

УДК 681.5
ББК 65.050

МОДЕЛЬ КОНКУРЕНЦИИ МЕЖДУ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИМИ КОМПАНИЯМИ С ТРАДИЦИОННЫМ И НЕТРАДИЦИОННЫМ СПОСОБОМ ДОБЫЧИ

Акинфиев В. К.¹

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

В данной статье рассматривается проблема выбора инвестиционных стратегий нефтяных компаний с традиционным и нетрадиционным способом добычи. Предложена математическая модель, описывающая взаимосвязь между инвестиционными стратегиями компаний и рыночной ценой нефти, которая зависит от соотношения спроса и предложения на мировом рынке нефти. Решение задачи сведено к анализу биматричной игры, в которой матрица выигрышей формируется в результате численного моделирования. Приводится иллюстративный пример использования предложенного подхода.

Ключевые слова: инвестиционные стратегии, математическая модель, конкуренция на рынке нефти, биматричная игра

1. Введение

В последние годы наблюдается существенная ценовая нестабильность на мировом нефтяном рынке. Шок на нефтяном рынке, который произошел во второй половине 2014 года,

¹ Акинфиев Валерий Константинович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник (akinf@ipu.ru).

многие связывают с появлением в США новых технология добычи трудно извлекаемых залежей нефти (сланцевой нефти). Как следствие этого, страны с традиционной добычей нефти, для удержания собственной доли рынка, начали наращивать добычу и, соответственно, предложение на рынке. Это привело к переизбытку предложения и резкому падению цен на нефть. Падение нефтяных цен ниже определенного уровня делает нерентабельным инвестиции в добычу сланцевой нефти, что приводит к сокращению ее добычи, снижению давления на рынок и к некоторому повышению цен.

Кроме этих факторов (ценовые войны между игроками) на равновесие на рынке существенное влияние оказывает динамика спроса на нефть на мировом рынке, которая зависит от большого числа факторов, включая темпы роста экономик стран импортеров, изменение в структуре потребления энергоносителей, связанных с появлением новых технологий.

В свою очередь цена нефти на рынке существенно влияет на уровень рентабельности (прибыльности) нефтедобывающих компаний и, соответственно, на возможность инвестировать необходимые средства в развитие и поддержание уровня добычи нефти. Причем компании с традиционной технологией добычи обладают в этом смысле большей инерционностью по сравнению с компаниями, добывающими сланцевую нефть.

Следует заметить, что на нефтяном рынке среди нефтедобывающих компаний существует существенная асимметрия, связанная с различиями в технологии добычи и технико-экономическими характеристиками нефтяных месторождений.

Очень важной характеристикой, влияющей на поведение игроков на рынке при изменении его конъюнктуры, является показатель «Точка безубыточности». Точка безубыточности это уровень цены нефти, при которой прибыль компаний с определенной технологией добычи, равна нулю. При этом, в себестоимость добычи, как правило, включают инвестиции компаний на поддержание добычи (поддерживающие инвестиции). При этом, если цена на рынке становится меньше точки безубыточности компаний, то уровень ее добычи будет заведомо снижаться с некоторым временным лагом. Темп снижения зависит от разни-

Рубрика Сборника (окончательно выбирается редактором)

цы между рыночной ценой и точкой безубыточности. В период низких цен 30-35 \$/барр снижают инвестиции и добыча компаний, добывающие нефть на глубоководных шельфах (северо-морская нефть, Норвегия, Канада) и, конечно, компании, добывающие сланцевую нефть.

И, напротив, если цена на рынке выше точки безубыточности, то компания имеет возможность инвестировать в развитие и рост добычи. В этом случае у компании имеется возможность выбора того или иного варианта инвестиционной стратегии в зависимости от цели компании и складывающейся конъюнктуры рынка.

Основным критерием выбора стратегии игроками является, как правило, удержание или увеличение доли рынка, а также увеличения капитала (стоимости) компании. При этом необходимо учитывать возможный выбор инвестиционных стратегий остальными игроками и ожидание изменения динамики спроса в среднесрочной и долгосрочной перспективе. Причем, между игроками возможны коалиции и соглашения, например, между странами ОПЕК.

Таблица 1

Параметры	Арабская нефть	Сибирская нефть	Шельфовая нефть	Сланцевая нефть
Точка безубыточности	самая низкая (10\$/барр.)	средняя (20\$/барр.)	высокая (35\$/барр.)	самая высокая (50\$/барр.)
Временной лаг между периодами инвестирования и прироста добычи	средний (12-24 мес.)	высокий (24-36 мес.)	высокий (24-36 мес.)	самый низкий (3-12 мес.)
Прирост добычи на единицу инвестиционных вложений	низкая	высокая	самая высокая	низкая

Существенное влияние на возможные действия игроков в ответ на шоковые изменения цены на рынке оказывают также показатели временного лага между периодом инвестирования и

периодом прироста товарной добычи нефти и показатель удельного прироста товарной добычи нефти на единицу инвестиционных вложений. Достаточно условно можно разделить игроков на нефтяном рынке по этим показателям на четыре группы. В таблице 1 приведены количественные и качественные оценки параметров для выделенных групп игроков. Анализ таблицы показывает существенную асимметрию на рынке, которая обуславливает различие в реакции игроков на рыночные шоки и их инвестиционные стратегии.

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 [2].

Добыча в основном ведется на трех формациях: Bakken на севере США, Eagle Ford и Permian на юге. В каждом регионе одновременно разрабатываются сотни участков, каждый из которых обладает уникальными характеристиками. Пористость и проницаемость пласта, его толщина и глубина залегания, а также состав горных пород, расположенных над пластом сланца, могут существенно различаться даже на соседних участках.

Коммерчески выгодная добыча сланцевой нефти стала возможной благодаря технологиям горизонтального бурения и гидравлического разрыва пласта (англ. fracking). Технологии добычи постоянно совершенствуются, однако по объемам добычи из каждой отдельной скважины сланцевая нефть в любом случае уступает традиционно добываемой нефти. Уже в первый год после гидроразрыва объем извлекаемой сланцевой нефти падает более чем в два раза, а через пять лет скважина закрывается, так как низкий дебет нефти делает добычу нерентабельной. При добыче нефти из традиционных пластов дебет в среднем падает лишь на 5-7% в год, и общий объем извлекаемой нефти кратно выше.

Также сланцевая нефть уступает традиционно добываемой с точки зрения стоимости добычи. Как горизонтальное бурение, так и применение гидроразрыва в несколько раз увеличивают стоимость бурения отдельной скважины, и чем глубже залегает пласт сланца и ниже его проницаемость, тем дороже обходится применение этих технологий. С учетом стоимости аренды земли

уровень безубыточности добычи сланцевой нефти на разных участках варьируется от 40 до 80 долл. США за баррель. Такой большой разброс цифр в первую очередь отражает неповторимость геологических характеристик каждого конкретного участка, так как основным компонентом стоимости добычи сланцевой нефти является стоимость бурения [2].

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. Так, например, добыча нефти в России в последние годы росла с темпом около 1% в год. При этом на старых месторождениях добыча нефти падала на 1,5–2% в год, а на новых месторождениях - росла на 3–3,5% в год.

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, которые в случае быстрого восстановления цены на нефть смогли бы и дальше наращивать добычу нефти. Страны ОПЕК предпочли на первом этапе оставить вопрос балансировки спроса и предложения рыночным механизмам: низкая цена сделает добычу на дорогостоящих проектах нерентабельной, и предложение сократится. Производители сланцевой нефти уже отреагировали на снижение цен на нефть сокращением объемов бурения на наименее выгодных месторождениях: количество активных буровых установок снизилось почти в два раза.

Следует отметить, что нефтяные цены для многих стран, в том числе и России, являются ключевым фактором, влияющим на макроэкономические показатели и потенциал роста экономи-

ки. В этой связи представляется важным вопрос о том, будет ли сланцевая нефть оказывать большое влияние на нефтяной рынок в течение ближайших 10–15 лет. По прогнозам ряда экспертов, добыча сланцевой нефти может пройти пик уже в 2020–2025 годах. Другие эксперты считают, что доля добычи сланцевой нефти в общемировой добыче будет расти вплоть до 2045–2050 годов. По их мнению, этому будет способствовать развитие технологий добычи и успешность разведочных работ. Однако слабая макроэкономическая среда может привести к сокращению инвестиций не только в США, но и в других странах. При этом запуск в эксплуатацию новых месторождений, которые сейчас находятся на ранней стадии разработки, может быть отложен. Это может негативно сказаться на темпах роста глобальной добычи нефти в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Все эти факторы объясняют большой интерес к исследованиям, направленным на разработку различных количественных методов, в том числе методов математического моделирования, нефтяных рынков и исследование поведения его участников с учетом различных вариантов развития событий и сценариев. Главной целью этих исследований, очевидно, является прогнозирование уровня мировой добычи, спроса и цены на нефть.

2. Методы моделирования рынка нефти

Интерес к моделированию и прогнозированию уровня 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 не возобновляемым 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 [7]. Темп добычи нефти является производной этой функции, а ее график имеет колоколообраз-

ную 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 пик мировой добычи нефти, причём некоторые 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. Пример подобных исследований приведен в работе [7].

В последние годы большое число исследований по прогнозированию динамики добычи нефти и пика добычи проводились с использованием более сложных моделей. Так, например, в [10] предложена модель ACEGES, которая представляет собой агенто-ориентированную модель добычи традиционной нефти для 93 стран. Модель учитывает четыре ключевых фактора неопределенности, а именно: предполагаемый расчетные конечные извлекаемые запасы, оценку роста спроса на нефть, предполагаемый рост добычи нефти и предполагаемую точку пиковой добычи в разных странах. Модель может быть использована для прогнозирования долгосрочных (дискретных и непрерывных) сценариев добычи традиционной нефти. Отметим, что предложенный подход и модель не позволяет прогнозировать нефтяные цены и учитывать их влияние на темпы роста добычи и потребления.

Последние годы усилился интерес к исследованиям в области математического моделирования различных аспектов конкуренции на рынке нефти между производителями традиционной и сланцевой нефти.

В [8] модель ACEGES используется для исследования влияния технологии добычи нетрадиционной нефти на динамику нефтяных рынков. Исследование проведено на примере четырех важных нефтедобывающих странах: Саудовской Аравии, Ирана, Канады и Венесуэлы. На основе полученного вероятностно-

го прогноза делается вывод, что страны, которые богаты обычной нефтью, таковы как Саудовская Аравия и Иран будут оставаться глобальными игроками на нефтяном рынке в течение первой половины 21 века; однако, в течение второй половины 21 века игроки, добывающие нетрадиционную нефть возьмут власть на мировом нефтяном рынке.

В [5] предложена модель, основанная на методологии системной динамики, для исследования сценариев развития производства традиционной и сланцевой нефти в США. Исследуются взаимосвязи между динамикой цены на нефть и изменениями в уровне технологии, объема производственных мощностей (буровых установок) и добычи нефти. Используя статистические данные с рынка сланцевой нефти США было выяснено, что рост цен на нефть приведет к росту добычи сланцевой нефти на существующих скважинах с 3 -5 месяцев лагом. Кроме того, это приводит к более активному росту новых буровых установок с 7-11 месяцев лагом и увеличению добычи нефти с 9-10 месяцев лагом. В целом делается вывод, что сланцевая нефть может получить значительную долю рынка в среднесрочной перспективе, хотя традиционная нефть будет основным источником мирового рынка нефти в долгосрочной перспективе. Полученные результаты позволяют прогнозировать более поздний пик добычи традиционной нефти вследствие увеличения доли сланцевой нефти в ближайшем будущем. Тем не менее, воздействие на окружающую среду сланцевых технологий добычи нефти может привести со стороны правительства к ограничениям на выдачу лицензий на новое бурение, что будет тормозить рост добычи сланцевой нефти.

Следует заметить, что в данной работе цена нефти считается экзогенной переменной (сценарии динамики нефтяных цен задаются заранее). При этом важнейшие вопросы балансирования рынка нефти и ценообразования в данном исследовании также не рассматриваются.

В [9] предложена модель долгосрочного прогноза добычи нетрадиционного нефти, основанная на методе разностных уравнений. Используя различные сценарии мирового потребления нефти, показано, что глобальный пик добычи нетрадицион-

ный нефти произойдет примерно в 2080 году, причем максимальный уровень добычи нетрадиционный нефти составит порядка 50-80 млн. барр. в сутки.

Исследования, проведенные в [4], показывают, пик традиционной нефтедобычи, вероятно, пройдет между 2020 и 2030 годами, и объем традиционной нефтедобычи будет сокращаться после 2025 года. Эти вопросы исследуются с помощью модели системной динамики, которая учитывает альтернативные сценарии спроса на энергетические ресурсы, естественное истощение мировых запасов не возобновляемых источников энергетических ресурсов, а также моделирование рыночных механизмов перехода от традиционных к нетрадиционным способам добычи.

Следует заметить, что результаты прогноза у разных авторов довольно сильно отличаются друг от друга. Так в [4] делается сверх оптимистический прогноз для развития сланцевой нефти. Тогда как другие исследования показывают, что пик добычи сланцевой нефти придется только на вторую половину 21 века.

В [6] анализируются тенденции в области инвестиционной политики в нефтяном секторе с учетом новых вызовов для нефтяных компаний, связанных, прежде всего, с ужесточением требований и ограничений по защите окружающей среды, увеличению налоговой нагрузки для компаний. Кроме того компаниям приходится инвестировать в новые нефтяные проекты с более сложными геологическими условиями, что приводят к существенному повышению инвестиционных издержек, длительности инвестиционного цикла и задержкам ввода в эксплуатацию новых месторождений. В работе построена эконометрическая модель, основанная на использовании техники Arellano-Бонд GMM, которая позволяет анализировать выше перечисленные факторы на инвестиционную политику компаний. Если многие из них негативных факторов, как ожидается, сохранятся и даже усилятся в ближайшем будущем, то ограничения в области увеличения поставок нефти останется доминирующим фактором колебаний цен на нефть.

В [3] исследуется модель спроса и предложения на нефтяном рынке. Спрос на нефть и предложение имеют очень низкую ценовую эластичность, и эта характеристика делает цены на нефть крайне неустойчивыми. Нефтяные цены могут изменяться в более широких пределах, чем цены на другие товары. Кроме того на динамику роста спроса на нефть влияет кредитно-денежная политика на рынке долларовых активов. Проводится анализ денежно-кредитной политики США низких или отрицательных реальных процентных ставок, которая, по утверждению авторов, является дестабилизирующим фактором для нефтяных рынков. В работе показано, что денежно-кредитной политики в области процентных ставок и курс доллара США стимулируют мировой спрос на нефть в условиях ограниченных поставок нефти, что приводит к неадекватным ценам на нефть, которые являются ограничителем для мирового экономического роста.

Цель данной работы состоит в построении макроэкономической модели, позволяющей анализировать связь между выбором игроками своих инвестиционных стратегий и рыночной ценой нефти, которая определяется соотношением спроса и предложения, и, возможными сценариями динамики мирового потребления нефти. Нас будет интересовать исследование поведения цены на нефть в среднесрочной перспективе с учетом нового возмущающего фактора – появления на рынке нефтедобывающих компаний, использующих технологию добычи сланцевой нефти.

Проведение многовариантных расчетов с использованием разработанной модели позволит дать игровой анализ рациональных инвестиционных стратегий игроков и их влияние на процесс поиска рынком равновесия и равновесных цен в зависимости от внешних условий и параметров асимметрии на рынке [1].

3. Модель

Рассмотрим рынок, на котором присутствует N агентов (производителей нефти). Далее рассматривается временной

промежуток (прогнозный период) равный T периодов, $t = \overline{1, T}$. Обозначим через $D(t)$ динамику рыночного спроса на нефть. $D(t)$ - экзогенная переменная, график, изменения которой задается заранее для различных внешних по отношению к модели макроэкономических сценариев.

Пусть $P(t)$ - рыночная цена нефти в период t . Предполагается, что в каждый период времени рыночная цена формируется на основе соотношения спроса $D(t)$ и суммарного предложения со стороны агентов $S(t)$. $S(t)$ определяется в каждый период t как $S(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t)$, где $S_i(t)$ - предложение со стороны агента i , которое определяется его производственной мощностью по добыче нефти. Тогда:

$$(1) \quad P(t) = P(0) \cdot (1 + \gamma \cdot \left(\frac{D(t) - S(t)}{D(t)} \right)).$$

Где $P(0)$ - цена на рынке на начало прогнозного периода (начальные условия). В случае если $D(t) - S(t) \geq 0$ возникает дефицит предложения на рынке и цена растет, в противном случае – избыток предложения и, соответственно, цена падает. Заметим, что суммарное предложение со стороны агентов $S(t)$ зависит от их инвестиционных стратегий, которые определяются в данной модели, в том числе, динамикой рыночной цены на нефть. Параметр γ - эластичность цены нефти по величине превышения спроса над предложением.

3.1. МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ АГЕНТОВ

Производственная мощность агентов. Производственная мощность агента рассчитывается с помощью рекуррентного соотношения $S_i(t) = S_i(t-1) + V_i(t)$. Где $V_i(t)$ - изменение производственной мощности агента i в период t , который зависит от объема ранее сделанных инвестиций. $S_i(0)$ - начальная мощность производства (добычи нефти).

$$(2) \quad V_i(t) = F_i(I_i(t - \tau_i) - I_i^*)$$

Здесь: функция F_i задает зависимость между изменением производственных мощностей агента и, соответственно, его предложением нефти на рынке и объемом инвестиций, $I_i(t)$ – объем инвестиций в развитие производственных мощностей агента i в период t , τ_i - временной лаг между периодом инвестирования и периодом соответствующего изменения производственных мощностей, I_i^* - объем инвестиций, необходимых для поддержания уровня добычи нефти.

Здесь следует пояснить особенность нефтяной отрасли, которая состоит в следующем: если агент инвестирует в развитие производства меньше величины I_i^* , то объем его добычи $V_i(t)$ будет падать с некоторым временным лагом τ_i . И, наоборот, для того что бы производственная мощность агента росла необходимо что бы объем его инвестиций превышал величину I_i^* .

Если $I_i(t) = I_i^*$ то $V_i(t) = 0$;

Если $I_i(t) \geq I_i^*$ то $V_i(t) \geq 0$;

Если $I_i(t) \leq I_i^*$ то $V_i(t) \leq 0$.

Типичный вид функции F_i представлен на рисунке 1.

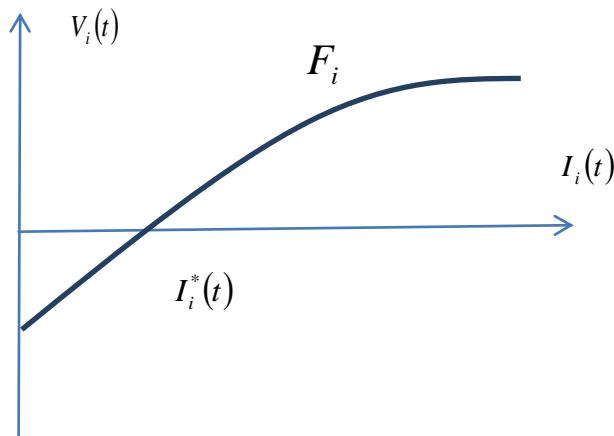


Рис. 1

Инвестиционные стратегии агентов. Далее предполагается, что агенты принимают инвестиционные решения в условиях высокой волатильности рынка и неопределенности относительно прогнозной динамики спроса $D(t)$. Агенты могут наблюдать в каждом периоде t лишь за изменением цены нефти и прогнозировать ее изменение на следующие несколько периодов. Агенты на каждом шаге t принимает инвестиционные решения на основе этой доступной информации в соответствии с некоторым, наперед заданным, алгоритмом, который будет описан далее.

Пусть P_i^* - точка безубыточности агента i , которая равна цене нефти на рынке, при которой прибыль агента равна нулю. Поэтому, если в период t $P(t) \geq P_i^*$, то у агента i прибыль от операционной деятельности положительна и он имеет возможность инвестировать в развитие производственных мощностей и, соответственно, поддержание или увеличение уровня добычи нефти. В противном случае у агента возникают операционные убытки и, соответственно, инвестиции равны нулю.

$$(3) \quad I_i(t) = \omega_i(P(t) - P_i^*)$$

Где функция ω_i задает зависимость между инвестициями агента и разницей между рыночной ценой нефти и его точкой безубыточности.

Подставим выражение (3) в (2), получим:

$$(4) \quad V_i(t) = F_i(\omega_i(P(t - \tau_i) - P_i^*) - I_i^*)$$

Заметим, что в выражении (4) переменной величиной является только $P(t)$, остальные параметры являются константами. Далее, заменим функции F_i и ω_i на функцию μ_i , тогда:

$$(5) \quad V_i(t) = \mu_i((P(t) - P_i^*), I_i^*, \tau_i)$$

Предлагаемый подход состоит в построении функциональной зависимости μ_i на основе анализа рыночного поведения агентов, параметров способа добычи нефти, представленных, например, в таблице 1, и некоторых допущений. Функциональ-

ная зависимость μ_i описывает поведение агентов на рынке в зависимости от динамики цены нефти, которая, в свою очередь, зависит от выбора агентами инвестиционных стратегий и динамики мирового спроса на нефть $P(t)$.

Далее будем предполагать, что функциональная зависимость μ_i задает максимально возможный прирост производственных мощностей агента в зависимости от $P(t)$. Вместе с тем, агенты могут сознательно выбирать уровень своей инвестиционной активности и, соответственно, прирост производственной мощности, и объем предложения нефти на рынке, прогнозируя последствия своего выбора на баланс спроса и предложения. Пусть параметр α_i характеризует инвестиционная активность агента i ($0 \leq \alpha_i \leq 1$). Величины α_i являются параметрами модели, которые могут выбираться агентами.

$$(6) \quad V_i(t) = \alpha_i \mu_i((P(t) - P_i^*), I_i^*, \tau_i)$$

Заметим, что если $\alpha_i = 1$, то агент выбирает агрессивную политику, направленную на максимальное наращивание производственных мощностей по добыче нефти и захвату рынка. Напротив, если $\alpha_i = 0$, то агент сознательно «замораживает» добычу или даже снижает ее, тем самым ослабляет давление на рынок в надежде на более высокие цены.

Заметим, что множество возможных инвестиционных стратегий каждого агента совпадает с множеством точек единичного отрезка. Без потери общности можно рассматривать конечный набор стратегий.

Заметим, что модель (1-4, 6) являются замкнутой и позволяет, задавая на входе параметры модели и сценарии динамики спроса $D(t)$, рассчитать динамику предложения со стороны агентов, изменение их рыночной доли и динамику нефтяных цен.

3.2 КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИЙ

Рассмотрим далее критерии эффективности, которыми руководствуются агенты при выборе своих инвестиционных стратегий. Будем предполагать, что каждый агент заинтересован в выборе такой инвестиционной стратегии (с учетом возможного выбора стратегий конкурентов), которая обеспечит сохранение или увеличение его рыночной доли и, одновременно, максимизацию поступления денег от продажи нефти. Последний критерий важен, так как его максимизация позволяют агентам получать достаточно денежных средств для инвестиций в поддержание и увеличение своих производственных мощностей и, соответственно, уровня добычи нефти.

Критерий 1. Доля рынка. Пусть $B(t)$ - общий объем поставок нефти на рынке в период t , который рассчитывается по формуле: $B(t) = \min\{D(t); S(t)\}$. Предположим, что загрузка производственных мощностей всех агентов одинакова, тогда объем поставок агента i вычисляется следующим образом: $B_i(t) = B(t) \frac{s_i(t)}{S(t)}$. Соответственно, доля рынка агента в каждый период времени равна $m_i(t) = \frac{B_i(t)}{B(t)}$. Критерий 1 может быть выражен следующим образом:

$$(7) \quad m_i(T) \rightarrow \max \quad i = 1, N$$

Агенты стараются максимизация свою рыночную долю в конце прогнозного периода, использую, в том числе, стратегии ценовых войн. В случае конечного набора возможных стратегий агентов задача сводится к анализу матричной антагонистической игры с нулевой суммой.

Критерий 2. Доход от продажи. Вторым критерием эффективности стратегий агентов является общая стоимость поставок нефти за прогнозный период, который вычисляется следующим образом: $Inc_i = \sum_{t=1}^{t=T} P(t)B_i(t)$. Заметим, что агенты в ряде стран являются госкомпаниями и должны учитывать в выборе своих инвестиционных стратегий интересы государства, связанные с пополнением доходных статей бюджета за счет нефтяных доходов. Поэтому, в некоторых случаях, этот критерий

рий в краткосрочной перспективе может быть более важным, чем рыночная доля агентов.

В данной постановке задачи нас будет интересовать в первую очередь агенты двух типов – компании добывающие нефть по традиционной технологии и компании, добывающие трудно извлекаемую (сланцевую) нефть. Поэтому далее будем рассматривать рынок типа дуополия, на котором представлены два агента. Пусть множество инвестиционных стратегий агента 1 ($k = \overline{1, K}$) и агента 2 ($j = \overline{1, J}$). По результатам проведения серии расчетов на модели для каждого сценария $D(t)$ можно построить матрицы выигрыш агентов $Inc_{k,j}^1, Inc_{k,j}^2$.

В этом случае решение задачи сводится к анализу биматричной игры с платежными матрицами $Inc_{k,j}^1, Inc_{k,j}^2$. Даная задача достаточно хорошо исследована. Как известно, условием существования хотя бы одной равновесной точки Нэша в чистых стратегиях (k_0, j_0) является выполнение следующих неравенств:

$$(8) \quad Inc_{k_0, j_0}^1 \geq Inc_{k_j, j_0}^1, k = \overline{1, K};$$

$$(9) \quad Inc_{k_0, j_0}^2 \geq Inc_{k_0, j}^2, j = \overline{1, J}.$$

Если такая точка существует, то она считается решением данной задачи.

Возможность получения решения (равновесной точки Нэша) биматричной игры в чистых стратегиях в общем случае не гарантировано и зависит от свойств матрицы $Inc_{k,j}^1, Inc_{k,j}^2$. Метод решения данной задачи включает проведение серии численных расчетов на имитационной модели, построение платежной матрицы, ее анализ и поиск решения [1].

В смешанных стратегиях равновесная точка всегда существует и может быть найдена различными методами: например, сведением к задаче ЦЛП или к линейной задаче дополнительности. Заметим, что смешанное равновесие Нэша служит не очень «удобной» вариантом решения данной игры, поскольку игровая ситуация разыгрывается только один раз.

Заметим, что платежные матрицы $Inc_{k,j}^1, Inc_{k,j}^2$ задается имитационной моделью, поэтому в качестве основного метода исследования данной задачи будет использоваться методы численного моделирования.

В качестве иллюстрации предложенного подхода в следующем разделе приводятся результаты численных экспериментов с разработанной моделью и игровой анализ результатов. Будет показано, что во многих случаях существует возможность получения решения данной игры (равновесной точки Нэша) в чистых стратегиях, анализ которых позволяет сделать ряд интересных для практики качественных выводов.

4. Моделирование и анализ результатов.

Рассмотрим рынок типа «дуополия», на котором представлены агенты двух типов – компании добывающие нефть по традиционной технологии и компании, добывающие трудно извлекаемую (сланцевую) нефть. Рассматривается прогнозный период с 2016 года по 2031 год (15 периодов).

В расчетах использованы следующие параметры модели:

Предполагается, что в период $t=0$ спрос и предложение на рынке сбалансированы, т.е. $B(0)=D(0)=S(0)$, и равен 90 млн. барр. в сутки. $P(0)$ – равновесная рыночная цена на продукцию, равная 45 долл. США за баррель.

Параметр эластичности цены γ равен 25. Это означает, что при отклонении величины небаланса в период t от равновесного значения (в период $t=0$) на b процентов, соответственно, рыночная цена нефти изменится по отношению к ее равновесному значению, на $25b$ процентов (с тем же знаком). Значение параметра эластичности цены γ оценено в результате анализа данных поквартальной динамики мирового спроса на нефть, поставок со стороны производителей нефти и рыночных цен на нефть за период с 1 кв. 2013 года по 3 кв. 2016 года. Данные представлены на сайте International Energy Agency (<https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic>).

Прогноз динамики мирового спроса на нефть $D(t)$. Международное энергетическое агентство (МЭА) в своем ежегодном исследовании «Прогноз мировой энергетики 2016» рассматривает три сценария развития спроса и предложения на рынке нефти до 2040 года. Основной сценарий учитывает последствия выполнения Парижского договора о сокращение вредных выбросов (Nationally Determined Contributions, NDC) и существенное замедление роста потребления углеводородного топлива в мире. По этому сценарию мировой спрос на нефть к 2040 году возрастет на 12%, до 103,5 млн. барр. в сутки. Наибольшую долю в росте спроса за этот период обеспечат Индия и Китай, при этом Китай станет крупнейшим потребителем нефти, опередив к началу 2030-х годов по этому показателю США. Более консервативный сценарий предусматривает ежегодный рост мирового спроса на нефть до 2030 года в среднем на уровне 1,0-1,5 %. При этом мировой спрос на нефть к 2040 году возрастет до 108,5 млн. барр. в сутки. Наиболее амбициозный сценарий предполагает в ближайшие годы резкий рост количества электромобилей, а также, широкое распространение возобновляемых источников энергии, включая биотопливо. В соответствии с этим сценарием глобальный спрос на нефть достигает пика к 2020 году (на уровне 95 - 96 млн. барр. в сутки), после чего глобальный спрос на нефть будет снижаться.

В расчетах рассматривается два крайних сценария: консервативный (Сценарий 1) и «амбициозный» сценарий (Сценарий 2). Сценарий 1 предусматривает равномерный рост мирового спроса на нефть на уровне 1,5% в год. В Сценарии 2 предполагается, что в период с 2016 по 2020 год происходит рост спроса на уровне 1,0 % в год, в период с 2021 по 2025 годы - стабилизация спроса и, далее, после 2025 года - падение спроса на уровне 1,0 % в год.

Параметр $S_i(0)$ (начальная мощность по добыче нефти).

Агент 1 (традиционная технология добычи нефти) – 86,4 млн. барр. в сутки (или 96% мирового рынка). Агент 2 (технологии добычи сланцевой нефти) – 3,6 млн. барр. в сутки (4% мирового рынка). Эти данные соответствуют фактическому соотношению

Рубрика Сборника (окончательно выбирается редактором)

миро́вой добычи между производителями традиционной и сланцевой нефти в начале 2016 года.

Точка безубыточности P_i^* агентов принята на уровне: агент 1 - 20\$/барр. и агент 2 - 50\$/барр. В соответствии с этим, функциональная зависимость μ_i , задающая значения максимального возможного прироста производственной мощности агентов в зависимости от $P(t)$, представлена в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 Традиционная добыча нефти

Интервал цены нефти, \$/бар.						
0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
Прирост добычи, %						
-5,0%	-0,5%	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%

Таблица 3 Добыча сланцевой нефти

Интервал цены, \$/бар.						
0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140
Прирост добычи, %						
-50,0%	-20,0%	0,0%	20,0%	30,0%	35,0%	40,0%

Временной лаг между периодом инвестирования и периодом соответствующего изменения производственных мощностей τ_i равен: для агента 1 – два периода и агента 2 – один

период. Приведенные данные отражают существенное отличие (асимметрию) параметров модели агента 1 и агента 2. Так, данные приведенные в таблице 3, отражают короткий инвестиционный цикл в секторе сланцевой нефти и способность сланцевых компаний быстро реагировать на ценовые сигналы активно наращивать или сокращать инвестиции и, соответственно, объем добычи и предложения на рынке. Как отмечалось ранее, компании добывающие нефть по традиционной технологии обладают большей инерционностью (таблица 2).

Будем рассматривать три возможные инвестиционные стратегии агентов, задаваемые параметром их инвестиционной

активности α_i : стратегия 1 ($\alpha_i = 1$), стратегия 2 ($\alpha_i = 0,75$) и стратегия 3 ($\alpha_i = 0,5$).

Варьируя заданный набор стратегий агентов для каждого сценария динамики мирового спроса на нефть $D(t)$ с помощью разработанной модели можно построить матрицы выигрышней, соответствующие выбранным критериям эффективности. Критерий 1 – доля рынка каждого агента в % и критерий 2 – суммарная за все периоды стоимость поставленной на рынок нефти (млрд. долл. США).

Сценарий 1. В соответствии с этим сценарием рыночный спрос на нефть на протяжении прогнозного периода растет равномерно с темпом 1,5% в год (рис. 4). Матрицы выигрышней агентов приведены в таблице 4 и 5.

Таблица 4. Матрица выигрышней агента 2 по критерию I (%)

	j=1	j=2	j=3
k=1	13,8	11,5	11,2
k=2	16,5	15,0	12,8
k=3	16,8	16,1	14,7

Таблица 5. Матрица выигрышней по критерию 2 (млрд. \$)

	j=1	j=2	j=3
k=1	87,3\7,7	90,5\7,6	101,4\7,4
k=2	87,4\8,7	95,3\8,8	104,8\8,5
k=3	91,0\10,2	96,4\10,1	108,5\10,0

Первый элемент матрицы (таблица 5) соответствует выигрышу первого игрока, а второй элемент – выигрышу второго игрока. В таблице выделены жирным шрифтом максимальные элементы столбцов матрицы первого игрока и максимальные элементы строк матрицы второго игрока. Анализ полученной матрицы показывает наличие единственной равновесной точки Нэша, которая соответствует выбору агентом 1 инвестиционной стратегии 3, а агентом 2 инвестиционной стратегии 1 ($k=3$ и $j=1$). Элементы матрицы первого и второго игрока в этой точке выделены жирным шрифтом.

При реализации сценария 1 наилучшей стратегией агента 1 с точки зрения критерия 2 является выбор стратегии 3 при любом ответе агента 2. Это означает, что агенту 1 выгодно придерживаться сдержанной инвестиционной стратегии ($\alpha_i = 0,5$), что позволяет ему поддерживать нефтяные цены на достаточно высоком уровне, в интервале 50-70 долл. США за баррель.

Заметим, что при реализации сценария 1, рыночная доля компаний, добывающих сланцевую нефть, при любом сочетании вариантов стратегий игроков, будет существенно увеличена с 4% (2016 год) до 13,8% - 17,1% (2031 год). Если агент 1 хочет минимизировать потерю своей доли рынка из-за агрессивной стратегии агента 2, то он должен выбрать стратегию 1, но при этом потери его по критерию 2 составят около 5%.

Напротив, для агента 2 с точки зрения любого критерия наилучшей стратегией является стратегия 1. Это мы наблюдаем на рынке – сланцевые компании США, как только цена нефти становится выше их точки безубыточности, используют, как правило, агрессивную инвестиционную стратегию, направленную на увеличение добычи и захват доли рынка. Заметим, что в случае реализации сценария 1 агенту 2 удастся существенно потеснить на рынке агента 1 (таблица 4).

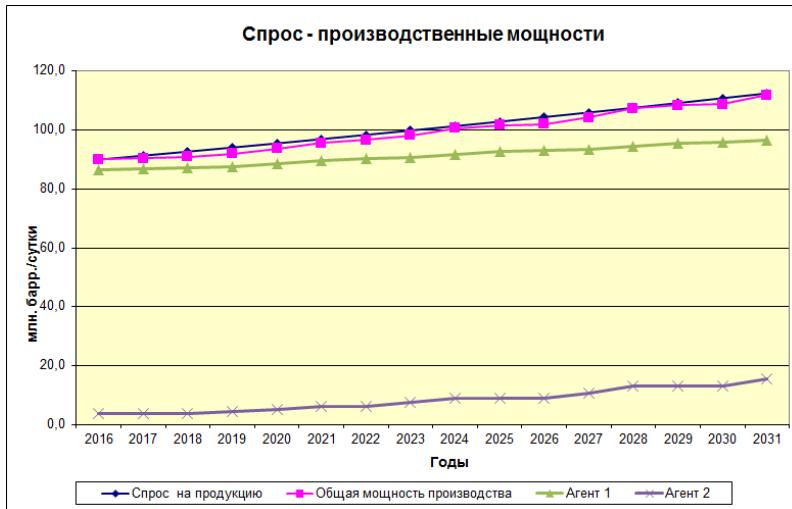


Рис.2 Спрос - производственные мощности, сценарий 1

На рисунке 2 показана динамика предполагаемого рыночного спроса на нефть для сценария 1 и динамики роста производственных мощностей и, соответственно, предложения со стороны игроков (агент 1 и агент 2). На рисунке 4 показана динамика цены на нефть. Колебания цены вокруг значения в 60 долл. США за баррель связаны с выбором сланцевыми компаниями агрессивной инвестиционной стратегии. Колебания графика с периодом примерно в три года объясняется коротким инвестиционным циклом сланцевых компаний. При увеличении цены выше 60 долл. США за баррель сланцевые компании начинают увеличивать инвестиции, что приводит с временным лагом в один год к увеличению предложения нефти и баланс на рынке нарушается, что приводит в свою очередь к соответствующему снижению цены.

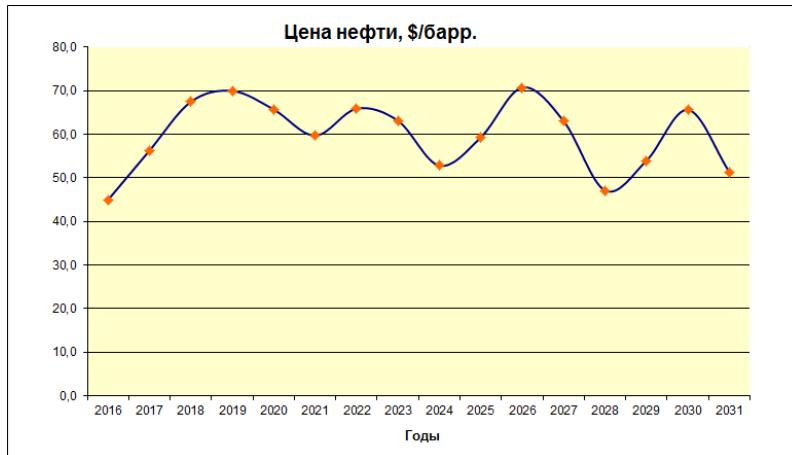


Рис.3 Цена нефти, сценарий 1

На рисунке 4 показана динамика цены нефти для вырожденного случая, когда на рынке отсутствуют компании, добывающие сланцевую нефть. Расчеты показывают, что равновесной ценой нефти в этом случае является цена 90 долл. США за баррель.



Рис.4 Цена нефти, сценарий 1

Сценарий 2. В соответствии с этим сценарием рыночный спрос на нефть в период с 2016 по 2020 год растет с темпом 1,0 % в год, в период с 2021 по 2025 годы – происходит стабилизация спроса (нулевой рост) и, далее, после 2025 года – происходит падение спроса с темпом 1,0 % в год. Матрицы выигрышней агентов приведены в таблице 6 и 7. На рисунке 5 показана динамика предполагаемого рыночного спроса на нефть и динамики роста производственных мощностей и, соответственно, предложения со стороны игроков (агент 1 и агент 2). На рисунке 6 показана динамика цены на нефть.

Таблица 6. Матрица выигрышней агента 2 по критерию 1 (%)

	j=1	j=2	j=3
k=1	1,3	1,7	2,0
k=2	1,5	1,6	1,8
k=3	1,9	2,3	2,9

Таблица 7. Матрица выигрышней по критерию 2 (млрд. \$)

	j=1	j=2	j=3
k=1	56,5\2,2	57,3\2,3	60,0\2,4
k=2	59,0 \2,4	57,9\2,4	59,5\2,5
k=3	57,8\2,8	58,0 \2,8	61,0 \2,8

В таблице 7 выделены жирным шрифтом максимальные элементы столбцов матрицы первого игрока и максимальные элементы строк матрицы второго игрока. Анализ полученных матриц показывает наличие единственной равновесной точки

Нэша, которая соответствует выбору обоими игроками инвестиционной стратегии 3 ($k=3$ и $j=3$).

Это означает, что обоим игрокам выгодно придерживаться сдержанной инвестиционной стратегии ($\alpha_i = 0,5$), что позволит им, даже при неблагоприятной динамике спроса на рынке, поддерживать нефтяные цены до 2025 года на уровне выше 40 долл. США за баррель. Поскольку цена нефти 40 долл. США за баррель значительно ниже точки безубыточности для компаний, добывающих сланцевую нефть, то это приводит к тому, что добыча сланцевой нефти после 2022 года станет убыточной и будет существенно сокращаться.

Анализ результатов расчетов, приведенных в таблице 6, показывает, что при реализации сценария 2 сланцевые компании не смогут конкурировать с компаниями, добывающими традиционную нефть, их рыночная доля уменьшится с 4% (2016 год) до 1,3% - 2,9% (2031 год).

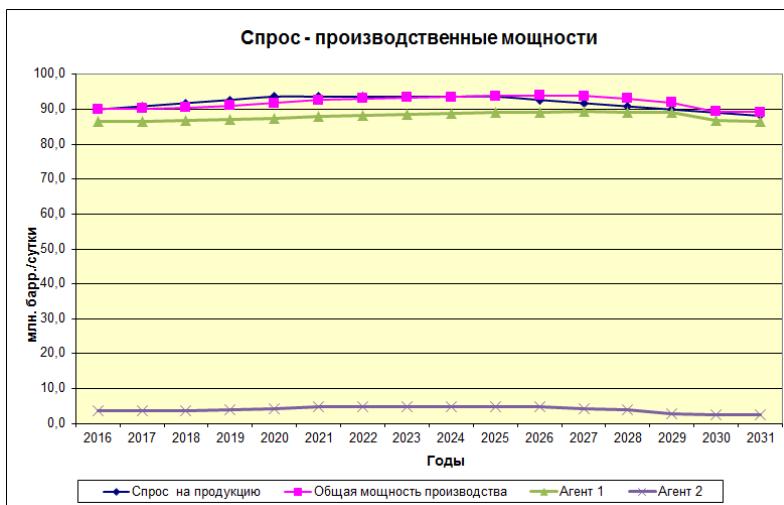


Рис.5 Спрос - производственные мощности, сценарий 2



Рис.6 Цена нефти, сценарий 2

Заметим, что, в соответствии со сценарием 2, пик спроса на нефть будет пройден в период с 2023 по 2025 год. Далее цена нефти будет снижаться более быстрыми темпами и достигнет минимума в 2028 году. По-видимому, все игроки в этой ситуации будут вынуждены сокращать добычу для того, что бы сбалансировать мировой рынок нефти на новых уровнях, что приведет к 2030 году к кратковременному росту цены нефти до уровня 40 долл. США.

Как видно из анализа приведенных данных, сценарий 2 является крайне пессимистичным для нефтедобывающего сектора. После 2025 года многие игроки с высокой точной безубыточности вынуждены будут уйти с рынка. Оставшимся игрокам придется сокращать инвестиции в поддержание добычи и новые проекты, что будет приводить к сокращению предложения на рынке, что будет приводить к поиску нового ценового равновесия в условиях сокращения мирового спроса на нефть и замену ее новыми, альтернативными источниками энергии.

4. Заключение

Рассмотрена задача оценки и выбора инвестиционных стратегий нефтедобывающих компаний в условиях конкуренции

между компаниями с традиционным и нетрадиционным способом добычи. Задача сведена к анализу биматричной игры, в которой матрица выигрышей формируется в результате численного моделирования. Метод решения данной задачи включает проведение серии численных расчетов на разработанной имитационной модели, построение платежных матриц для различных сценариев и их анализ.

Результаты моделирования показывают, что, при благоприятном сценарии мирового спроса на нефть (сценарий 1), нетрадиционная нефть может получить значительную долю рынка в среднесрочной перспективе, хотя добыча традиционной нефти оставаться основным источником поставок на мировой рынок нефти. К 2019–2020 годам проекты сланцевой нефти, которые сейчас только планируются, могут стать ключевой частью кривой предложения, причем уровень безубыточности этих проектов составит 55-60 долл. США за баррель. Вероятно, в среднесрочной перспективе равновесная цена на нефть будет колебаться около этого уровня. В случае реализации сценария 2 избыток предложения нефти по сравнению со спросом может привести к раннему пику для обычной нефти и существенному снижению нефтяных цен.

Следует заметить, что, рассмотренная в работе модель, значительно упрощена и не учитывает некоторые существенные факторы, в том числе, возможное изменение точки безубыточности вследствие перехода компаний к разработке более затратных месторождений, а также совершенствование технологий добычи, приводящее к сокращению затраты на разработку и добычу нефти. Кроме этого, большой интерес представляет решение исследуемой задачи с учетом соотношения динамики истощения разведанных запасов нефти и естественного снижения ее добычи и сокращения мирового спроса на нефть.

Литература

1. АКИНФИЕВ, В. К. *Моделирование инвестиционных стратегий компаний в условиях неопределенности /*

- Управление большими системами. Выпуск 61. М.: ИПУ РАН, 2016. С.136-167.
2. ПОЛЯКОВА, Т. В. *Перспективы развития добычи сланцевых углеводородов в Северной Америке*. Вестник МГИМО Университета, Выпук№ 1 (34) /2014 с. 97-105
 3. ASKARI, H.KRICHENE, N. *An oil demand and supply model incorporating monetary policy*. Energy, Volume 35, Issue 5, May 2010, P. 2013–2021.
 4. GREENE, D.L., HOPSON, J.L., LI, J. *Have we run out of oil yet? Oil peaking analysis from an optimist's perspective*. Energy Policy 34, 2006, - P. 515–531.
 5. HOSSEINI, S.H. SHAKOURI G, H. *A study on the future of unconventional oil development under different oil price scenarios: A system dynamics approach* / Energy Policy 91, 2016,- P. 64–74.
 6. HVOZDYK, L. MERCER-BLACKMAN, V. *What Determines Investment in the Oil Sector? A New Era for National and International Oil Companies*. IDB working paper series (IDB-wp-209), Inter-American Development Bank. 2010, p. 46.
 7. MAGGIO, G.Ã., CACCIOLA, G., *A variant of the Hubbert curve for world oil production forecasts*. Energy Policy 37, 2009, - P. 4761–4770.
 8. MATSUMOTO, K.Ã., VOUDOURIS, V., *Potential impact of unconventional oil resources on major oil-producing countries: scenario analysis with the ACEGES model*. Nat. Resour. Res. 24, 2015, -P. 107–119.
 9. MOHR, S.H., EVANS, G.M. *Long term prediction of unconventional oil production* / Energy Policy 38, (2010) 265–276.
 10. VOUDOURIS, V. DI MAIO, C. *ACEGES 1.0 Documentation: Simulated scenarios of conventional oil production*. London Metropolitan Business School, Working Papers Series No. 12, August 2010, p. 14.
(<http://ssrn.com/abstract=1652361>)

A MODEL OF COMPETITION BETWEEN OIL COMPANIES WITH CONVENTIONAL AND UNCONVENTIONAL OIL PRODUCTION

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

Abstract: This paper examines the problem of investment strategies choice of oil companies with conventional and unconventional oil production. A mathematical model describing the relationship between the oil companies' investment strategies and the oil price, which depends on the ratio of supply and demand on the world oil market. Solution is reduced to the analysis of a bimatrix game, where in the payoff matrix is formed by numerical simulation. We present an illustrative example of the proposed approach.

Keywords: investment strategies, mathematical model, competition in the oil market, bimatrix game.

*Статья представлена к публикации
членом редакционной коллегии ...заполняется редактором...*

*Поступила в редакцию ...заполняется редактором...
Опубликована ...заполняется редактором...*