

В. М. Маркова, Л.С. Марков, Д. Д. Котёлкин

Институт экономики
и организации промышленного производства СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 17, Новосибирск, 630090, Россия

Новосибирский государственный университет ул.
Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия

E-mail: Markova_vm@mail.ru; leomarkov@mail.ru; kdd92@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ АГЕНТ-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УГЛЕЙ *

Построенная эволюционная согласующаяся с историей агентная модель предполагает описание динамики производства энергетического угля на уровне отдельного агента и популяции в целом. Модель основана на принципе постепенного усложнения ее функциональности, включения различных блоков, учитывающих изменение внутренних и внешних условий (вход новых агентов, инновационный процесс в отрасли, различные виды ограничений на спрос). Проведена калибровка модели и показана ее адекватность для прогнозирования. Изучено влияние различных экономических, институциональных условий на структуру и динамику отрасли.

Ключевые слова: агент-ориентированная модель, производство энергетических углей, угольный кластер, конкуренция.

В работах по прогнозированию развития систем ТЭК важное место занимают исследования соотношения возможностей по производству энергоресурсов и потребностей в них. Как правило, для выполнения таких исследований используются оптимизационные балансовые модели. Исследования носят итерационный многовариантный характер, часто используется комбинаторный подход, т. е. методом перебора считается большое число вариантов, из которых выбираются наиболее подходящие (удовлетворяющие определенным условиям). В данной работе предлагается использовать методы имитационного моделирования (ИМ), а именно агент-ориентированную модель (АОМ) взаимодействия производителей энергетического угля.

Агент-ориентированные модели являются инструментарием эволюционного подхода в экономике. Данный подход предполагает, что агенты-фирмы в любой период обладают разнообразными потенциальными возможностями, процедурами и правилами принятия решений, которые определяют их действия в зависимости от внешних условий. При этом фирмы осуществляют сознательные целенаправленные действия: занимаются разнообразным поиском, в ходе которого они обнаруживают, рассматривают и оценивают возможные способы ведения дел.

Большинство существующих экономических АОМ проводят проверку теоретических гипотез на условных примерах, и лишь небольшая часть из них имеет прикладной характер, изучает реальные экономические процессы. К такого рода моделям относятся *history-friendly models* (HFM) – «согласующиеся с историей». HFM направлены на изучение гипотез о меха-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта № 12-12-54004а «Системный подход к идентификации и моделированию региональных промышленных кластеров».

низмах и факторах, влияющих на отраслевую динамику, технологический прогресс, институциональные изменения, структуру спроса. В ряде работ убедительно показаны преимущества НФМ как инструмента, объясняющего отраслевую эволюцию, например, для компьютерной отрасли – возникновение доминирующей фирмы и, как следствие, внедрение новой технологии, открывающей новый сегмент рынка [1; 2], а также для фармацевтической [3], для отрасли, производящей оперативную память для компьютеров и жидкокристаллические мониторы [4], представлены и другие модели [5; 6]. НФМ позволяет увязывать формальную теорию и эмпирические доказательства. НФМ включают в себя три шага: 1) описание эволюции экономической системы (отрасли) на основе наблюдаемых фактов и оценочных предположений; 2) построение модели, воспроизводящей историю при определенном наборе параметров; 3) получение базовой (приемлемой) исторической траектории и моделирование гипотетических ситуаций, расходящихся с фактической историей объекта.

В работе [7] мы предприняли попытку создания такой модели применительно к отрасли производства энергетических углей, в ней детально описаны концептуальная схема модели, агенты и правила поведения. В настоящей работе мы остановимся на вопросах использования построенной модели для прогнозирования развития указанной отрасли.

В российской литературе для отраслей топливно-энергетического комплекса существуют немногочисленные работы, в которых рассматриваются АОМ. С. А. Суслов и др. [8], модифицируя известную модель Басса, в качестве агентов модели рассматривают потребителей энергоресурсов (неоднородных как по размерам, так и по предпочтениям в потреблении) и моделируют процессы принятия агентами решений по выбору того или иного типа энергоресурсов. Авторы оперируют параметрами инерционности, ценами на ресурсы, степенью доверия к информации, получаемой от других агентов. Интересная задача поставлена в работе Д. А. Новикова и М. А. Ушакова [9] с целью увязать традиционные оптимизационные модели развития ТЭК с агентным подходом. Авторами рассматриваются в качестве агентов отдельные хозяйствующие субъекты (крупные объекты добычи и транспортировки ТЭР и потребители в виде территорий), задается сеть взаимодействия между ними (от нескольких десятков до сотен узлов модели – условных географических точек) через балансы потоков ресурсов. Развитие мощностей и структуры ТЭК осуществляется за счет выбора агентами инвестиционных альтернатив. В работе Чинь Куанг Чунг [10; 11] также выполняется согласование оптимизационных моделей с агентными для моделирования структуры и объемов межрегиональных поставок углей. Однако в публикациях основной акцент делается именно на этот процесс согласования и иллюстрации с помощью АОМ прогнозов развития отрасли, полученных из оптимизационных моделей. Достаточно много исследований, применяющих АОМ для анализа и прогнозирования характеристик энергетических сетей (см., например: [12; 13] и др.). Данные модели посвящены увязке развития территориальных электроэнергетических систем, оценке их интеграционных связей, развития электросетей с учетом неопределенности и многокритериальности (оценка принятия решений по вводу новых энергетических объектов, согласование режимов работы и пр.). Тем не менее все эти работы не приводят данные по фактическим расчетам на основе предлагаемых моделей, ограничиваясь лишь общей постановкой задачи. Тем более речь не идет о каких-либо прогнозных расчетах.

Развитие угольной отрасли с точки зрения эволюционной теории можно рассматривать как популяцию гетерогенных экономических агентов, конкурирующих между собой. Предлагаемая нами модель предполагает описание динамики производства энергетического угля на уровне отдельного агента и популяции в целом. Адекватность эволюционного моделирования будет оцениваться на основании близости фактических и модельных характеристик: динамики совокупных и частных объемов производства.

В качестве ключевой гипотезы о взаимодействии и взаимосвязанности участников угольного кластера принимается предположение об их конкуренции на рынке конечной продукции. Мы полагаем, что продуктовая конкуренция, обусловленная соревнованием производителей компаний, служит основным фактором, определяющим развитие кластера угольных производств на перспективу.

В основании макроуровня нашей модели лежит предположение, что эндогенно формируемое совокупное предложение на рынке энергетического угля во взаимодействии с экзо-

генно задаваемой функцией спроса обуславливают тенденцию изменения цены на продукцию в каждый период времени.

Показатели совокупного предложения отрасли и единой рыночной цены выступают основными эндогенными / расчетными переменными, посредством которых осуществляется взаимная увязка макро- и микроуровней модели:

- совокупное предложение по определению представляет собой суммарный выпуск продукции агентами системы и участвует в формировании модельной единой цены на рынке энергетических углей;
- текущая рыночная цена влияет на производительность агентов и, как следствие, на изменение размеров мощностей, уровень их загрузки и объем выпуска каждого агента в следующий период.

Наш агент-ориентированный подход к моделированию предполагает формирование совокупного предложения снизу. Объем производства продукции каждым агентом в конкретный момент времени выступает ключевой характеристикой микроуровня системы, основным моделируемым показателем. В дальнейшем на его основании оценивается структурная адекватность модели.

Каждый агент на определенном шаге имеет информацию о своих производственных возможностях, степени их использования и относительной конкурентоспособности (выраженной в показателе рентабельности продаж), определяющей и изменение количества мощностей, и уровень их загрузки (КИМ - коэффициент использования мощностей). Также он имеет представление о размере совокупного спроса на продукцию отрасли в предыдущем периоде и о своей доле на рынке. Основываясь на этих данных, компании определяют объем выпуска продукции в текущий период. Более детально предлагаемая нами модель описана в [7]. Мы остановимся на вопросах возможности прогнозирования с помощью разработанной модели макро- и микроуровня модели при различных сценариях.

Задача данной работы заключается в поиске ответа на вопрос: возможно ли с достаточной точностью прогнозировать отраслевую динамику, исходя из знания:

- текущих технологических-экономических характеристик предприятий;
- прогнозных оценок функции спроса на продукцию отрасли;
- правил поведения агентов, определяемых посредством конкуренции их сравнительных производительностей.

Адекватность модели оценивалась на основании макро- и микропрогноза. Проверка осуществлялась посредством сравнения фактических и модельных данных об объемах производства выделенных агентов за 2009-2011 гг. и совокупном выпуске отрасли за 2005-2011 гг. Дополнительно проводилась сверка полученных модельных данных с прогнозом Энергетической стратегии РФ-2030 [14; 15] \ Мы провели сравнение средней абсолютной ошибки прогноза для базовой модели НФМ 2005-2011 гг. в сравнение с данными стратегии и вариантом развития отрасли при сохранении структуры рынка, сложившейся в 2005 г.

В целом модель продемонстрировала способность адекватно отражать макроповедение популяции агентов (динамику объемов производства отрасли), выражающуюся в близости модельных и фактических абсолютных значений производства угля и в их динамике, а также в динамике совокупных мощностей и среднего коэффициента загруженности последних. Полученные модельные показатели микроуровня (производства угля в разрезе выделенных агентов) продемонстрировали достаточно хорошую близость к фактическим данным (табл. 1). Для оценки точности прогноза использовалось среднее квадратов отклонений реальных и прогнозных показателей по популяции агентов.

Для проверки устойчивости поведения модели нами проводилось несколько экспериментов симуляции, на основании которых высчитывались средние ошибки прогнозов и характеристики структуры. Из данных табл. 1 видно, что на более длительном интервале прогнозирования некоторые из оценок улучшаются, что объясняется замедленным откликом модели,

¹ См. также: Итоги работы угольной промышленности России за 2005–2011 гг.: Аналитические обзоры. URL: www.ugolinfo.ru (дата обращения 01.02.2013). Эти официальные документы разрабатывались в 2006–2008 гг. В качестве точки отсчета (базового года) в них учитывался 2005 г.

так как не всегда агенты в модели могут адекватно отреагировать на внешние изменения за малое число шагов.

Далее мы рассмотрим вопросы планирования и проведения модельных экспериментов. С помощью построенной модели возможно изучение поведения системы (или ее отдельных агентов) при различных эндогенных и экзогенных условиях – при экономических, регуля-торных, институциональных и прочих ограничениях.

Чтобы понять, может ли откалиброванная по прошлым данным модель служить адекватным инструментом предсказания макро- и микродинамики, и исследовать прогностические возможности модели, мы варьировали условия спроса и начальные состояния агентов, оставляя без изменений модельную часть – правила поведения агентов, сформулированные ранее.

На первом этапе проверки прогностической ценности модели мы оставили без изменения стартовый год (2005) вместе с соответствующими состояниями агентов, но изменили «горизонт» ретропрогноза, последовательно смещая его в 2010 и 2009 гг., таким образом изменяя экзогенный параметр – темп роста спроса.

Прогнозы для моделей 2005–2009, 2005–2010 и 2005–2011 гг. продемонстрировали схожесть изменения фактических и модельных данных. Траектории развития трех разных периодов не претерпевают значительных изменений, что свидетельствует об адекватности модели макроуровня. Прогноз более долгий по времени обязательно включает в один из вариантов развития – наиболее вероятную траекторию более краткосрочного прогноза. Аналогичные результаты дает проверка модели на микроуровне. В табл. 2 приведены характеристики полученных прогнозов на микроуровне по указанным моделям трех периодов.

Следующий этап проверки прогностических возможностей модели предполагал изменение наряду с темпом спроса и стартовых условий агентов (в качестве базового года был выбран 2009 г.). Точность модельных построений существенно не меняется и сохраняется адекватность модели на макро- и микроуровне.

Далее мы изменили стартовые условия (2009 г.) и темп роста спроса и строили прогноз на более длительную перспективу – до 2030 г., который сверяли с существующим прогнозом, согласно действующим в отрасли официальным документам (Энергетическая стратегия РФ до 2030 г. и Долгосрочная программа развития угольной промышленности РФ до 2030 г.) [15; 16]. Правила поведения агентов при этом оставались неизменными.

Характерно, что все прогнозные значения «Стратегии...» лежат в местах наибольшей плотности вероятных траекторий системы, что говорит о высоком шансе их реализации. Таким образом, наш прогноз (а исходные данные для нашей модели датировались годом разработки Стратегии) и Стратегия косвенно подтверждают друг друга, а модель остается адекватной. Выполненный прогноз до 2030 г. продемонстрировал несколько возможных траекторий системы (рис. 1).

Таблица 1

Показатели ошибки прогноза модели 2005–2011 гг.

Показатель	Среднее квадратов отклонений, абс. ед.		
	2009	2010	2011
Стратегия от факта соответствующего года	5,0	3,3	4,6
Прогноз при сохранении структуры рынка 2005	2,4	2,7	5,9
Модель от факта соответствующего года	1,7-2,1	1,6-1,9	3,3-3,8

Таблица 2

Оценка точности моделей на микроуровне

Показатель	Годы		
	2005-2009	2005-2010	2005-2011
Среднее квадратов отклонений, абс. ед.	1,8-2,3	1,6-1,9	3,3-3,8
Верно предсказанных тенденций, %	57,0	73,5	81,8

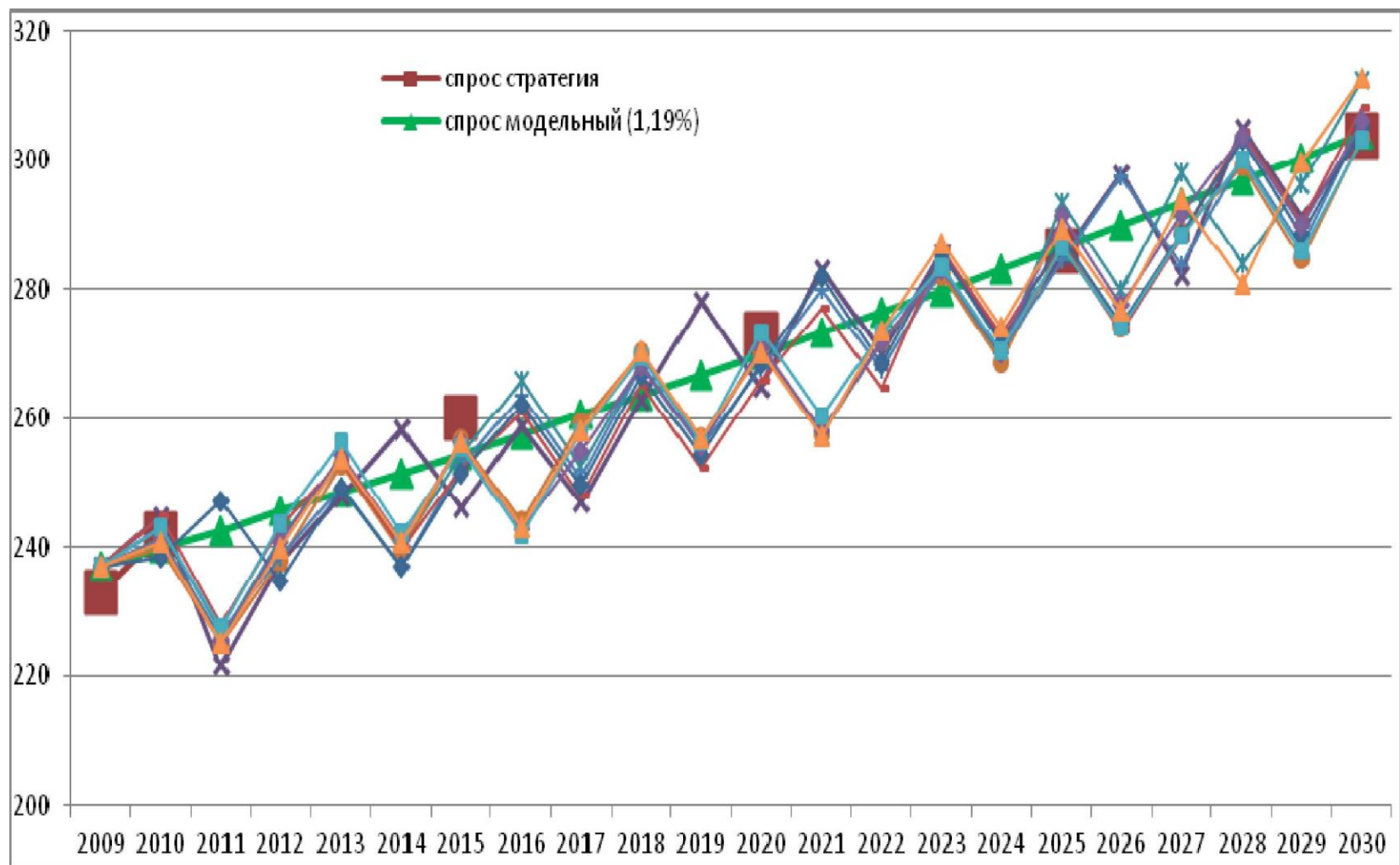


Рис. 1. Траектории макродинамики при растущем спросе (1,19 %), 2009–2030 гг.

В ряде прогонов макродинамика системы имела несколько иную траекторию: кризисы случаются в другие годы. Данное поведение имитационной модели можно рассматривать как аналог точки бифуркации, когда незначительные изменения состояния системы могут привести к появлению альтернативных ветвей эволюции. Попадание (на определенном шаге) значения функции спроса в интервал разброса совокупного производства отрасли, как следствие, ведет к раздвоению траектории развития в соответствии с правилами поведения агентов.

Важным моментом моделирования является оценка изменения структуры отрасли. Первоочередным объектом нашего интереса являлся сибирский кластер угледобывающих производств, так как роль СФО (а в нем велико значение Кемеровской области) остается весомой в угледобыче России на протяжении длительного времени. Хотя территориально добыча угля осуществляется в 25 субъектах РФ, более 55 % из общей добычи энергетических углей добывается в Кемеровской области, в целом же по регионам СФО добыча составляет более 83 %. С учетом значимой роли Кемеровской области для нас представляет интерес изучение двух групп предприятий, относящихся к Кузбассу (ядро угледобывающей промышленности Сибири) и к прочим Сибирским регионам. Предприятия прочих регионов РФ служат в некотором роде фоном для сибирских агентов.

В целях моделирования 187 угольных предприятий (из них более $\frac{2}{3}$ расположено в Сибири) были агрегированы в 34 агента: предприятия Кемеровской области представлены 19 агентами, прочие предприятия СФО – 10, прочие предприятия РФ – 5. Данное выделение проводилось на основе близости характеристик производительности (переменных издержек и фондоемкости продукции) образующих его предприятий, помимо технологических различий, учитывался способ добычи, холдинговая и территориальная принадлежность. Далее оценку изменения структуры отрасли мы будем проводить в разрезе выделенных групп.

По результатам нескольких прогонов выявлено, что в среднем доля Кузбасса сохраняется на уровне 54–56 % от совокупной добычи при росте абсолютного уровня добычи. Данный структурный прогноз отражает возможное развитие ситуации при сохранении современного уровня технико-экономических показателей агентов. Происходит перераспределение долей от прочих европейских производителей в традиционные и новые районы добычи Сибири. При этом добыча прочих сибирских предприятий растет несколько быстрее, чем предприятий Кузбасса, и составляет в среднем 1,8 % в год.

Как видно из табл. 3, прогноз по модели имеет расхождение с прогнозом, заложенным в ДПРУП-2030. Это связано с тем, что в программе предполагается жесткое экологическое ограничение на добычу энергетических углей в Кемеровской области на уровне 133 млн т, что в итоге приводит к сокращению доли предприятий Кузбасса до 44 %.

На основе рассмотренной модели возможно включение различных блоков, учитывающих изменение внутренних и внешних условий (вход новых агентов, инновационный процесс в отрасли, различные виды ограничений на спрос), и проверка различных гипотез о поведении всей системы. Модель основана на принципе постепенного усложнения ее функциональности: модели каждого следующего типа включают в себя элементы моделей предыдущих типов и могут отражать отдельные свойства исследуемой гипотезы. В результате такого построения можно провести анализ как отдельных факторов, так и их совокупности.

В качестве одного из сценариев развития угольного рынка мы рассмотрели влияние стимулирования спроса на энергетические угли. Можно предполагать, что при разных темпах роста спроса, траектории развития совокупного предложения будут иметь циклы различной длины. Интерес представляет генерация гипотетических ситуаций, когда происходит стимулирование спроса на уровне темпа 3–4 %, сложившегося в 2009–2012 гг., и нулевого темпа роста спроса в случае стабилизации спроса на уровне 2009 г.

При отсутствии стимулирования внутреннего потребления и при неблагоприятной внешней рыночной конъюнктуре возможна стабилизация спроса на энергетические угли на уровне объемов 2009 г. В эти условиях будет происходить быстрое выбытие / сокращение добычи неэффективных агентов, что приведет к изменениям рыночной структуры. При неизменном на всем рассматриваемом периоде спросе колебания совокупного предложения будут более частыми (рис. 2).

Таблица 3

Характеристики прогнозных показателей добычи в разрезе трех агрегатов агентов (среднее по прогонам)

Агрегат агентов	2009 г., факт	2030 г., стратегия	2030 г., модель			
			Объем добычи угля (млн т)	Мин-Макс 2030 г.	Среднегодовой темп роста добычи (%), 2009–2030 гг.	Процентное изменение до- бычи от уровня 2009 г.
Предприятия Кузбасса	130,3	133,0	174,7	167,4-179,2	1,4	34,2
Прочие предприятия СФО	72,5	119,1	105,3	101,6-109,0	1,8	45,2
Прочие предприятия РФ	33,2	49,3	33,6	32,1-35,2	0,1	1,1
	Структура производства (%)		Мин-Макс 2030 г.	Изменение доли рынка (%) 2009–2030 гг.	Процентное изменение доли рынка от 2009 г.	
Предприятия Кузбасса	55,2	44,1	55,7	54,2-56,6	0,5	0,9
Прочие предприятия СФО	30,7	39,5	33,6	32,8-34,5	2,8	9,3
Прочие предприятия РФ	14,1	16,4	10,8	10,1-11,4	-3,3	-23,7

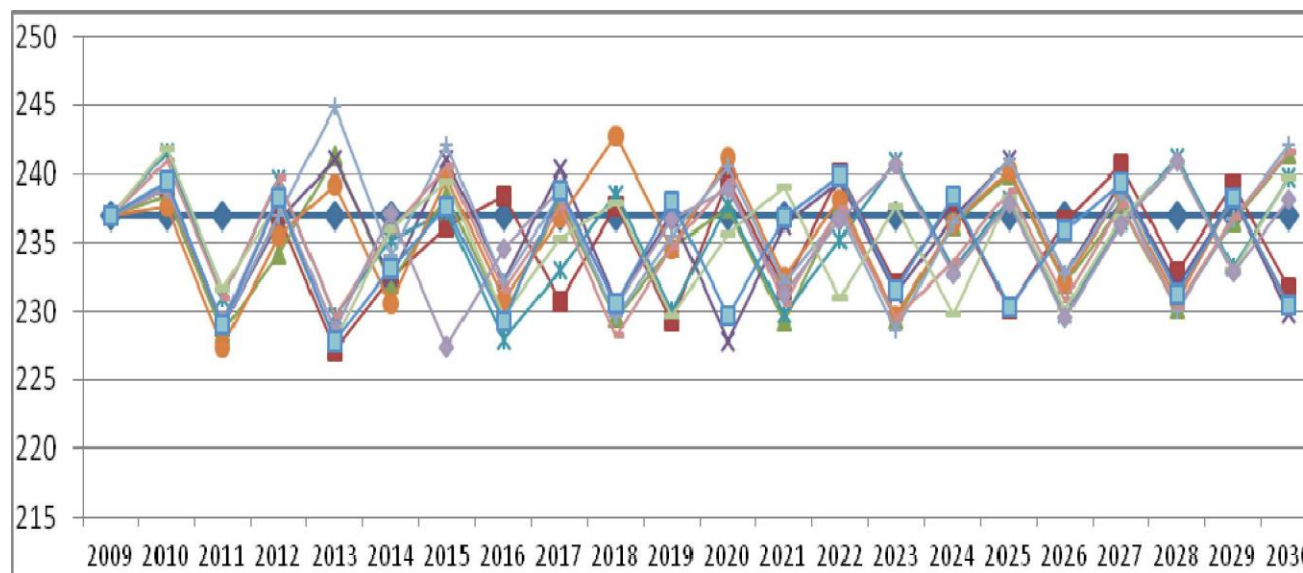


Рис. 2. Траектории макродинамики при стабильном спросе (на уровне 2009 г.)

Таблица 4

Характеристики прогнозных показателей добычи в разрезе трех групп агентов при различных сценариях, 2030 г. *

Группа агентов	2009 г. факт	Растущий спрос (1,2 %)	Стабильный спрос (уровень 2009 г.)	Вход новых агентов (при темпе роста спроса 1,2 %)	Возможность инноваций (темп роста спроса 1,2 %)
Предприятия Кузбасса	<u>130,3</u> 55,2	<u>174,7</u> 55,7	<u>131,13</u> 55,4	<u>149,7</u> 49,3	<u>170,6</u> 55,5
Прочие предприятия СФО	<u>72,5</u> 30,7	<u>105,3</u> 33,6	<u>77,73</u> 32,9	<u>21,8</u> 7,2	<u>102,4</u> 33,3
Прочие предприятия РФ	<u>33,2</u> 14,1	<u>33,6</u> 10,8	<u>27,66</u> 11,7	<u>130,3</u> 55,2	<u>34,2</u> 11,5
Новые агенты	-	-	-	<u>34,1</u> 11,2	-

В числителе значение выражено в миллионах тонн, в знаменателе – в процентах.

Как видно из табл. 4, в ситуации стабильного спроса, объемы добычи предприятий Кузбасса сохраняются на уровне 2009 г. при значительном сокращении добычи в прочих регионах РФ и росте добычи в других регионах Сибири. В отличие от ситуации роста спроса в данной постановке доля прочих регионов РФ хотя и снизилась не столь значительно (11,7 против 10,8 %), но при этом агенты были вынуждены сократить мощности и коэффициенты их использования.

Длительность естественных циклов отрасли, обусловленных коррекцией объемов производства, при заложенных в модель предположениях составляет 1–2 года при отсутствии роста спроса и 4–7 лет при 3–4 % росте.

Ранее при выполнении прогонов в модели мы не предусматривали вход новых агентов на рынок. В перспективе развитие (увеличение) добычи энергетических углей возможно как в освоенных районах угледобычи, так и в новых районах. Освоение новых месторождений угля (новые агенты) будет влиять на доли рынка «старых» агентов как в ситуации растущего спроса, так и в ситуации стагнирующего спроса. Сроки ввода и предполагаемые мощности новых месторождений определены инвестиционными планами угольных компаний (Хакасия, Хабаровский край, Забайкальский край, Кемеровская обл.). Использование современного оборудования при реализации данных проектов обуславливает более низкий, чем у действующих предприятий, уровень затрат. Данные проекты предполагают объем добычи на уровне 3–9 млн т.

С учетом известных ориентировочных сроков ввода в эксплуатацию новых месторождений в модель было заложено правило возникновения новых агентов с заданной периодичностью. В табл. 4 представлена структура добычи в разрезе «старых» и новых агентов при растущем спросе (1,2 %).

В период до 2030 г. возможно освоение 4–5 новых месторождений энергетических углей, их доля в совокупной добычи может достичь 11 %, при этом вызывая сокращение доли рынка всех остальных агентов. Однако если абсолютные объемы добычи Кузбасса и прочих регионов Сибири при этом растут, прочие регионы РФ очень значительно сокращают свою

добычу (см. табл. 4). Совокупное предложение демонстрирует траектории, схожие с траекториями прогонов без входа новых агентов.

Значимой мерой влияния на структуру отрасли может стать инновационный процесс. Хотя угольная отрасль не является высокотехнологичной, тем не менее внедрение инноваций, улучшающих технико-экономические показатели добычи, происходит регулярно. Чаще всего происходит увеличение производительности труда и снижение себестоимости на предприятиях - лидерах отрасли, чей опыт в дальнейшем копируют с временным лагом прочие предприятия. Нами было заложено правило инновационного поиска агентами, предусматривающее периодическое улучшение переменных издержек и фондоемкость оборудования агентов. Агенты в каждый момент времени занимаются поиском новых технологий, позволяющих улучшить производственные показатели, отчисляя долю от прибыли на данный поиск. Агент обнаруживает все множество технологических возможностей одновременно, и это множество имеет характеристики, близкие к исходному технологическому уровню фирмы. Вероятность принятия технологии обратно пропорциональна ее эффективности. Использование инноваций позволяет неэффективным агентам сохранять достигнутый ранее уровень добычи и не столь значительно сокращать свою долю рынка (см. табл. 4).

Интересным моментом стала проверка ограничения, заложенного в Долгосрочной программе отрасли ограничения на добычу в Кемеровской области. В перспективе до 2030 г. в Кемеровской области развитие добычи энергетических углей может быть стабилизировано на текущем уровне (140 млн т в связи с экологическими и транспортными ограничениями). Искусственное ограничение на суммарную добычу кемеровского кластера приводит к перераспределению объемов добычи и долей рынка как внутри кемеровского кластера, так и между агентами.

Итак, построенная эволюционная согласующаяся с историей агентная модель объясняет развитие экономической системы исходя из конкуренции на продуктовом рынке. Показана пригодность гипотезы о конкуренции как определяющем факторе эволюции горизонтальной системы в перспективе.

Агент-ориентированное моделирование продемонстрировало возможность микро- и макропрогнозирования при оперировании сравнительно небольшим объемом данных - знании фактических характеристик агентов в начальный момент времени и линейного предположения о динамике спроса. Это позволяет рассматривать предложенный подход в качестве методики экспресс-прогноза отраслевой и структурной динамики, выгодно отличающейся «легкостью» реализации и возможностью использования на практике.

В настоящем виде модель позволяет:

- выявлять альтернативные траектории развития системы и оценивать вероятность их реализации;
- описывать кризисы и оценивать продолжительность естественных циклов системы;
- строить структурные прогнозы системы и оценивать разного уровня агрегации.

Проведенные эксперименты с моделью с позиций учета различных темпов роста спроса, простейшего инновационного поиска и входа новых агентов продемонстрировали изменение структуры агентов.

В результате прогонов показано, что в среднем доля Кузбасса сохраняется на уровне 54-56 % от совокупной добычи при росте абсолютного уровня добычи. Данный структурный прогноз отражает возможное развитие ситуации при сохранении современного уровня технико-экономических показателей агентов. Происходит перераспределение долей от прочих европейских производителей в традиционные и новые районы добычи Сибири. При этом добыча прочих сибирских предприятий растет несколько быстрее, чем кузбасских, и составляет в среднем 1,8 % в год.

Проведенные эксперименты с моделью с позиций учета различных институциональных и экономических условий (темпов роста спроса, простейшего инновационного поиска и входа новых агентов) продемонстрировали их влияние на изменение структуры системы. Показано, что при стабилизации спроса на уровне 2009 г. предприятия Кузбасса сохраняют свою долю рынка при существенном сокращении доли прочих предприятия РФ. Освоение новых

месторождений угля (вход новых агентов) оказывает существенное влияние на доли рынка «старых» агентов, как в ситуации растущего спроса, так и в ситуации стагнации. Использование инноваций позволяет неэффективным агентам сохранять достигнутый ранее уровень добычи и не столь значительно, как в ситуации без инноваций, уменьшать свою долю рынка. Предприятия сибирского кластера в целом во всех сценарных прогонах наращивают свою долю, вытесняя с рынка прочие предприятия России.

Дальнейшие эксперименты с моделью возможны в направлениях учета различных типов рынков (внутренний и внешний) с детализацией потребителей, учетом качества продукции, режимов инновационного поиска, влияния среды и прочих мер институционального регулирования.

Список литературы

1. *Malerba F., Nelson R., Orsenigo L., Winter S.* «History-friendly» Models of Industry Evolution: The Computer Industry // *Industrial and Corporate Change*. 1999. Vol. 8. P. 3–40.
2. *Malerba F., Nelson R., Orsenigo L., Winter S.* History-Friendly Models: An Overview of the Case of the Computer Industry II // *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. 2001. Vol. 4. No. 3. URL: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/4/3/6.html> (дата обращения 03.04.2013)
3. *Garavaglia Ch., Malerba F., Orsenigo L., Pezzoni M.* A History-Friendly Model of the Evolution of the Pharmaceutical Industry: Technological Regimes and Demand Structure // *Knowledge, Internationalization and Technology Studies*. Working Paper. Universita Bocconi, 2010. No. 36. P. 55.
4. *Chang-Wook Kim, Keun Lee.* Innovation, Technological Regimes and Organizational Selection in Industry Evolution: A «History Friendly Model» of the DRAM Industry // *Industrial and Corporate Change*. Oxford: Oxford Univ. Press, 2003. Vol. 12 (6). P. 1195–1221.
5. *Minho Yoon, Keun Lee.* Agent-Based and «History-Friendly» Models for Explaining Industrial Evolution // *Evol. Inst. Econ. Rev.* 2009. Vol. 6 (1). P. 45–70.
6. *Dawid H.* Agent-Based Models of Innovation and Technological Change // *Handbook of Computational Economics* / Eds. K. Judd, L. Tesfatsion. North-Holland, 2005. Vol. 2: Agent-Based Computational Economics. P. 1236–1267.
7. *Марков Л. С., Маркова В. М., Котёлкин Д. Д.* Агент-ориентированный подход к моделированию отраслевой эволюции: угольная промышленность России // *Регион: экономика и социология*. 2013. № 4.
8. *Суслов С. А., Кондратьев М. А., Сергеев К. В.* Агентное моделирование как средство анализа и прогноза спроса на энергоресурсы // *Управление в социально-экономических системах*. 2010. № 2. С. 46–52.
9. *Новиков Д. А., Ушаков М. А.* Имитационное моделирование в исследовании топливно-энергетических рынков // *ИММОД*. 2011. Секция 3. С. 184–189.
10. *Чинь Куанг Чунг.* Программное и информационное обеспечение поддержки принятия решений при определении направлений развития угольной промышленности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2011. 23 с.
11. *Массель Л. В., Такайшвили Л. Н., Чинь Куанг Чунг.* Информационно-программный комплекс для исследований развития угольной промышленности России // *Вестн. ИрГТУ*. 2011. № 9 (56). С. 6–11.
12. *Домников А. Ю., Ходоровский М. Я., Кожов К. Б.* Разработка имитационных агрегированных моделей характеристик электроэнергетических систем // *Вестн. УРФУ. Серия: Экономика и управление*. 2003. № 9. С. 104–111.
13. *Tesfatsion L.* Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory. Iowa, 2005. P. 55.
14. *Рынки энергетических углей России: Информ.-аналит. обзор / Росинформуголь*. 5-е изд. М., 2009. 60 с.
15. *Энергетическая стратегия России на период до 2030 года*. М., 2009. 151 с. URL: <http://minenergo.gov.ru/activity/energostrategy> (дата обращения 15.02.2011).

16. Долгосрочная программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года. М., 2012. URL: http://minenergo.gov.ru/activity/coalindustry/dolgosrochnaya_pro-graama_do_2030,%20utv.TIF (дата обращения 16.06.2013).

Материал поступил в редколлегию 01.08.2013

V. M. Markova, L.S. Markov, D. D. Kotelkin

Institute of Economics and Industrial Engineering
of the Siberian Branch of the RAS
17, 1stad. Lavrentiev ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

Novosibirsk State University 2, Pirogov str., Novosibirsk,
630090, Russian Federation

E-mail: Markova_vm@mail.ru; kdd92@mail.ru

AGENT-BASED MODEL CAPABILITIES FOR PREDICTION FOR DEVELOPMENT COAL ENERGY INDUSTRIES

Constructed consistent with the evolutionary history of agent model assumes a description of the dynamics of steam coal at the individual agent and the general population. The model is based on the principle of gradual sophistication of its functionality, incorporating a variety of units, taking into account the changing internal and external conditions (entry of new agents, the process of innovation in the industry, various types of restrictions on demand). Calibrated model and shown its adequacy to predict. The influence of various economic, institutional conditions on the structure and dynamics of the industry.

Keywords: agent-based model, the production of steam coal, coal cluster competition.