

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО РЫНКА НЕФТИ: ИССЛЕДОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Акинфиев В. К.¹

(ФГБУН Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН, Москва)

Анализируются проблемы моделирования и прогнозирования глобального рынка нефти, а также приводится обзор подходов и моделей в этой области. Приведены основные этапы развития глобального рынка нефти и проанализированы события, которые привели к структурным изменениям в поведении нефтяных цен. Рассмотрены ключевые факторы, влияющие на формирование нефтяных цен, и их взаимосвязь. Одним из популярных направлений применения математических моделей для прогнозирования глобального рынка нефти, которое рассмотрено в работе, является использование методов эконометрического анализа, включая модели рынка нефти на основе структурных VAR-моделей. Другое интересное направление связано с использованием игровых и поведенческих моделей. Широкое распространение получили модели анализа рыночного равновесия с учетом различной структуры рынка на основе МРЕС-моделей. Существенный практический интерес имеют также методы, которые сочетают игровые модели, методы многоагентного моделирования и моделирование на основе экспертной информации. В работе показано, что во многих случаях моделирование глобального нефтяного рынка оказывается полезным, позволяет приблизиться к пониманию механизмов его функционирования и взаимосвязи его параметров. Однако полностью справиться с проблемой прогнозирования глобального рынка нефти они пока не могут.

Ключевые слова: моделирование, глобальный рынок нефти, прогнозирование цены нефти.

1. Введение

Траектория цены на нефть – это своего рода кардиограмма, отражающая неровный ритм развития глобальной экономики. Поэтому исследованию различных аспектов проблемы моделирования и прогнозирования волатильности нефтяного рынка посвящено большое число публикаций.

Заметим, что последние пятьдесят лет нефтяной рынок являлся исключительно волатильным и характеризуется рядом

¹ Валерий Константинович Акинфиев, д.т.н., в.н.с. (akinf@ipi.ru).

ценовых шоков. Причем каждый период, на котором наблюдались ценовые шоки, требует своей интерпретации. Волатильность рынка нефти объясняется наличием многих мало предсказуемых факторов, в том числе шоками спроса и предложение нефти, а также шоками на финансовых рынках. Следует заметить, что сами эти факторы являются следствием большого количества причин, среди которых можно отметить следующие: изменение темпов роста мировой экономики, состояние финансовых и валютных рынков, активная политика в области поставок со стороны нефтяных компаний, появление конфликтов и военных действий, стихийные бедствия и многое другое.

Интерес к моделированию и прогнозированию мировой добычи, спроса и цены на нефть всегда был высоким. Первые исследования в этой области рассматривали задачу прогнозирования времени пика добычи нефти, как для отдельных стран, так и в целом для мировой добычи нефти. Так как нефть является невозобновляемым ресурсом, то предполагается, что когда-нибудь общемировая добыча достигнет пика и далее будет снижаться.

Так, Кинг Хабберт в 1956 году предложил математическую модель, которая предполагает, что общее количество добытой нефти на некотором месторождении как функция времени следует логистической кривой. Темп добычи нефти является производной этой функции, а ее график имеет колоколообразную форму, который известен как кривая Хабберта. Хабберт и его последователи предполагали, что те же модели, которые позволили успешно предсказать пик добычи традиционной нефти в США, применимы и к другим случаям, таким как пик мировой добычи нефти. Были опубликованы различные оценки времени прохождения пика мировой добычи нефти, причём большинство из этих результатов не подтвердились. Это привело к критике метода. Тем не менее в США до сих пор существует ассоциация по исследованию пика нефти и газа ASPO (The Association for the Study of Peak Oil and Gas), целью которой является проведение исследований по оценке сроков и последствий прохождения глобального пика нефти и газа.

В последующие годы большое число исследований по прогнозированию глобального рынка нефти проводились с исполь-

зованием более сложных моделей, которые характеризуются большим разнообразием. Большое число публикаций посвящено различным аспектам этой фундаментальной проблемы, в том числе анализу и моделированию стратегий поведения основных нефтедобывающих стран, включая ОПЕК в зависимости от изменения конъюнктуры рынка. Последние годы усилился интерес к исследованиям в области математического моделирования различных аспектов конкуренции на рынке нефти между производителями традиционной и сланцевой нефти [1, 2, 9, 10, 13, 19–21, 27, 32–35].

В научной литературе нет единого мнения о том, как моделировать мировой рынок нефти [8, 12, 26]. Разными авторами при построении моделей принимаются во внимание различные факторы, влияющие на динамику нефтяных цен. В число этих факторов включают динамику спроса на нефть и предложения со стороны нефтедобывающих компаний, динамику товарных запасов, изменения в глобальном деловом цикле мировой экономики и многое другое.

Нефтяная отрасль является одной из наиболее сложных и важных отраслей мировой экономики. Ценовые движения, как и для любого другого товара, могут быть объяснены взаимодействием между спросом и предложением. Однако у нефтяного рынка есть особенности. Во-первых, на нем присутствует множество игроков, вовлеченных в процесс принятия решений. Во-вторых, помимо основных рыночных сил спроса и предложения, цены на нефть также подчиняется политическим и геополитическим силам. К ним относятся роль нефти в вопросах энергетической безопасности, важность цены на нефть для баланса национальных бюджетов или сокращение потребления нефти вследствие экологических требований.

Целью данной работы является анализ проблем моделирования глобального рынка нефти, а также обзор направлений исследований в этой области (подходов и математических моделей). Будут рассмотрены методы эконометрического анализа, включая модели рынка нефти на основе структурных VAR-моделей (раздел 4.1). Другое направление связано с использованием различных игровых и поведенческих моделей. Рассмотрены

модели анализа рыночного равновесия с учетом различий в структуре рынка нефти на основе МРЕС-моделей (раздел 4.2). Практический интерес имеют также методы, которые сочетают игровые модели, методы многоагентного моделирование и моделирование на основе экспертной информации (раздел 4.3).

В следующем разделе мы кратко опишем основные этапы развития глобального рынка нефти и проанализируем события, которые привели к структурным изменениям в поведении цен на нефть. Эта картина важна для понимания проблем моделирования глобального рынка нефти.

2. Основные этапы развития глобального рынка нефти

2.1. ПЕРВЫЙ ЭТАП (1928–1971 гг.). МОНОПОЛИЯ МНК. НЕКОНКУРЕНТНЫЙ РЫНОК

Первый этап развития глобального нефтяного рынка (1928–1971 гг.) характеризуется полным доминированием на рынке нефти компаний Международного нефтяного картеля (МНК), в который входили семь англо-американских компаний British Petroleum, Exxon, Gulf Oil, Mobil, Royal Dutch Shell, Chevron и Техасо. Соглашение, призванное убрать жёсткую конкуренцию между Royal Dutch Shell и Standard Oil, было заключено в 1928 году в шотландском городе Ачнакарри. Впоследствии к картелю присоединились еще пять крупнейших англо-американских компаний, создавших Международный нефтяной картель (МНК) [3, 15].

Центральным элементом этого картельного соглашения был механизм сохранения рентабельности функционирования компаний МНК за счет установления единой формулы цены реализации нефти у покупателей за пределами США. Цена нефти рассчитывалась как цена нефти Мексиканского побережья США плюс действующие фрахтовые ставки от этого побережья до порта доставки товара вне зависимости от того, откуда фактически осуществлялись физические поставки нефти. При этом в соответствии с соглашением физические поставки нефти на тот или иной рынок за пределами США должны были

осуществляться каждой компанией в пределах выделенной ей квоты из ближайшего к этому рынку района нефтедобычи.

Механизмы ценообразования – это механизмы «кост-плюс». Цена нефти на этом этапе была относительно стабильной (3–5 долл./баррель).

Участники соглашения сохраняли контроль над нефтяным рынком несколько десятилетий. Например, в 1970 году члены МНК контролировали 85 % мировых запасов нефти, но в последующие десятилетия доминирование этих компаний уменьшилось из-за возрастающего влияния картеля ОПЕК и государственных нефтяных компаний в странах с развивающейся экономикой.

После многочисленных слияний и поглощений, произошедших в последующие годы, в настоящее время из прежних семи компаний МНК на рынке присутствуют четыре: BP, Chevron, ExxonMobil и Royal Dutch Shell.

2.2. ВТОРОЙ ЭТАП (1971–1986 гг.). ОЛИГОПОЛИЯ С ОДНИМ ЛИДЕРОМ (ОПЕК). КОНКУРЕНТНЫЙ РЫНОК ФИЗИЧЕСКОЙ НЕФТИ. СПОТОВЫЕ КОНТРАКТЫ

В середине прошлого столетия происходил процесс деколонизации и образования новых независимых государств, которые проводили политику национализации нефтяных предприятий, ранее принадлежащих МНК. Влияние новых нефтедобывающих стран стремительно росло, и уже в 1960 году был образован картель – ОПЕК (Организация стран-экспортеров нефти). Целью создания ОПЕК явилось стремление получить контроль над своими нефтяными ресурсами с учётом национальных интересов.

В 1970-х годах произошел перелом в истории рынка нефти: впервые внутренних нефтяных запасов США было недостаточно для удовлетворения собственных потребностей, и США были вынуждены импортировать нефть. В этот период рыночная власть перешла от МНК к ОПЕК, который мог распоряжаться ею по своему усмотрению [3, 15].

Последствия данного изменения проявились уже через несколько лет: в 1973 году члены ОПЕК объявили эмбарго

на поставку нефти США и некоторым другим странам Западной Европы в ответ на их поддержку агрессии Израиля в ходе войны с арабскими странами. В результате этого цены на нефть выросли в 4 раза за шесть месяцев. В последующие годы ОПЕК неоднократно использовала свою рыночную власть для решения тех или иных задач, в том числе и политических, приводящих к резким колебаниям нефтяных цен.

Такое поведение рынка послужило сильной мотивацией для проведения научных исследований по изучению поведения рынка нефти и предсказания будущей цены. Появились разнообразные математические модели, пытающиеся смоделировать поведение ОПЕК и возможные последствия произошедших структурных изменений на рынке.

2.3. ТРЕТИЙ ЭТАП (1986–2000 гг.). ОЛИГОПОЛИЯ С НЕСКОЛЬКИМИ ЛИДЕРАМИ (ОПЕК, США, РОССИЯ И ДР.). БИРЖЕВАЯ ТОРГОВЛЯ НЕФТЬЮ. СПОТОВЫЕ И ФЬЮЧЕРСНЫЕ КОНТРАКТЫ. ХЕДЖИРОВАНИЕ СДЕЛОК

Резкие колебания цен на нефть, характерные для этапа 2, послужили толчком для привнесения в международную торговлю нефтью механизмов управления рисками (хеджирования) при заключении фьючерсных биржевых контрактов на поставку нефти. Торговля нефтью стала осуществляться на крупнейших площадках, в том числе Нью-Йоркской товарной бирже (NYMEX), Лондонской межконтинентальной бирже (ICE Futures Europe) и Сингапурской товарной бирже (SGX), на долю которых приходится более 70% заключенных контрактов. Их деятельность способствует глобализации мирового рынка нефти, его функционированию в рамках единого информационного пространства, что позволяет выравнивать цены на нефть в различных регионах.

К концу XX века возможности ОПЕК влиять на цену нефти и регулировать рынок сократились. Это произошло вследствие увеличения добычи нефти странами, не входящими в ОПЕК. Кроме этого, ОПЕК столкнулась с политической нестабильностью в некоторых странах организации. В Ливии и Ираке продолжались гражданские войны, Нигерия с ее неустойчивой

политической системой сталкивается с межэтническими и межконфессиональными конфликтами. В отношении Ирана рядом стран введены экономические санкции [3, 15].

*2.4. ЧЕТВЕРТЫЙ ЭТАП (2000–2014 гг.). ОЛИГОПОЛИЯ
С НЕСКОЛЬКИМИ ЛИДЕРАМИ (ОПЕК, США, РОССИЯ).
РАЗВИТАЯ БИРЖЕВАЯ ТОРГОВЛЯ НЕФТЬЮ. СПОТОВЫЕ
И ФЬЮЧЕРСНЫЕ КОНТРАКТЫ. ДЕРИВАТИВЫ*

Начало XXI века характеризуется новым этапом развития рынка нефти. Ключевую роль в этом сыграли США, приняв на рубеже веков ряд законов, стимулирующих формирование финансовых «пузырей». В 1999 г. был отменен закон Гласса – Стигалла, который был принят во время Великой депрессии и запрещал финансовым организациям совмещать функции коммерческого и инвестиционного банка. А в 2000 г. был принят Commodity Futures Modernization Act (CFMA), снимающий запрет для институциональных инвесторов (пенсионных фондов и страховых компаний) на вложение средств в рискованные финансовые активы. Это создало дополнительный спрос на нефтяные бумаги и спровоцировало разработку новых видов финансовых инструментов (деривативов). По данным CFTC, с января 2004 г. по июнь 2008 г. число открытых позиций спекулянтами на NYMEX увеличилось с 900 тыс. до 2,9 млн. В течение того же периода число крупных игроков также возросло с 220 до порядка 400.

Так, например, с конца 2003 г. по 2006 г. цены на нефть с уровня 30 долл./баррель устойчиво пошли вверх. В конце 2007 г. и начале 2008 г. произошёл новый резкий скачок цен. В январе 2008 года, впервые за всю историю, цены на нефть превысили 100 долл./баррель. В мае 2008 года была достигнута цена 135 долл./баррель, которая и далее удерживалась на уровне выше 100 долл./баррель. После этого началось резкое снижение, продолжавшееся до декабря 2008 года, когда цены на нефть упали до уровня четырёхлетнего минимума в 36 долл./баррель.

Общепринятая точка зрения на эти события заключается в том, что рост цены на нефть в период между 2003 и серединой 2008 года частично или полностью был вызван спекуляциями

на рынке нефтяных фьючерсов. Крупные инвесторы (хедж-фонды) из-за наметившихся проблем с ипотечными ценными бумагами США стали переключаться в инструменты сырьевых рынков. Это был сигнал для рынка о предполагаемом повышении цен на нефть, что привело к изменению товарного спроса и, как следствие, к увеличению спотовой цены на нефть. Второй и не менее важный фактор роста цен на нефть состоит в том, что страны ОПЕК после 2001 года в ожидании более высоких цен на нефть сдерживали добычу нефти, что вызвало шок спроса. После биржевой паники 2008 года соответствующие законы были ужесточены, что привело к снижению влияния спекулянтов на торговлю нефтью и снижению волатильности нефтяных цен.

2.5. ПЯТЫЙ ЭТАП (2014 г. – март 2020 г.). ОЛИГОПОЛИЯ С ДВУМЯ ЛИДЕРАМИ (ОПЕК+ И США (СЛАНЦЕВАЯ НЕФТЬ)). РАЗВИТАЯ БИРЖЕВАЯ ТОРГОВЛЯ НЕФТЬЮ

Взрывной рост добычи сланцевой нефти в США в 2014 году стал неожиданностью для рынка. К началу 2015 года объем добываемой в США сланцевой нефти практически сравнялся с объемом традиционно добываемой нефти – это более 4,5 млн баррелей в сутки. Для справки: это почти половина от объема добычи нефти в Саудовской Аравии или России. Коммерческое использование новых технологий добычи сланцевой нефти позволило США в течение 2011–2014 годов увеличить почти вдвое собственную добычу нефти до уровня 9,2 млн баррелей в сутки. В это же период остальные нефтедобывающие страны свой уровень добычи либо увеличивали незначительно, либо даже снижали.

Если в период до 2013 года рост предложения нефти на рынке компенсировался ростом спроса, то в 2014 году потребление нефти росло более низкими темпами, и разница между спросом и предложением достигла 1,5–2,0 млн баррелей в сутки. Такой дисбаланс спроса и предложения привел к шоковому снижению цены на нефть.

Страны ОПЕК могли бы снизить уровень добычи нефти и таким образом ликвидировать избыток предложения, что

помогло бы цене вернуться на более высокий уровень. Однако в 2014 году страны ОПЕК отказались от использования такой стратегии. Это решение объясняется нежеланием потерять долю рынка в пользу, прежде всего, производителей США. ОПЕК предпочел оставить вопрос балансировки спроса и предложения рыночным механизмам: низкая цена сделает добычу на дорогостоящих сланцевых проектах нерентабельной, и предложение сократится [4].

Но уже к 2016 году мировой рынок нефти перешёл от фазы жесткой конкуренции и ценовой войны 2014–2015 гг. к регулированию рынка, направленного на стабилизацию цен на заданных уровнях. Так, в ноябре 2016 года страны ОПЕК договорились о сокращении добычи нефти на 1,2 млн баррелей в сутки. В декабре 2016 года к соглашению присоединились еще 11 стран, не входящих в ОПЕК, включая Россию. Участники соглашения договорились уменьшить добычу уже на 1,75 млн баррелей в сутки по сравнению с уровнем октября 2016 года. Аналогичное соглашение было подписано и в декабре 2018 года.

Саудовская Аравия и ряд других членов ОПЕК в сложившейся ситуации рассчитывают на взаимодействие с нефтедобывающими странами во главе с Россией, которые помогут противостоять экспансии США и ослабят негативные последствия сланцевого бума. Эти меры, направленные на восстановление баланса спроса и предложения на мировом рынке, оказались достаточно эффективными. Сокращение добычи в странах ОПЕК+ приводит к увеличению резервных добывающих мощностей, что позволяет уменьшить волатильность цен. В этот период цены на нефть изменялись в интервале 55–65 долл./баррель.

Приведенный анализ показывает, что на протяжении почти столетней истории развития глобального рынка нефти происходили события и процессы, которые кардинальным образом меняли структуру рынка, роли его участников, движущие силы и принципы ценообразования. Из этого следует, что единую универсальную модель нефтяного рынка нельзя построить в принципе. Можно пытаться строить модели рынка нефти только

применительно к временным периодам, которые характеризуются относительной стабильностью структуры рынка и механизма ценообразования. Это очень важное замечание. В работе будут рассмотрены математические модели глобального рынка нефти, которые ориентированы на анализ и прогнозирование движения нефтяных цен на среднесрочном и долгосрочном горизонте.

В заключение раздела можно сделать предположение, что, по-видимому, в будущем структура нефтяного рынка может измениться в связи с тремя фундаментальными событиями:

- Истощением месторождений сланцевой нефти и уменьшением конкурентной силы сланцевых компаний. Возможные сроки: 2030–2035 гг.
- Прохождение мировой экономикой пика потребления нефти в связи с доминированием новых технологий и широким использованием возобновляемых источников энергии. Возможные сроки: 2035–2040 гг.
- Общей рецессией в мировой экономике и, как следствие, замедлением темпов роста или сокращением спроса на нефть.

3. Проблемы моделирования рынка нефти

Рассмотрим основные факторы, влияющие на формирование нефтяных цен, и их взаимосвязь с точки зрения построения математических моделей (рис. 1). К ним относятся динамика спроса на нефть, динамика складских запасов, инвестиционные стратегии производителей, динамика добычи и поставок нефти на рынок и механизмы ценообразования.

1. **Глобальный спрос на нефть** складывается из двух составляющих: $D^t = D_1^t + D_2^t$, где D_1^t – реальный спрос на нефть, который формируется в реальных секторах мировой экономики в разрезе стран и регионов потребления, и D_2^t – предупредительный спрос на нефть, который формируется как ответ на внешние шоки на рынке нефти или на их ожидание в будущем. Предупредительный спрос может быть как положительным, так и отрицательным. Если рынок ожидает повышение цен,

то предупредительный спрос положительный, что приводит к увеличению складских запасов трейдеров. И наоборот, если рынок по каким-либо причинам ожидает увеличение предложения нефти и снижения цен, то предупредительный спрос становится нулевым или отрицательным и складские запасы у трейдеров уменьшаются.

Заметим, что сценарии прогноза реального спроса на нефть D_1^t периодически публикуют в своих аналитических отчетах основные мировые агентства и компании, специализирующихся на анализе мирового рынка нефти. Однако предупредительный спрос D_2^t практически не поддается прогнозированию, и его довольно сложно учитывать при моделировании.

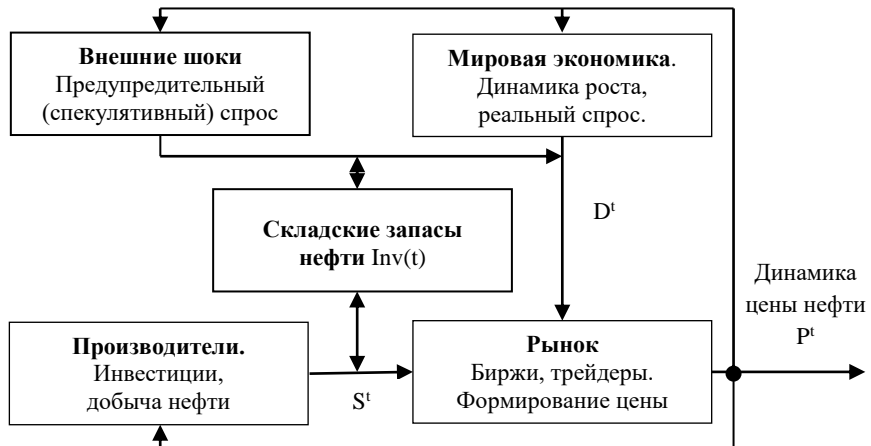


Рис. 1. Основные факторы, влияющие на формирование нефтяных цен, и их взаимосвязь

2. **Добыча и поставка** сырой нефти на рынок S^t . Несмотря на сложность динамики и прогнозирования, цена на нефть, по мнению многих аналитиков, в основном определяется классическим взаимодействием рыночных сил спроса и предложения. Поэтому при моделировании рынка нефти важно выявить структуру основных нефтедобывающих игроков, их мотивацию

и способы взаимодействия для удовлетворения мирового спроса на нефть. Нефтедобывающие страны можно разделить на две основные группы: страны ОПЕК и страны, не входящие в ОПЕК.

Добыча нефти в странах ОПЕК определяется картельными соглашениями и центральной координацией. Как отмечалось ранее, страны ОПЕК способны поддерживать цены на нефть на целевом уровне за счет наличия у них резервных мощностей и низкой себестоимости добычи. Бизнес-модель ОПЕК состоит в балансировке рынка и поддержании цен на нефти на комфортном для этих стран уровне. Желаемый уровень цены часто определяется не только экономическими соображениями, но и политическими целями. Это определяет сложность прогнозирования стратегии поведения ОПЕК по регулированию рынка нефти.

В отличие от этого, добыча и поставки нефти из стран, не входящих в ОПЕК, являются результатом независимых решений производителей, что лишает их возможности устанавливать цены на нефть индивидуально. Их стратегия, как правило, сводится к добыче и поставкам нефти, максимально используя свои производственные мощности. Это логично, если учесть, что их бизнес-модель нацелена на максимизацию прибыли, которая положительна до тех пор, пока цена нефти торгуется выше их предельных затрат на добычу и поставку нефти на рынок.

4. Складские запасы нефти. Складские запасы нефти выступают в качестве ключевого фактора, уравнивающего не только текущий спрос и предложение, но также текущие и будущие цены на нефть. С одной стороны, запасы увеличиваются, когда фактическое предложение сырой нефти превышает спрос. И наоборот, запасы служат для устранения дефицита поставок сырой нефти, когда потребление превышает фактическую добычу:

$$Inv(t) = Inv(t-1) + D_2^t + (S^t - D_1^t).$$

5. Цена нефти. Цена нефти P^t формируется в процессе биржевой торговли под воздействием рыночных механизмов, которые учитывают как текущие, так и ожидаемое изменение пара-

метров рынка. Основное влияние на цену нефти оказывают ожидаемый баланс между спросом и предложением, уровень складских запасов и многое другое. Важно иметь в виду, что наблюдаемая высокая волатильность цен на нефть объясняется низкой эластичностью спроса и предложения к ее краткосрочным изменениям.

Модель ценообразования на рынке может быть задана некоторой функциональной зависимостью P^t от динамики ключевых параметров рынка $P^t = \Phi(S^t, D^t)$. Здесь D^t – сценарий глобального спроса на нефть и S^t – суммарное предложение нефти на рынке. Вопрос о возможности задания аналитической зависимости $P^t = \Phi(S^t, D^t)$ и ее вид до сих пор является открытым.

В разных моделях используются различные упрощенные варианты этой зависимости, которые мы прокомментируем в дальнейшем. Наиболее популярна модель, которая использует линейную обратную функцию спроса [9, 10, 20, 27, 30, 32]. В данной модели предполагается, что рыночная цена нефти P^t описывается следующими соотношениями: $P^t = a - b \cdot S^t$, где a и b являются положительными константами. Предполагается, что

при этой цене $D^t = S^t$. Отсюда $D^t = \frac{a - P^t}{b}$. Более сложная модель

ценообразования, предложенная в [1, 5], позволила учесть характерные свойства рынка нефти – низкую эластичность зависимости спроса на нефть от ее цены, а также нелинейный характер этой зависимости.

Следует отметить, что задача моделирования нефтяного рынка, включая прогнозирование динамики нефтяных цен, с учетом всех факторов, влияющих на его параметры, является исключительно сложной. Поэтому очень часто основное внимание уделяется моделированию причинно-следственных связей между рыночным спросом на нефть, предложением ее со стороны производителей и ценой, которая балансирует спрос и предложение. При этом из поля зрения, конечно, могут выпадать многие другие факторы, такие, например, как влияние на цену нефти параметров финансовых рынков, включая политику ФРС

США в области процентных ставок и курса доллара, протекционистская политика ряда стран и многое другое, включая, «психологические» реакции участников рынка на изменение его волатильности. Каждый из этих факторов, как правило, требует отдельного исследования. Поэтому любое исследование этих вопросов с помощью математического моделирования страдает однобокостью.

4. Краткий обзор моделей прогнозирования нефтяных цен

4.1. МОДЕЛИ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Данная группа методов основана на анализе и выявлении закономерностей динамических рядов исторических данных с использованием методов регрессионного анализа. Наибольшее распространение при анализе глобального рынка нефти получили модели векторной авторегрессии (VAR-модели).

В стандартном виде VAR-модель представляет собой систему эконометрических уравнений, описывающих совместную динамику нескольких временных рядов. Текущие значения каждой эндогенной переменной, согласно предположениям, зависят от ее прошлых значений и от прошлых значений других переменных модели. Использование VAR-моделей для макроэкономического прогнозирования заключается в выявлении динамической корреляции между переменными и использовании выявленных закономерностей для предсказания наиболее вероятных будущих значений этих переменных. Анализируются и оцениваются также временные сдвиги в реакции переменных на различные шоки и показатели степени влияния (взаимной эластичности) переменных друг на друга [6, 11, 12, 17, 21-26].

Пусть задан k -мерный вектор y_t , который описывает динамику взаимосвязанного набора переменных, описывающих экономическую систему. Подход основан на предположении, что y_t можно аппроксимировать моделью векторной авторегрессией конечного порядка p следующего вида [22–24]:

$$B_0 y_t = B_1 y_{t-1} + \dots + B_p y_{t-p} + u_t,$$

где u_t обозначает средний ноль последовательно не коррелированных ошибок, называемых также структурными инновациями, или структурными шоками. Цель анализа состоит в определении параметров модели.

Эквивалентно модель может быть записана в более компактной форме как

$$B(L)y_t = u_t,$$

где $B(L) \equiv B_0 - B_1L - B_2L^2 - \dots - B_pL^p$ – авторегрессионный полином порядка p . Дисперсионно-ковариационная матрица члена структурной ошибки обычно нормализуется так, что $E(u_t u_t') \equiv \Sigma_u$. Это означает, во-первых, что в модели столько же структурных шоков, сколько переменных. Во-вторых, структурные шоки по определению взаимно не коррелированы, что подразумевает диагональный вид матрицы Σ_u . И, в-третьих, дисперсия всех структурных шоков нормализуется до единицы [22–24].

Чтобы иметь возможность оценить параметры модели, нужно получить ее представление в сокращенной форме. Для этого необходимо умножить левую и правую часть модели на B_0^{-1} . Модель может быть представлена в следующем виде:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t,$$

где $A_i = B_0^{-1} B_i, i = 1, \dots, p$, и $\varepsilon_t = B_0^{-1} u_t$. Модель может быть записана более компактно:

$$A(L)y_t = \varepsilon_t,$$

где $A(L) \equiv I - A_1L - A_2L^2 - \dots - A_pL^p$ – авторегрессионный полином порядка p .

Существует набор методов, которые во многих случаях позволяют получать непротиворечивые оценки параметров приведенной формы $A_i, i = 1, \dots, p$, приведенных ошибок ε_t и их ковариационной матрицы $E(u_t u_t') \equiv \Sigma_u$ [24, 25]. Однако структурная интерпретация моделей VAR часто требует дополнительных идентифицирующих допущений, которые должны быть обоснованы на основе анализа экономической системы и согласованы с экономической теорией. Только после разложения ошибок прогноза на структурные шоки, которые взаимно не коррелиро-

ваны и имеют экономическую интерпретацию, можно оценить причинное влияние этих шоков на переменные модели. С методами построения и анализа структурных моделей VAR, а также с их практическим применением можно детально познакомиться, например, в [11, 12, 24–26].

Структурные модели VAR имеют несколько основных областей применения. Во-первых, они используются для изучения среднего отклика переменных модели на различные структурные шоки. Во-вторых, они позволяют строить разложения дисперсии ошибок прогноза, которые количественно определяют средний вклад структурного шока в изменчивость переменных. В-третьих, они могут быть использованы для изучения свойств исторических рядов данных, включая количественный анализ вклада каждого структурного шока в динамику этих данных. Это важно для понимания происхождения рецессий или скачков цен в экономике. Наконец, структурные VAR-модели теоретически позволяют строить сценарии прогноза, зависящие от гипотетических последовательностей будущих структурных шоков. Заметим, что одной из проблем при использовании данного подхода является проблема выбора состава и количества взаимозависимых временных рядов, а также определения временного периода выборки.

Большая часть литературы по изучению влияния шоков спроса и предложения нефти на динамику цен на нефть основана на структурных моделях VAR. В [22–25] была предложена структурная VAR-модель глобального рынка нефти, которая позволила выявить и провести анализ влияния основных шоков спроса и предложения и объяснить колебания реальной цены на нефть. Модель основана на месячных данных для вектора $y_t = (y_t^1, y_t^2, y_t^3)$ где y_t^1 – изменение мирового производства сырой нефти в процентах, y_t^2 – индекс реальной экономической активности, а y_t^3 – реальная цена нефти. Период выборки 1975–2007 гг.:

$$B_0 y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{24} B_i y_{t-i} + \varepsilon_t,$$

где ε_t обозначает вектор последовательно и взаимно некоррелированных структурных изменений. Автор предполагает, что A_0^{-1} имеет рекурсивную структуру, так что ошибки приведенной формы e_t могут быть разложены следующим образом:

$$e_t = A_0^{-1} \varepsilon_t,$$

$$e_t = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \varepsilon_t^1 \\ \varepsilon_t^2 \\ \varepsilon_t^3 \end{pmatrix}.$$

Вектор e_t включает три вида шоков: шоки поставок нефти, шоки мирового спроса на промышленные товары, а также шоки спекулятивного (предупредительного) спроса на нефть. Последний шок призван отразить изменения цены нефти, связанные с обеспокоенностью рынка по поводу наличия будущих поставок нефти. В [22–25] приведены оценки динамического воздействия этих шоков на реальную цену на нефть и оценки того, насколько каждый из этих шоков способствовал изменению реальной цены на нефть в период 1975–2007 годов.

Например, увеличение предупредительного спроса на сырую нефть вызывает немедленное и значительное увеличение реальной цены нефти; увеличение совокупного спроса на промышленные товары вызывает замедленное, но устойчивое повышение реальной цены на нефть. Разложение колебаний реальных цен на нефть показывает, что исторически шоки цен на нефть были вызваны сочетанием шоков совокупного спроса и предупредительных спроса. Например, скачок цен на нефть после 2003 года был обусловлен, прежде всего, кумулятивным воздействием позитивных шоков мирового спроса. Анализ показывает, что экзогенные политические события также сильно влияют на цены на нефть, как это произошло после иранской революции или во время войны в Персидском заливе.

Предложенная модель векторной структурной авторегрессии [22] стала общепризнанным «стандартом» для эконометрического анализа рынка нефти. Со времени написания этой статьи был проведен ряд новых исследований и получены новые

интересные результаты [11, 12, 16, 17, 25, 26,]. Исследовались также другие аспекты влияния шоков нефтяных цен на мировую экономику. Важным вопросом, который позволяет строить различные прогнозные модели, является вопрос степени взаимовлияния (эластичности) параметров нефтяного рынка и глобальной экономики в целом, а также отдельных отраслей и стран.

Так, в [21] используются динамические модели VAR и многомерная регрессия для оценки краткосрочной и долгосрочной эластичности спроса на сырую нефть на примере 23 стран. Исследовался вопрос, как 38 различных отраслей реагируют на шоки цен на нефть. Полученные результаты указывают на асимметрию ответов отраслей в отношении роста цен на нефть и ее снижения. Тем не менее, полученные оценки подтверждают, что спрос на нефть на мировом рынке в краткосрочной перспективе крайне нечувствителен к изменениям ее цены.

Следует отметить, что VAR модели рынка нефти позволяют изучить качественно и количественно взаимное влияние факторов, включенных в модель, на динамику нефтяных цен на основе анализа временных рядов исторических данных. Это позволяет объяснить ценовые шоки на рынке и связать их с шоками других параметров, включаемых в модель.

К недостаткам подхода можно отнести следующее: при построении VAR-моделей не используется информация о структуре рынка, а также не учитывается поведенческий аспект конкуренции агентов рынка, влияющих на его параметры и их динамику.

Интересно отметить, что в 2019 году разгорелась критическая полемика между двумя авторитетными американскими научными школами, пропагандирующими применение VAR-моделей для анализа глобального нефтяного рынка [12]. Первую возглавляют James D. Hamilton (University of California) и Christiane Baumeister (University of Notre Dame), а вторую - Lutz Kilian и Daniel P. Murphy (University of Michigan).

Авторы обвиняли друг друга в слабой обоснованности и ошибочности некоторых предположений при идентификации параметров модели, а также о выборе временных лагов

в выборке и самих исторических рядов данных. Это говорит о сложности и неоднозначности идентификации параметров модели и многочисленных спорных моментах в использовании их для прогнозирования динамики глобального рынка нефти.

4.2. ИГРОВЫЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ МОДЕЛИ. АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ РЫНКА. МРЕС-МОДЕЛИ

Мировой рынок нефти является плодотворной областью применения методов и моделей теории игр. Это объясняется присутствием на рынке нескольких игроков, принимающих решения, каждый из которых имеет различные интересы. Кроме того, используемый метод построения математических моделей, которые позволяют упростить реальность, делает теорию игр хорошим инструментом для анализа и проверки различных гипотез относительно движущих сил рынка и механизмов формирования цен на нефть.

В настоящее время наиболее развит математический аппарат, связанный с моделями рынка олигополии Курно и Штакельберга. Наиболее адекватной моделью рынка нефти, по мнению экспертов, является обобщенная модель Штакельберга с несколькими доминирующими поставщиками (ОПЕК, США, Россия) и игроками-последователями, к которым относятся остальные страны экспортеры нефти. Вопрос, насколько реальная структура рынка нефти на исследуемом промежутке времени соответствует предположениям, сделанным при построении этих модели, является открытым. Проверка адекватности и работоспособности модели требует проведения численных расчетов и их верификации.

В игровых моделях данного типа предполагается, что в процессе выбора равновесия на рынке каждый игрок стремится максимизировать свою функцию полезности, которая по умолчанию является показателем доходности (экономической прибыли) за некоторый период времени. Публикаций в этой области исследований достаточно много, например [9, 10, 13, 14, 19, 20, 27, 30, 32]. Мы остановимся на некоторых из них, опубликованных в последнее время.

В [9] предпринята попытка смоделировать и объяснить движение цен на нефть в период 2013–2015 гг. используя модели рынка Курно и Штакельберга. Данный период, как известно, характеризуется острой конкуренции между ОПЕК и сланцевыми компаниями США. В качестве модели ценообразования $P^t = \Phi(S^t, D^t)$, как и в большинстве моделей этого типа, используется линейная обратная функция спроса. В данной упрощенной модели предполагается, что рыночная цена нефти P^t описывается уравнением $P^t = a - b \cdot S^t$, где a и b являются положительными константами.

Использованы различные игровые модели частичного равновесия статической конкуренции при ограничениях на производственные мощности добычи нефти. Поставщики выбирают количество добываемой нефти q_{it} , а рыночная цена нефти $p_t(S^t)$ определяются в условиях рыночного равновесия в соответствии с используемой моделью ценообразования. Здесь $S^t = \sum_i^I q_{it}$.

Формально

$$\max_{q_{it}} \{ p_t(S^t) \cdot q_{it} - C_{it}(q_{it}) \mid q_{-it}^s \} \forall i \in I, \forall t \in T,$$

где q_{it} – объем добычи и поставки нефти i -м игроком, $C_{it}(q_{it})$ – производственные затраты i -го игрока, зависящие от q_{it} . Индекс t обозначает период времени.

В модели Курно поставщики принимают решение по добыче и поставках нефти на рынок одновременно с учетом возможных решений других игроков и их влияния на рыночную цену. Результат решения игры определяется на основе поиска равновесия по Нэшу.

Задача оптимизации для каждого игрока выглядит следующим образом:

$$\max_{q_{it}} \{ p_t(S^t) \cdot q_{it} - \eta_{it} C_{it}(q_{it}) \} \forall i \in I, \forall t \in T.$$

Рассмотрены более сложные рыночные структуры, учитывающие неравномерность распределения рыночной власти и очередность принятия решений игроками [9].

В рамках игры Штакельберга доминирующий игрок (ОПЕК) используют свою рыночную власть, основанную на имеющихся у него резервах и преимуществе по стоимости. В схеме Штакельберга лидер предвидит реакцию своих конкурентов и включает ее в свою задачу максимизации, и именно так лидер проявляет свою власть. Лидер учитывает реакцию конкурентов при определении ценовой политики, в то время как последователь адаптирует свою собственную задачу максимизации к стратегии, установленной лидером. Общая формулировка этой игры с несколькими игроками выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & \max_{q_{jt}, \forall j \in J} \left\{ p_t(S^t) \cdot \sum_{j \in J} q_{jt} - \sum_{j \in J} \eta_{jt} C_{jt}(q_{jt}) \parallel q_{kt}^R, \forall k \in K \right\} \forall t \in T, \\ & s.t. \max_{q_{kt}} \left\{ p_t(S^t) \cdot q_{kt} - \eta_{kt} C_{kt}(q_{kt}) \parallel q_{jt}, \forall j \in J \right\} \forall k \in K, \forall t \in T, \end{aligned}$$

где $j \in J$ обозначает множество лидеров Штакельберга, а $k \in K$ обозначает множество последователей, q_{kt}^R – ожидаемая реакция последователей. Имея достоверную информацию об объявленных квотах на добычу нефти странами ОПЕК, поставщики, не входящие в ОПЕК (последователи), выбирают свою стратегию поставок. Что касается последователей, возможны две различные структуры рынка: либо сами последователи наделены рыночной властью и участвуют в конкуренции в стиле Курно на втором этапе, либо последователи ведут себя не конкурентно и закрывают остаточный спрос.

Методы анализа и решения поставленных задач реализованы с использованием программного комплекса GAMS. Задача в рамках модели Курно формулируются как смешанная задача комплементарности (MCP) и решаются с помощью пакета PATH Solver, входящего в систему моделирования GAMS. Структура Штакельберга формулируются как задачи математического программирования с равновесными ограничениями (MPES) и реализуются в виде смешанных целочисленных нелинейных задач (MINLP) [9].

На основе проведенных расчетов и сравнения полученных результатов с историческими данными за период 2013–2015 гг.

автор делает вывод, что ни одна из предложенных моделей не позволяет объяснить движение нефтяных цен. Структура нефтяного рынка и стратегии поведения игроков в исследуемом периоде не соответствовали предположениям и допущениям, сделанным в моделях. Это подтверждает тот факт, что максимизация прибыли, которая в некоторых случаях позволяла объяснять движение цен до 2013 года, не может объяснить резкое падение цены в 2014–2015 годах.

Последние исследования показали, что целевые функции игроков могут отличаться от максимизации прибыли. Например, они могут максимизировать свою долю рынка или взвешенную сумму этих двух критериев. Причем критерии игроков, определяющие их поведение, могут меняться в зависимости от ситуации на рынке.

В этом контексте и столкнувшись с изменением структуры рынка нефти в этот период, в [13] предложена модель, в которой рассматриваются две возможные стратегии ОПЕК. Первая – это стратегия, направленная на максимизацию прибыли за счет сокращений добычи нефти и балансировки рынка на определенных ценовых уровнях в зависимости от конъюнктуры рынка. И вторая стратегия, состоящая в снижении цены на нефть с целью вытеснения с рынка производителей с высокими предельными издержками (сланцевые компании США) и защиты или увеличения своей доли рынка. Главный вопрос, на который пытаются ответить авторы, состоит в том, при каких условиях одна из этих двух стратегий выгоднее для ОПЕК.

Предложена простая модель, которая заключается в следующем [13]. Предполагается, что глобальный спрос на нефть зависит от цены следующим образом: $D(P) = (a - P) / b$ с параметрами $a, b > 0$. Рассматриваются $N + 1$ производителей нефти, включая ОПЕК и N производителей, не входящих в ОПЕК. Предполагается, что ОПЕК имеет максимальную мощность по добыче нефти – K_i и минимальную предельную себестоимость добычи – C_i . Остальные N производителей нефти имеют мощности по добыче нефти K_n и предельные себестоимости добычи C_n . Предполагается, что добыча и поставка нефти этих

производителей подчиняется следующему правилу: она равна K_n , если $P \geq C_n$, и равна нулю в противном случае. Пусть j – производитель с наибольшей величиной C_n . В исследовании предполагается, что это совокупный производитель сланцевой нефти США. Суммарная производственная мощность всех других игроков, не входящих в ОПЕК обозначим K_l .

Принятые следующие разумные предположения, используемые в модели:

$$(C_j - C_i) \leq \lambda \left[(a - C_j) - b \cdot (K_j + K_l) \right],$$

$$(a - C_j) \leq b \cdot (K_i + K_l).$$

Первое предположение гарантирует, что американские сланцевые компании (игрок j) будет жизнеспособен при использовании ОПЕК стратегии 1. Второе предположение гарантирует, что ОПЕК обладает достаточными возможностями для осуществления этой стратегии.

Стратегия 1. Поскольку ОПЕК является единственным стратегическим игроком, то он может выбирать цену или уровень добычи нефти для того, чтобы максимизировать свою прибыль. Учитывая, что по условию 2 ОПЕК имеет достаточную мощность K_l и сталкивается с остаточным спросом и таким образом выбирает цену:

$$\max_P \Pi_i(P) \equiv \{D(P) - K_j - K_l\}(P - C_i) = \frac{1}{b} \{ (a - P) - b(K_j + K_l) \} (P - C_i).$$

Отсюда следует, что оптимальной ценой для ОПЕК является P^* и ее прибыль по данной стратегии [13]:

$$P^* = \frac{C_i + \lambda \left[a - b(K_j + K_l) \right]}{(1 + \lambda)},$$

$$\Pi_i^* = S_i^*(P^* - C_i) = \frac{\lambda}{\beta} \left(\frac{(a - C_i) - b(K_j + K_l)}{(1 + \lambda)} \right)^2.$$

Здесь параметр $\lambda \in (0, 1)$ задает степень рыночной власти ОПЕК. Случай $\lambda = 1$ соответствует полной рыночной власти ОПЕК, в противном случае значение λ выбирается меньше единицы.

Стратегия 2. В этом случае оптимальная цена определяется значением предельных издержек поставщика с наивысшими предельными издержками, которыми является сланец США. Итак, по определению $P^{**} = C_j$:

$$S_i^{**} \equiv \{D(P^{**}) - K_l\} = \frac{(a - C_j)}{b} - K_l,$$

$$\Pi_i^{**} = S_i^{**} (P^{**} - C_i) = \frac{1}{b} [(a - C_j) - bK_l] (C_j - C_i).$$

Сравнивая эти выражения можно получить условия на параметры модели, при которых ОПЕК выгоднее применять ту или другую стратегию. ОПЕК выберет стратегию, которая максимизирует его прибыль. Если $\Delta \Pi_i > 0$, то ОПЕК выберет стратегию 1 и, в противном случае, стратегию 2, где $\Delta \Pi_i = \Pi_i^{**} - \Pi_i^*$.

Проведенный в [13] анализ позволяет сделать следующие выводы. В случае снижения глобального спроса на нефть или увеличения производственных мощностей и добычи игроками не входящих в ОПЕК цена на нефть будет снижаться. Использование стратегии 2 позволяет фиксировать цену нефти на уровне предельных издержках производителей с высокими затратами. Это приведет к сокращению добычи и предложению нефти, и восстановлению баланса на рынке. И последнее: чем выше предельные издержки добычи сланцевой нефти, тем привлекательнее для ОПЕК переход к стратегии 2, поскольку необходимое снижение цен будет меньше.

Отметим, что данный подход позволяет определить лишь условия для переключения стратегии ОПЕК с одной стратегии на другую. В модели не учитывается динамический характер процессов принятия решений игроками, влияющих на динамику параметров рынка нефти

Общая проблема подхода, связанного с использованием игровых моделей, заключается в необходимости учитывать при моделировании рынка нефти несколько значимых игроков, использующих различные рыночные стратегии в зависимости от ситуации на рынке. Это делает моделирование в рамках подходов связанных с моделями рынков Курно или Штакельберга очень сложным. Получение численных решений задачи воз-

можно в случае, если приняты значительные упрощения реальной ситуации. В этой связи интересны подходы к моделированию рынка нефти, основанные на применении методов многоагентного имитационного моделирования с использованием экспертной информации.

4.3. МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ. МНОГОАГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Последние годы данное направление привлекло большое число исследователей [1, 2, 4, 5, 7, 31, 35]. Далее рассматривается пример использования методов многоагентного имитационного моделирования для анализа стратегий игроков рынка и прогнозирования цен. Рассматривается период с 2016 года по начало 2020 года. Соглашение ОПЕК+ позволило вернуть этому объединению рыночную власть. В 2016 года страны ОПЕК+ согласованно приняли стратегию 1, которая реализовалась до марта 2020 года. Ключевой вопрос, который при этом возникает, состоит в следующем: какие целевые уровни цен на нефть наиболее выгодны странам участникам ОПЕК+ и как при этом будет меняться их доля рынка в среднесрочной перспективе.

В [2, 4] предложена имитационная динамическая игровая модель, структура которой представлена на рис. 2.

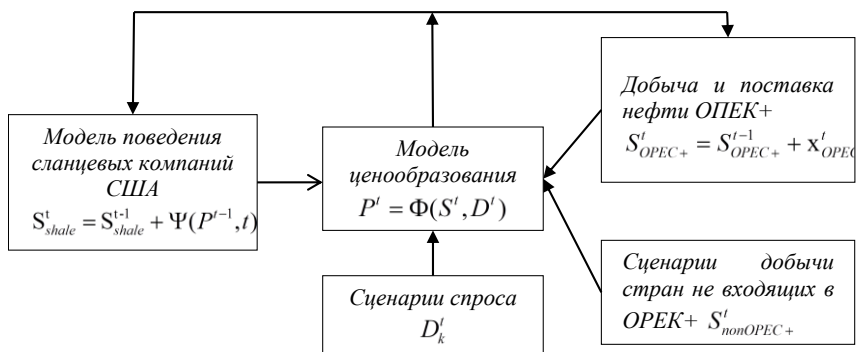


Рис. 2. Комплексная модель

Модель описывает взаимосвязи между спросом на нефть, стратегией поставок нефти на рынок со стороны игроков и динамикой изменения цены на нефть. Модель позволяет, задавая различные стратегии поведения игроков, моделировать движение нефтяных цен, которые в свою очередь влияют на выбор игроками своих решения по добыче нефти и поставкам ее на рынок. В модели представлены три игрока: сланцевые компании США, страны ОПЕК+ (включая Россию), а также страны, не входящие в ОПЕК+ (включая добычу традиционной нефти в США).

Методология исследования основана на сценарном моделировании и анализе стратегий ОПЕК+ по управлению балансом спроса и предложения на нефтяном рынке (снижение или увеличения добычи) для таргетирования нефтяных цен на заданных целевых уровнях. При моделировании каждого сценария оцениваются два критерия: валовый доход от продажи нефти за определенный период и динамика изменения доли рынка.

Пусть x_{OPEC+}^t – управление со стороны ОПЕК+ в виде сокращения или увеличения добычи нефти в периоде t . Величина x_{OPEC+}^t устанавливается в зависимости от соотношения цены нефти на рынке в предшествующем периоде $t-1$ и границ заданного целевого диапазона. Механизм выбора x_{OPEC+}^t обозначим через ω , $x_{OPEC+}^t = \omega(P^t, P_n, P_v)$, где P_n и P_v – границы целевого диапазона. Например, данный механизм может состоять в следующем: $x_{OPEC+}^t = (D^{t-1} - S^{t-1}) \cdot k^t$, где k^t – коэффициент, который зависит от степени отклонения P^{t-1} от целевого уровня ($0 \leq k^t \leq 1$), D_k^t – сценарии глобального спроса на нефть. Предполагается, что спрос D_k^t заранее неизвестен участникам рынка. Модель ценообразования на рынке $P^t = \Phi(S^t, D^t)$ задается рекуррентной формулой [5]:

$$P^t = P^*(t) \cdot (1 + \gamma(t)) \cdot \left(\frac{\sum_{t-2}^t D_k^t - \sum_{t-2}^t S^t}{\sum_{t-2}^t D_k^t} \right).$$

Здесь S^t – суммарное предложение нефти на рынке, $S^t = S_{shale}^t + S_{OPEC+}^t + S_{nonOPEC+}^t$. Коэффициент эластичности в модели $\gamma(t) = \gamma^+$, если $D_k^t - S^t \geq 0$, и $\gamma(t) = \gamma^-$ в противном случае. В модели используется информация о динамике спроса и предложения за два предшествующих периода. Параметр $P^*(t)$ вычисляется следующим образом: $P^*(t) = P^*(0)$, где $P^*(0)$ – цена нефти на начало прогноза. Если в некоторый период t'' $D(t) = S(t)$, то $P^*(t) = P^t$ для всех $t \geq t''$. Модель учитывает свойство «гистерезиса» при формировании цены, равновесное значение цены может установиться на уровне, отличном от первоначального значения.

Глобальный спрос D_k^t в модели не является эластичным, то есть в среднесрочной перспективе не зависит от изменения рыночной цены и задается в модели экзогенно в виде множества сценариев. В качестве базового сценария D_k^t принят прогноз ОПЕК роста глобального спроса в период 2019–2025 гг. [34]. В таблице 1 представлены результаты расчетов динамики добычи и доля рынка сланцевой нефти США, динамика добыча и доля рынка ОПЕК+, а также снижение/рост добычи год к году ОПЕК+ для поддержания цены на целевом уровне 60–65 долл./баррель

В первом столбце таблицы 1 приняты следующие обозначения: 1 – периоды; 2 – спрос, млн барр. в сутки (прогноз ОПЕК); 3 – среднегодовая добыча сланцевой нефти США, млн барр. в сутки; 4 – доля рынка сланцевой нефти США; 5 – среднегодовая добыча ОПЕК+, млн барр. в сутки; 6 – доля рынка ОПЕК+.

Таблица 1. Прогноз динамики добычи нефти и доли рынка в период 2019–2025 гг.

| 1 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | 101,2 | 102,2 | 103,2 | 104,1 | 105,0 | 105,9 | 106,7 |
| 3 | 7,40 | 9,20 | 10,64 | 11,79 | 12,71 | 13,45 | 14,04 |
| 4 | 7,3% | 9,0% | 10,3% | 11,3% | 12,1% | 12,7% | 13,2% |
| 5 | 48,4 | 47,6 | 47,1 | 46,9 | 46,9 | 47,0 | 47,3 |
| 6 | 47,8% | 46,6% | 45,7% | 45,1% | 44,6% | 44,4% | 44,3% |

Проведённые расчеты подтверждают, что ОПЕК+, снижая добычу с целью поддержать цену нефти на высоком целевом уровне, создает свободную нишу на рынке. Эту нишу занимают производители вне соглашения, в основном производители сланцевой нефти, которые могут продолжать наращивать добычу. Расчеты показывают, что к 2025 году добыча сланцевой нефти в США по сравнению с 2018 годом может увеличиться почти в два раза и достигнет 14,1 млн баррелей в сутки. При этом сланцевая нефть США будет занимать 13,2% рынка, в то время как доля рынка российской нефти снизится до 10,6%.

Для России наиболее выгодным с точки зрения сохранения доли рынка является вариант таргетирования цен на более низких уровнях, например, 40 долл./баррель. Однако при этом заметно сокращается валютная выручка страны от продажи нефти. Дальнейший выбор стратегий поведения игроков на рынке нефти будет зависеть от темпов роста глобальной экономики и от экономической политики стран экспортеров.

5. Заключение

В заключение можно отметить следующее. Из-за большой вычислительной сложности многих представленных моделей авторам приходится вводить в них существенные упрощения. Однако чрезмерные упрощения могут приводить к неадекватным результатам из-за сложности рынка нефти и постоянных изменений, которым он подвержен.

Подтверждением этому явились события февраля – марта 2020 года, когда на фоне вспышки коронавирусной инфекции в Китае и страхов перед распространением ее по миру рынком были пересмотрены прогнозы мирового потребления нефти в сторону уменьшения. Это привело к смене стратегии основных игроков рынка, развалу соглашения ОПЕК+ и, как следствие, резкому падению нефтяных цен ниже 40 долл./баррель.

Способ избежать этих ошибок – периодически адаптировать модели к новым условиям, налагаемым рынком. В любом случае нужно понимать, что роль моделей заключается не в том, чтобы спрогнозировать точную цену на конкретный момент времени, а в том, чтобы предложить общее видение тренда и границ, которым цены будут следовать в будущем.

В целом следует отметить, что во многих случаях моделирование глобального нефтяного рынка оказываются полезными и позволяет понять природу рынка и прогнозировать его параметры. Однако полностью справиться с проблемой прогнозирования глобального рынка нефти они пока не могут.

Литература

1. АКИНФИЕВ В.К. *Модель конкуренции между нефтедобывающими компаниями с традиционным и нетрадиционным способом добычи* // Управление большими системами. – 2017. – Вып. 67. – С. 52–80.
2. АКИНФИЕВ В.К. *Соглашение ОПЕК+: анализ последствий для России* // Энергетическая политика. – Январь 2020. – № 1(143). – С. 42–51.
3. БУШУЕВ В.В., КОНОПЛЯНИК А. А., МИРКИН Я. М. и др. *Цены на нефть: анализ, тенденции, прогноз.* – М.: «Энергия», 2013. – 344 с.
4. AKINFIEV V. *An Analysis and Forecasting Volatility of Crude Oil Market* // Proc. of the 11th IEEE Int. Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD-2018), Moscow, 2018. – P. 1–3.

5. AKINFIEV V. *Modeling and Estimating the Impact of the OPEC Agreement on Oil Production in Russia* // *Advances in Systems Science and Applications*. – 2019. – Vol. 19(3). – P. 131–139.
6. ALQUIST R., KILIAN L., VIGFUSSON R.J. *Forecasting the price of oil* // *Handbook of economic forecasting*. – Elsevier, 2013. – Vol. 2. – P. 427–507.
7. AL ROUSAN S., SBIA R., TAS B. *A dynamic network analysis of the world oil market: Analysis of OPEC and non-OPEC members* // *Energy Economics*. – 2018. – Vol. 75. – P. 28–41.
8. ALBUQUERQUEMELLO V.P. et al. *Forecasting crude oil price: Does exist an optimal econometric model?* // *Energy*. – 2018. – Vol. 155. – P. 578–591.
9. ANSARI D. *OPEC, Saudi Arabia, and the shale revolution: Insights from equilibrium modeling and oil politics* // *Energy Policy*. – December 2017. – Vol. 111. – P. 166–178.
10. ANSARI E., KAUFMANN R.K. *The effect of oil and gas price and price volatility on rig activity in tight formations and OPEC strategy* // *Nature Energy*. – 2019. – Т. 4. – №. 4. – P. 321.
11. BAUMEISTER C., PEERSMAN G. *The role of time-varying price elasticities in accounting for volatility changes in the crude oil market* // *Journal of Applied Econometrics*. – 2013. – Vol. 28, No. 7. – P. 1087–1109.
12. BAUMEISTER C., HAMILTON J.D. *Structural Interpretation of Vector Autoregressions with Incomplete Identification: Revisiting the Role of Oil Supply and Oil Demand Shocks* // *American Economic Review*. – 2019. – No. 109. – P. 1873–1910.
13. BEHAR A., RITZ R.A. *OPEC vs US shale: Analyzing the shift to a market-share strategy* // *Energy Economics*. – 2017. – Vol. 63. – P. 185–198.
14. CALDARA D, CAVALLO M, IACOVIELLO M. *Oil price elasticities and oil price fluctuations*. // *Journal of Monetary Economics*. – Elsevier, August 2019. – P. 1-20.
15. DVIR E., ROGOFF K.S. *Three epochs of oil* // *National Bureau of Economic Research*. – 2009. – No. w14927.

16. ECONOMOU A. *Oil Price Shocks: A Measure of the Exogenous and Endogenous Supply Shocks of Crude Oil* // Oxford Institute for Energy Studies. – 2016. – WPM 68. – P. 52.
17. ECONOMOU E. et al. *A structural model of the world oil market: the role of investment dynamics and capacity constraints* // Oxford Institute for Energy Studies. – 2017. – WPM 75. – P. 40.
18. FIGUEROLA-FERRETTI I., MCCRORIE J.R., PARASKEVOPOULOS I. *Mild explosivity in recent crude oil prices* // Energy Economics. – 2019. – P. 104387.
19. GOLOMBEK R., IRARRAZABAL A.A., MA L. *OPEC's market power: An empirical dominant firm model for the oil market* // Energy Economics. – 2018. – Vol. 70. – P. 98–115.
20. HUPPMANN D. *Endogenous Shifts in OPEC Market Power: A Stackelberg Oligopoly with Fringe* // DIW Berlin, German Institute for Economic Research, 2013. – No. 1313.
21. JOHN C.B. COOPER. *Price elasticity of demand for crude oil: estimates for 23 countries* // OPEC Energy Review. – 2003. – Vol. 27, Iss. 1. – P. 1–8.
22. KILIAN L. *Not All Oil Price Shocks Are Alike: Disentangling Demand and Supply Shocks in the Crude Oil Market* // American Economic Review. – 2009. – Vol. 99. – P. 1053–1069.
23. KILIAN L., MURPHY D.P. *Why agnostic sign restrictions are not enough: understanding the dynamics of oil market VAR models* // Journal of the European Economic Association. – 2012. – Vol. 10, No. 5. – P. 1166–1188.
24. KILIAN L. *Structural vector autoregressions* // Handbook of research methods and applications in empirical macroeconomics. – Edward Elgar Publishing, 2013.
25. KILIAN L., MURPHY D.P. *The Role of Inventories and Speculative Trading in the Global Market for Crude Oil* // Journal of Applied Econometrics. – 2014. – Vol. 29. – P. 454–478.
26. KHIABANI N., NADERIAN M.A. *Time-Varying Transmission Mechanism of Oil Shocks in the Global Crude oil Market: A TVP-VAR Approach* // Journal of Economic Modeling Research. – 2018. – Vol. 8, No. 32. – P. 7–54.

27. KHAKESTARI M., JOLEINI S., AMELI A. *An Analysis of the Behavior of OPEC. With the Approach of Evolutionary Game Theory* // Journal of Economic Modeling Research. – 2018. – Vol. 8, No. 31. – P. 103–130.
28. LIU Y., DONG H., FAILLER P. *The oil market reactions to OPEC's announcements* // Energies. – 2019. – Vol. 12, No. 17. – P. 32–38.
29. LIAO J., SHI Y., XU X. *Why Is the Correlation between Crude Oil Prices and the US Dollar Exchange Rate Time-Varying? – Explanations Based on the Role of Key Mediators* // Int. Journal of Financial Studies. – 2018. – Vol. 6, No. 3. – P. 61.
30. OLOVSSON C. *Oil prices in a general equilibrium model with precautionary demand for oil* // Review of Economic Dynamics. – April 2019. – Vol. 32. – P. 1–17.
31. RAFIEISAKHAEI M. et al. *Supply and demand dynamics of the oil market: A system dynamics approach* // 34rd Int. Conference of the System Dynamics Society. – 2016.
32. RAZEK N.H.A., MICHIEKA N.M. *OPEC and Non-OPEC Production, Global Demand, and the Financialization of Oil* // Research in International Business and Finance. – 2019. – T. 50. – P. 201-225.
33. RUBIO-RAMIREZ J.F., WAGGONER D.F., ZHA T. *Structural vector autoregressions: Theory of identification and algorithms for inference* // The Review of Economic Studies. – 2010. – Vol. 77, No. 2. – P. 665–696.
34. WORLD OIL OUTLOOK 2018. *The annual OPEC forecast.* – 2018. – 364 p. – URL: <https://wo.opec.org/>.
35. WOOD A.D., MASON C.F., FINNOFF D. *OPEC, the Seven Sisters, and oil market dominance: An evolutionary game theory and agent-based modeling approach* // Journal of Economic Behavior & Organization. – 2016. – Vol. 132. – P. 66–78.

MODELING OF THE GLOBAL OIL MARKET: RESEARCH AND RESULTS

Valerij Akinfiev, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of RAS, Moscow, Doctor of Science, professor (akinf@ipu.ru).

Abstract: The article analyzes the problems of modeling and forecasting the world oil market, and also provides an overview of approaches and models in this area. The main stages of development of the world oil market are presented and the events that led to structural changes in the behavior of oil prices are analyzed. The key factors affecting the formation of oil prices are presented, and their relationship is examined. One of the popular applications of mathematical models for forecasting the global oil market, which is considered in the article, is the use of econometric analysis methods, including VAR structural models. Another interesting area is related to the use of games and behavioral models. Widely used models of market equilibrium analysis considering various market structures based on MPEC models. Of considerable practical interest are also methods that combine game models, methods of multi-agent modeling, and modeling based on expert information. The analysis presented in the work shows that in many cases the use of mathematical models for forecasting the world oil market is useful, it allows you to get closer to understanding the mechanisms of its functioning and the relationship of its parameters. However, they still cannot fully cope with the problem of forecasting the world oil market.

Keywords: modeling, global oil market, oil price forecasting.

УДК 681.5

ББК 65.050

DOI: 10.25728/ubs.2020.85.8

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии Р.М. Нижегородцевым.*

Поступила в редакцию 11.03.2020.

Опубликована 31.05.2020.