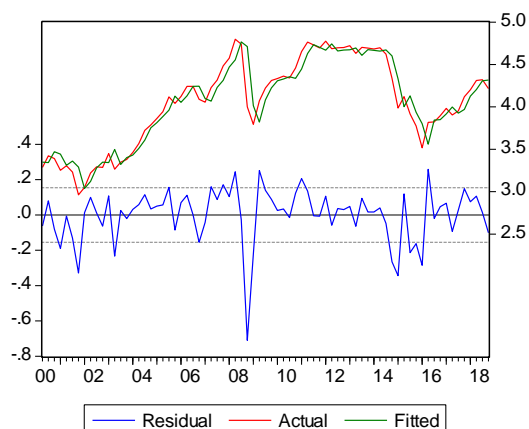


Рисунок 12. – Модель AR(1) логарифма цены на нефть марки Brent

При проверке условий адекватности определено, ошибки являются некоррелированными согласно теста Льюнга-Бокса (рисунок 13), теста множителей Лагранжа. Статистика Дарбина-Уотсона (Durbin-Watson stat) DW=1.59 находится в зоне положительной автокорреляции первого порядка.

Correlogram of Residuals						
Date: 05/09/19 Time: 07:22						
Sample: 2000Q2 2018Q4						
Included observations: 75						
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1 0.202	0.202	3.1840	0.074	
		2 -0.123	-0.171	4.3783	0.112	
		3 -0.066	-0.003	4.7281	0.193	
		4 0.055	0.054	4.9779	0.290	
		5 -0.100	-0.147	5.8078	0.325	
		6 -0.007	0.071	5.8120	0.445	
		7 0.112	0.078	6.8705	0.442	
		8 0.040	-0.020	7.0099	0.536	
		9 -0.054	-0.012	7.2690	0.609	
		10 -0.076	-0.069	7.7802	0.650	
		11 -0.008	0.005	7.7862	0.732	
		12 0.052	0.060	8.0333	0.783	
		13 0.004	-0.031	8.0347	0.841	
		14 -0.011	0.001	8.0456	0.887	
		15 -0.059	-0.075	8.3800	0.908	
		16 -0.048	-0.026	8.6063	0.929	

Рисунок 13. – Correlogramма остатков модели 6

Тест Уайта не отклоняет нулевую гипотезу о постоянстве дисперсии. Проверка остатков подтверждает их симметричность, но не подтверждает их соответствия нормальному закону распределения (смотри рисунок 14).

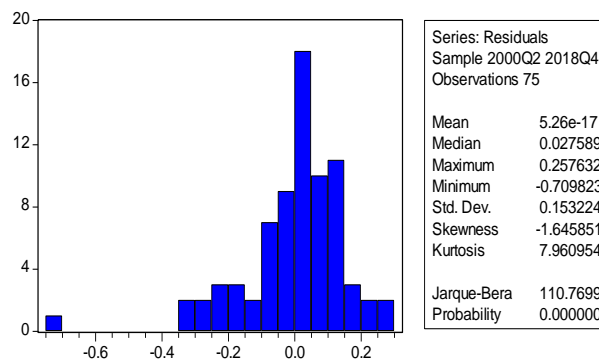


Рисунок 14. – Вид распределения остатков модели 6

Модель 6 является неадекватной, поэтому добавим в модель фиктивные переменные структурного сдвига для 4 квартала 2008 года (D2008Q4) и 1 квартала 2015 года (D2015Q1) и оценим её параметры:

$$L_OILBRENT = 0.97 * L_OILBRENT(-1) - 0.75 * D2008Q4 - 0.37 * D2015Q1 + 0.14 \quad (7)$$

(0.03) (0.13) (0.12) (0.11)

Полученные уравнение является статистически значимым, объясняющие факторы оказывают значимое влияние на эндогенную переменную, а скорректированный коэффициент детерминации 94%.

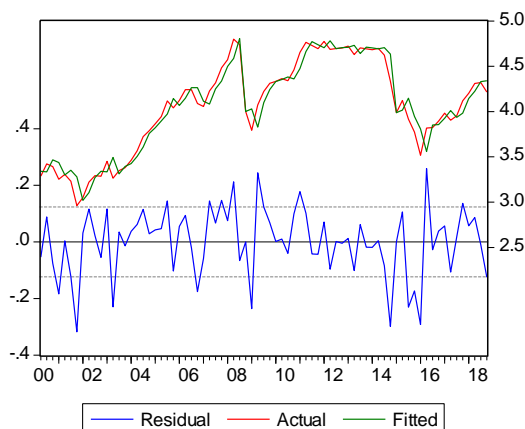


Рисунок 15. – Модель 7 AR(1) логарифма цены на нефть марки Brent с переменными структурного сдвига

Модель 7 является адекватной по результатам проверки условий адекватности. Остатки симметричны и подчиняются нормальному закону распределения (рисунок 16), на уровне значимости 5% имеют постоянную дисперсию (таблица 4) и являются взаимно независимыми (статистика Дарбина-Уотсона $DW=1.9$) по результатам тестов множителей Лагранжа (таблица 5) и Льюнга-Бокса (рисунок 17)

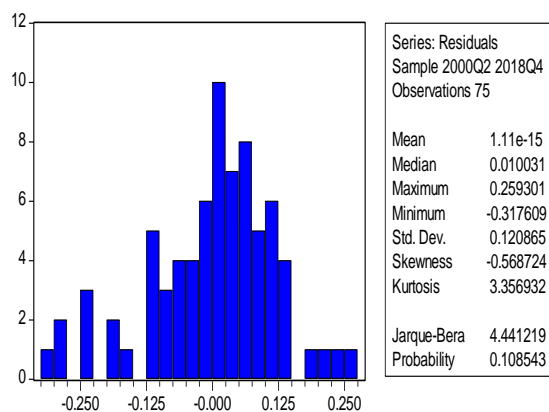


Рисунок 16. – Вид распределения остатков модели 7

Таблица 4. – Тест Уайта (White Heteroskedasticity Test)

F-statistic	0.774080	Probability	0.545748
Obs*R-squared	3.176958	Probability	0.528661

Таблица 5. – Тест множителей Лагранжа (Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test)

F-statistic	0.304752	Probability	0.873813
Obs*R-squared	1.340177	Probability	0.854523

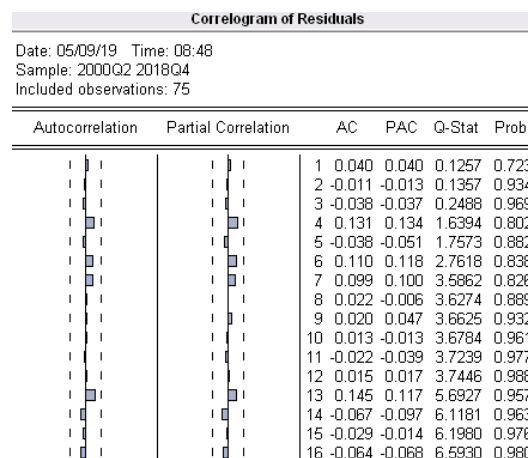


Рисунок 17. – Коррелограмма остатков модели 7

Перейдем от номинальных значений стоимости нефти марки Brent к реальным значениям ($R_OILBRENT$). Для этого номинальную цену на нефть марки Brent скорректируем на значение индекса потребительских цен в США (рисунок 18).

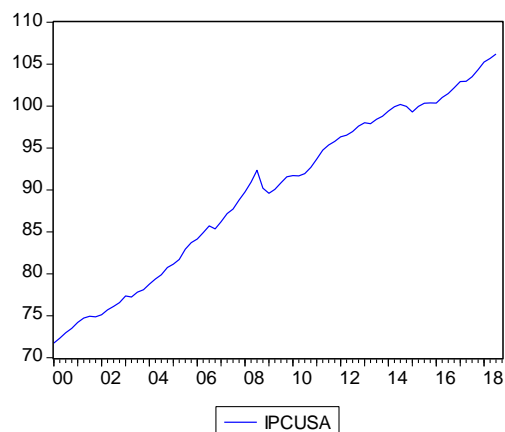


Рисунок 18. – Индекс потребительских цен в США [7]

Необходимо отметить, что визуальный анализ динамики реальных цен на нефть марки Brent позволяет сделать вывод, что характер изменения цен существенно не изменился (рисунок 19).

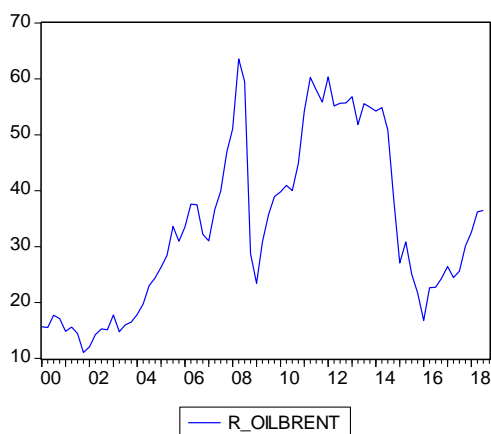


Рисунок 19. – Динамика реальной цены на нефть марки Brent ($R_{OILBRENT}$)

Коррелограмма временного ряда реальной цены на нефть марки Brent имеет признаки авторегрессионного процесса первого порядка (рисунок 20).

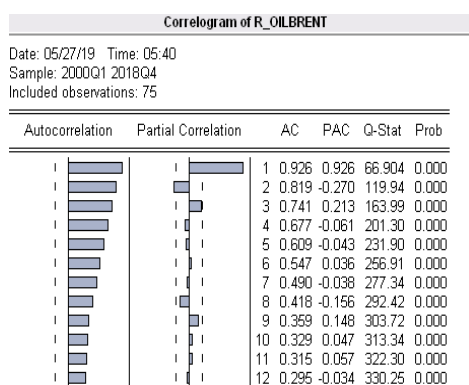


Рисунок 20. – Коррелограмма временного ряда $R_{OILBRENT}$

Тесты единичного корня (*Augmented Dickey-Fuller test statistic*) позволяют идентифицировать этот временной ряд, как нестационарный интегрированный первого порядка (таблица 6).

Таблица 6. – Расширенный тест Дикки-Фуллера временного ряда $R_{OilBrent}$

Временной ряд	t-Statistic	Test critical values		
		1% level	5% level	10% level
$R_{OILBRENT}$	-0.341926	-2.597476	-1.945389	-1.613838
$D(R_{OILBRENT})$	-6.789268	-2.597476	-1.945389	-1.613838

Модель авторегрессии первого порядка временного ряда реальных цен на нефть со структурными сдвигами будет иметь вид:

$$R_{OILBRENT} = 0.97 * R_{OILBRENT}(-1) + 12.26 * D2008Q2 - 30.75 * D2008Q4 - 12.90 * D2014Q4 + 1.60 \quad (8)$$

(0.03) (3.70) (3.74) (3.70) (1.04)

где $D2008Q2$, $D2008Q4$, $D2014Q4$ – импульсные фиктивные переменные структурного сдвига для 2 и 4 кварталов 2008 года и 4 квартала 2014 года соответственно.

Модель 8 является адекватной, поскольку выполняются все условия адекватности: симметричности, отсутствия авторегрессии, постоянства дисперсии и нормальный закон распределения остатков.

Таким образом, получены три адекватные модели – модели 5, 7 и 8. Из трех адекватных моделей наиболее экономичной согласно информационным критериям Акаике и Шварца является модель 7. Отметим, что и в модели 5 и в модели 7 и в модели 8 значение параметра при объясняющей переменной составляет 0,97. Значение близкое к единице. Дополнительно отметим два выпадающих квартала в модели 7 и три выпадающих квартала в моделях 5 и 8 за 9 лет наблюдений. Если бы биржевые торги нефтью проходили 1 раз в квартал, то выдвинутую гипотезу об эффективном биржевом рынке нефтью можно было бы подтвердить. Однако торги идут ежедневно. Проверим гипотезу об эффективном рынке на месячных данных диапазона с января 2000 года по декабрь 2018 года.

Коррелограмма временного ряда месячных данных цены на нефть марки Brent имеет признаки авторегрессии второго порядка (рисунок 21), а тесты единичного корня позволяют идентифицировать этот временной ряд как нестационарный интегрированный первого порядка (таблица 7).

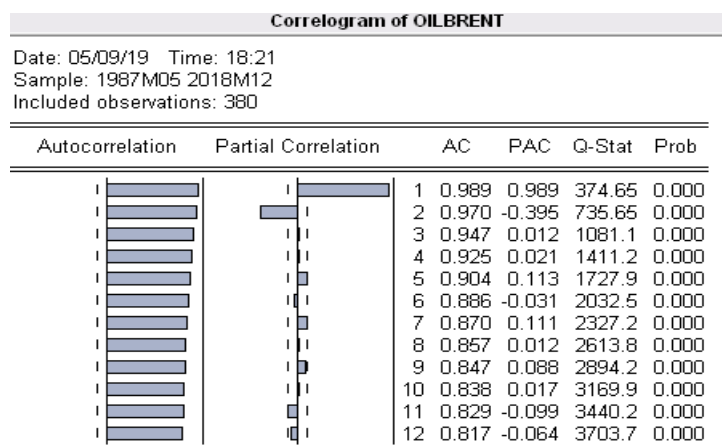


Рисунок 21. – Коррелограмма временного ряда месячных данных номинальной цены на нефть марки Brent

Таблица 7. – Расширенный тест Дикки-Фуллера временного ряда OilBrent

Временной ряд	t-Statistic	Test critical values		
		1% level	5% level	10% level
OILBRENT	-0.981862	-2.571094	-1.941664	-1.616137
D(OILBRENT)	-13.11813	-2.571094	-1.941664	-1.616137

Построение модели авторегрессии на основе месячных данных не позволило получить адекватную модель с приемлемым количеством структурных сдвигов. Три из четырех условий адекватности не выполняются: отсутствия авторегрессии, постоянства дисперсии и нормальный закон распределения остатков. Модель не может использоваться для анализа и прогнозирования.

Заключение. В долгосрочной перспективе на цены при биржевой торговле нефтью марки Brent определяющее влияние оказывают фундаментальные факторы спроса и предложения. Значение параметра, равное 0.97, при авторегрессионной компоненте первого порядка примерно равно 1. Если пренебречь тремя структурными сдвигами за 9 лет наблюдений, то общую тенденцию изменения цен на нефть можно описывать как модель эффективного рынка для квартальных данных. Однако торги идут ежедневно. И спекулятивная составляющая начинает оказывать влияние на формирование цен. Это подтверждается значительным увеличением количества переменных структурного сдвига, которые необходимо учесть для получения адекватной модели даже на статистических данных с шагом 1 месяц. Следовательно, для долгосрочного прогнозирования цен на нефть марки Brent могут быть использованы

модели, представленные в статье. В случае краткосрочного прогнозирования цен на нефть марки Brent модель эффективного рынка неприменима.

Список литературы

1. Флэминг, Я. Казино "Руаяль" – Режим доступа: http://lib.ru/DETEKTIWY/FLEMING/kasino_ruajl.txt – Дата доступа : 07.05.2019.
2. Crude Oil Prices: Brent - Europe / Federal Reserve Bank of St.Louis –Режим доступа: <https://fred.stlouisfed.org/categories/32217?t=oil&ob=pv&od=desc> – Дата доступа : 21.01.2019
3. Грушевенко, Е. Текущее снижение цен на нефть: долгосрочная тенденция? / Republic – Режим доступа : <https://republic.ru/posts/1/1144666> – Дата доступа : 07.05.2019.
4. Янковский, И.А. Прикладная эконометрика: методические указания. Ч.1/ И.А. Янковский. – Пинск : ПолесГУ, 2012. – 41 с.
5. Харин, Ю.С. Эконометрическое моделирование: учеб.пособие / Ю.С. Харин, В.И. Малюгин, А.Ю. Харин. – Минск : БГУ, 2003. – 313 с.: ил.
6. Калькуляторы Инфляции в США / Статбюро – Режим доступа: <https://www.statbureau.org/ru/united->

states/inflation-calculators – Дата доступа: 07.05.2019.

7. Consumer Price Index: Total All Items for the United States / Federal Reserve Bank of St.Louis – Режим доступа: <https://fred.stlouisfed.org/search/?st=Consumer%20Price%20Index> – Дата доступа: 21.01.2019.

References

1. Flaming Y. Casino "Royal" Access mode: <http://lib.ru/DETEKTIWY/FLEMING/kasino.ruajl.txt> 9accessed: 07.05.20190.
2. *Crude Oil Prices: Brent - Europe* / Federal Reserve Bank of St.Louis Available at: <https://fred.stlouisfed.org/categories/32217?toil&ob = pv & od = desc> (accessed: 01.01.2019).
3. Grushevenko E. Current decline in oil prices: a long-term trend? / Republic Available at: <https://republic.ru/posts/1/1144666> (accessed: 05/07/2019).
4. Yankousky, I.A. *Prikladnaja jekonometrika: metodicheskie ukazanija* [Applied econometrics: guidelines]. Part 1. Pinsk: PolesGU, 2012, 41 p.
5. Kharin Yu.S., Malyugin V.I., Kharin A.Yu. *Jekonometrisheskoe modelirovanie* [Econometric modeling: Ucheb.posobie]. Minsk: BSU, 2003, 313 p., Ill.
6. Inflation Calculators in the USA / Statbureau Available at: <https://www.statbureau.org/ru/united-states/inflation-calculators> (accessed: 05.07.2019).
7. Consumer Price Index: United States / Federal Re-serve Bank of St.Louis Available at: <https://fred.stlouisfed.org/search/?st=Consumer%20Price%20Index> (accessed: 01/21/2019).

Received 12 April 2019