

УДК 332.1+330.4+339.9+502/504
ББК 65.9(2Рос) +65.28
П 82

П 82 **Труды Гранберговской конференции, 10–13 октября 2016 г., Новосибирск** : Междунар. конф. «Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность» : сб. докладов – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2017. – 526 с.

ISBN 978-5-89665-310-3

Сборник представляет доклады международной конференции "**Пространственный анализ социально-экономических систем: история и современность**", которая состоялась в ИЭОПП СО РАН 10-13 октября 2016 г. Доклады посвящены вопросам пространственного анализа и моделирования социально-экономических систем, использования новых методов и данных в этой области.

Конференция была посвящена памяти академика А.Г. Гранберга, внесшего неоценимый вклад в становление региональной науки в России. Публикуемые здесь труды ученых из разных регионов и стран, принадлежащих к разным научным школам, представляют современное состояние региональных исследований на постсоциалистическом пространстве.

Идеи и выводы авторов не обязательно отражают мнения представляемых ими организаций.

УДК 332.1+330.4+339.9+502/504
ББК 65.9(2Рос) +65.28

ISBN 978-5-89665-310-3

© ИЭОПП СО РАН, 2017

Секция IV

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ И МЕЖОТРАСЛЕВЫХ ОТНОШЕНИЙ

УДК 330.115

Айзенберг Н.И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНОЧНОЙ ВЛАСТИ ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЙ НА ОПТОВОМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЫНКЕ РОССИИ (СИБИРЬ)

Аннотация

Обсуждается проблема рыночной власти генерирующих компаний на российском рынке электроэнергии. На основе данных из торговой системы спотового рынка (первичных заявок на электроэнергию от потребителей и производителей) анализируется взаимодействие на оптовом рынке – выявляются явные признаки олигопольного поведения компаний, использования своей рыночной власти в установлении цен. На основе нескольких моделей олигополии моделируется рынок электроэнергии второй ценовой зоны "Сибирь". Определяются возможные эффекты от изменения конфигурации конкуренции между генерирующими компаниями.

Ключевые слова: Оптовый рынок электроэнергии, спотовый рынок на сутки вперед, олигополия, рыночная власть, модель равновесия функций предложения.

Спотовый рынок на сутки вперед в России организован в виде двойного аукциона, где стратегически взаимодействуют фирмы, генерирующие электроэнергию (электростанции), а цена определяется из равенства совокупного спроса и предложения. Аукцион является маржинальным, то есть цена будет зафиксирована на максимально возможном уровне замыкающей электростанции, заявка которой востребована потребителями.

Он был организован в 2006 г. По сути дела это ценообразование на олигопольном рынке, одним из главных недостатков которого является неустойчивость цен из-за изменчивости поведения рыночных агентов. Надо сразу оговориться, что к взаимодействию, с которым мы имеем дело, нельзя полностью применить теорию олигополии на рынке однородного продукта, известного из микроэкономики. Здесь необходимо рассматривать результаты с учетом того, что одни и те же игроки будут встречаться на рынке последовательно несколько раз, приспосабливаясь к меняющимся условиям, в том числе и поведению своих конкурентов. Реальный эксперимент, показывающий, что действительно такое приспособление имеет место, был проведен нашими реформаторами при организации свободного оптового рынка электроэнергии в России.

На рис. 1 представлена динамика индексированных цен на оптовом рынке электроэнергии, за 2008–2011 гг. (зона Сибирь). Существенная волатильность, которая наблюдалась в первые месяцы функционирования рынка, с течением времени снизилась, цены выровнялись. Действительно, волатильность в 2011 г. составляла 48,2%, в сравнении с 52,7% в 2010 г. и запредельными значениями 97% в 2009 г. Последнее связано с эффектом так называемых нулевых цен при большом предложении дешевой энергии и техническим ограничением по передаче её в другие регионы.

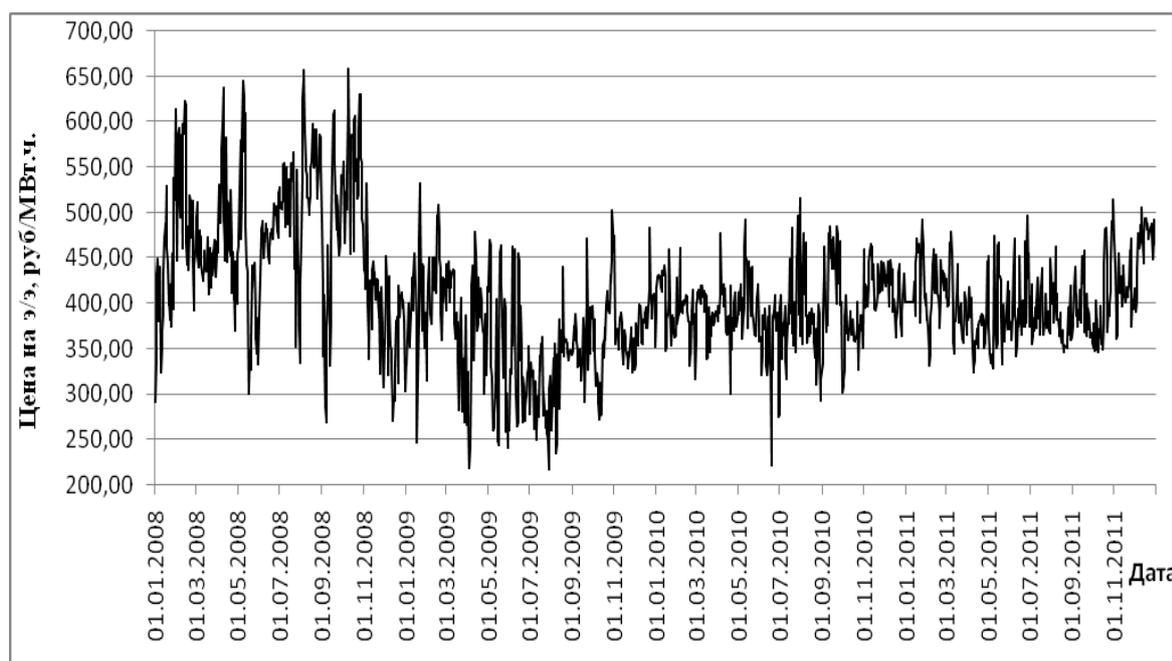


Рис. 1. Динамика индексированных суточных цен на электроэнергию
(информация с сайта <http://www.astenergo.ru>)

После 2011 г вплоть до 2016 г. существенных скачков уже не наблюдается. Одним из факторов, с которым можно связать снижение волатильности цен в динамике, является некоторый процесс обучения. Экономические агенты (продавцы и покупатели электроэнергии) приспосабливаются к правилам, действующим на рынке, учатся извлекать наибольшую выгоду из предложенных обстоятельств, регулируют свои стратегии поведения.

При этом необходимо отметить постепенное повышение ценовых стратегий конкурирующих субъектов. Примером служит рис. 2, где представлен уровень заявок в 2009 и 2010 гг. Здесь сплошными линиями отмечен процент заявок разного ценового уровня относительно общего числа, заявленных на продажу электроэнергии на рынке в 2010 г., а в виде штриховых линий – в 2009 г.

Можно видеть, что со временем количество заявок с высокими ценами растет, а с низкими падает. То есть генерирующие компании, обучаясь рыночным правилам игры и стремясь максимизировать свою прибыль, имеют возможность придерживаться стратегий с высокими ценами.

Это связано с несовершенством организации рыночного механизма и возможностью воспользоваться олигопольной властью для каждой компании. На российском рынке, несмотря на большое количество отдельных станций, производящих электроэнергию, реальными игроками являются крупные генерирующие компании, объединяющие отдельных генераторов. Заявки подает каждая станция, но с целью максимизации прибыли всей компании. Соответственно, рыночная власть крупных субъектов велика, что и позволяет повышать цены.

Интересную информацию дает исследование равновесных точек на электроэнергетическом рынке. Точки равновесия, формируемые, как пересечение кривых спроса и предложения (а они в явном виде есть на оптовом рынке электроэнергии в виде заявок со стороны потребителей и со стороны генерирующих компаний) должны отражать специфику взаимодействия. На рынках с малой эластичностью спроса производители могут диктовать свои условия в явном виде, пользуясь рыночной властью. Это может проявляться в том числе во взаимосвязи между ценами и объемами электроэнергии. В частности, мы предполагаем, что можем наблюдать положительную зависимость на спотовом рынке между ценами и объемами, когда при увеличении продаж увеличивается равновесная цена. Т.е. рынок по своим характеристикам близок рынку предложения.

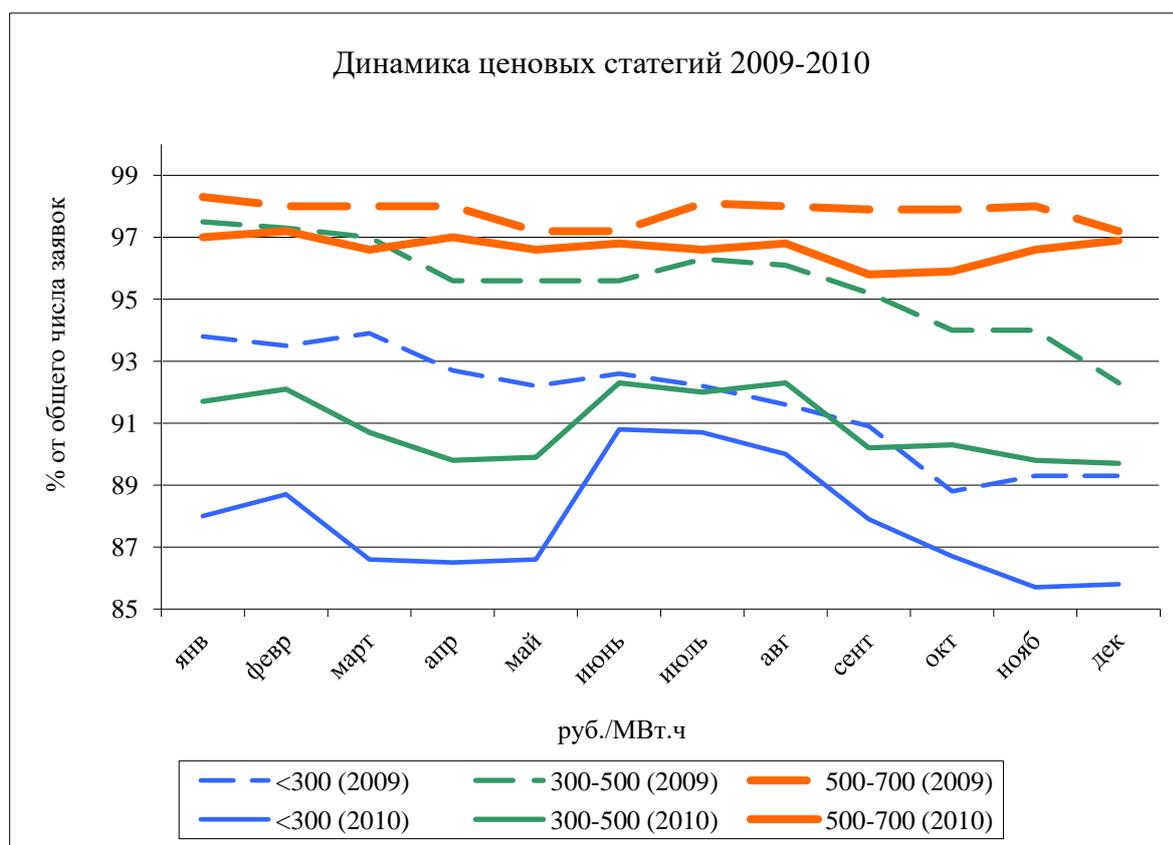


Рис. 2. Ценовые стратегии генерирующих компаний
(информация с сайта <http://www.astenergo.ru>).

Для исследования были взяты точки равновесия, формируемые на основе первичных заявок производителей и потребителей электроэнергии на оптовый рынок. Эти точки, на наш взгляд, свободны ещё от дополнительной нагрузки, которую накладывает оператор (необходимые резервы, потери и т.д.). Все цены были скорректированы на топливный индекс цен. Исследовались заявки только по ценовой зоне "Сибирь".

В качестве базы для расчетов были выбраны равновесные точки в пиковые часы в зимнее время (8:00–11:00, 18:00–21:00) в будние дни. С нашей точки зрения, характеристики равновесий в этих точках имеют однородную структуру, не подверженную значительным непредсказуемым колебаниям. Рассматривались зимние периоды 2013–2015 год.

В результате нам удалось на основе нескольких эконометрических моделей, оцениваемых различными способами определить, что краткосрочная эластичность цены по объемы в точках равновесия составляет 1,03 %, а оценка долгосрочной дала результат равный 9,4 %. Причём взаимосвязь положительная, что говорит о злоупотреблении генераторами своей рыночной властью. Здесь может возникнуть сомнения, что такая эластичность связана только с действиями производителей и не имеет объективных причин, к которым можно, например, отнести общий экономический подъем, когда в целом в экономике растет потребление электроэнергии, что накладывает отпечаток на равновесие на рынке. Но мы сознательно выбрали период, когда по электроэнергетической системе "Сибирь" потребление сокращалось. Так в 2013 году потребление сократилось на 0,2%, в 2014 – 0,1%, в 2015 – 0,3%.

Модели, описывающие рыночное взаимодействие на оптовом рынке электроэнергии

Для проверки механизмов, внедренных на рынок, необходимо иметь инструмент анализа, которым являются математические модели олигопольных рынков. Мы рассмотрим несколько способов моделирования оптового электроэнергетического рынка,

организованного как двусторонний аукцион. Оператору рынка свои заявки подают генераторы энергии (поставщики) и с другой стороны агенты, заинтересованные в получении электроэнергии (потребители). Генерирующие компании могут действовать, исходя из различных стратегии поведения, которые, в свою очередь, приводят к различным равновесным ситуациям. Изучаются стратегии, соответствующие исходам Курно, равновесия функций предложения, совершенно конкурентному равновесию. При этом исследуемый случай асимметричный – все генераторы имеют отличные друг от друга характеристики предельных издержек.

Целью моделирования является не только поиск равновесия, но и оценка действий конкурирующих компаний, а в дальнейшем разработка возможных мероприятий с целью улучшения дизайна рынка. В работе [4] указано на возможность серьезных манипуляций в краткосрочном периоде. И в среднесрочном периоде (исследуемый случай) олигополисты могут формировать свои стратегии, исходя из ориентации на рыночную власть отдельных компаний. Интерес представляют мероприятия снижающие рыночную власть, а также делающие результат взаимодействия предсказуемым и устойчивым.

Наши исследования опираются на работы [2, 3, 5–7].

В правилах функционирования рынка электроэнергии в России заложен механизм, который предполагает возможность формирования стратегии отдельной фирмой, ориентированной как на исход модели Курно, так и на исход модели равновесия функций предложения. В докладе показывается неустойчивость ситуации смешивающего равновесия при выборе подобных стратегий. Реализуются модели двух видов. Первый – стратегическими игроками считаются отдельные станции, второй – решение принимают генерирующие компании, включающие в себя несколько генераторов.

Обозначим через $Q(P)$ функцию отраслевого выпуска, которая будет складываться из функций предложения отдельных фирм; $q_i(P)$ – выпуск фирмы i , $i = 1, \dots, n$; $n \geq 2$ – число фирм на рынке и $\sum_{i=1}^n q_i(P) = Q(P)$.

Объемы производства конкурентов для фирмы i определяются как $q_{-i}(P)$ – это общий выпуск за исключением i . Соответственно, остаточный спрос генерирующей компании i : $q_i(P) = Q(P) - q_{-i}(P)$. Здесь $P \in R_+^1$ – цена, которая формируется в результате взаимодействия агентов на рынке при условии, что поведение всех потребителей агрегирует единая невозрастающая функция спроса $D(P)$ или обратная к ней $D^{-1}(Q)$. Функция издержек $C_i(q_i)$ – выпуклая, возрастающая $q_i \geq 0$, $i = 1, \dots, n$. Генерирующие компании имеют цель максимизировать свою прибыль на остаточном спросе – при условии, что в равновесии спрос будет равен общему выпуску компаний

$$\pi(P, q_i) = D^{-1}(Q(P))q_i(P) - C_i(q_i(P)).$$

Функция прибыли фирмы i от остаточного спроса вогнута по P и, следовательно, имеет единственный максимум. Условие первого порядка максимизации прибыли:

$$\frac{\partial D^{-1}(Q(P))}{\partial Q(P)} w_i(P) q_i(P) + D^{-1}(Q(P)) = \frac{\partial C_i(q_i(P))}{\partial q_i(P)},$$

где $w_i(P)$ – индексы влияния фирмы i на состояние рынка. Они имеют тот же смысл, что и влияние изменения выпуска фирмы на выпуск отрасли в целом, определяют возможные реакции конкурентов на изменение выпуска фирмой i . Функция предложения для генерирующей компании i :

$$q_i(P) = [MC_i - P] / [MR_i \cdot w_i(P)],$$

$$MC_i = \frac{\partial C_i(q_i(P))}{\partial q_i(P)} - \text{предельные издержки фирмы, } MR_i = \frac{\partial D^{-1}(Q(P))}{\partial Q(P)} - \text{предельная}$$

выручка.

На практике величину индекса влияния можно получить только из эконометрических оценок, либо возможны оценки в результате включения этой переменной в повторяющиеся игры.

Моделирование взаимодействия на рынке электроэнергетики Сибири

Сложность моделирования взаимодействия экономических агентов на рынке электроэнергии, функционирующего в Сибири, определяется несколькими факторами, среди которых в качестве ключевых можно выделить следующие.

1. Большая доля электроэнергии (50–70%) производится на гидроэлектростанциях (Красноярская, Саяно-Шушенская, Братская, Усть-Илимская, Иркутская ГЭС) и, как следствие, энергобалансы Сибири подвержены нестабильным природным воздействиям, связанным с колебаниями стока рек.

2. В Сибири (так сложилось исторически) функционируют в основном крупные генерирующие мощности. Кроме гидроэлектростанций можно выделить семь конденсационных станций мощностью более 1 000 МВт, которые разбросаны по большой территории и работают на местных углях. Масштаб производства, расстояние между потребителями определяют, в некоторой степени, их монопольное положение на прилегающих территориях. На базе этих станций достаточно сложно организовать здоровую конкуренцию.

3. Потребление существенной части энергии крупными потребителями. Выпуск конкурентоспособной продукции некоторыми предприятиями возможен, в том числе благодаря тому, что электроэнергия в Сибири дешевле, чем в среднем по России.

4. Имеют место повышенные требования к надёжности системы в связи с суровыми климатическими условиями. Важна тесная координация предприятий электроснабжения и коммунального хозяйства. Здесь появляются проблемы управления функционированием многопродуктовых производств, совмещающих тепло- и электроснабжение.

5. Энергосистема Сибири работает практически изолированно, что связано с плохой связью с другими энергозонами России.

6. В энергосистеме Сибири имеется большая протяжённость линий электропередач, определяемая низкой плотностью населения и очаговым характером развития экономики.

Учесть все эти важные особенности при моделировании рынка проблематично. С одной стороны, необходимы модели, согласовывающие интересы рыночных агентов (производителей электроэнергии и её потребителей) и лежащие в плоскости олигопольного взаимодействия, с другой стороны, учитывающие специфические сетевые ограничения, диктуемые естественно-монопольной средой. Мы ограничимся анализом стратегий экономических агентов и оценкой их рыночной силы без сетевых ограничений с помощью моделей, которые были описаны в предыдущем параграфе.

На рис. 3 представлена схема, состоящая из 14 узлов, для которой было смоделировано ценообразование с учётом стратегического взаимодействия генераторов на рынке Сибири. В табл. 1 и 2 представлены эмпирические данные по основным характеристикам генерации и потребления (среднечасовое потребление и среднегодовые издержки генераторов). Для примера взят 2008 год.

Функция спроса построена, исходя из параметров кривой загрузки мощностей в определённые моменты времени $N(t)$ и предположения о наклоне функции спроса γ [1]. Для данных табл. 1 параметр наклона функции спроса оценивается как $\gamma = 239,4$. А в целом спрос выглядит как $D(P) = 77731 - 239,4p$.

Производители (генераторы электроэнергии) разделялись на стратегических (активно влияющих на цену) и ценополучателей. Во вторую группу входили гидроэлектростанции, имеющие по предположениям нулевые предельные затраты и участвующие на рынке только объёмами производимой энергии (Красноярская, Саяно-Шушенская, Братская, Усть-Илимская ГЭС). Все станции имели ограничения на генерацию (первый столбец в табл. 2).

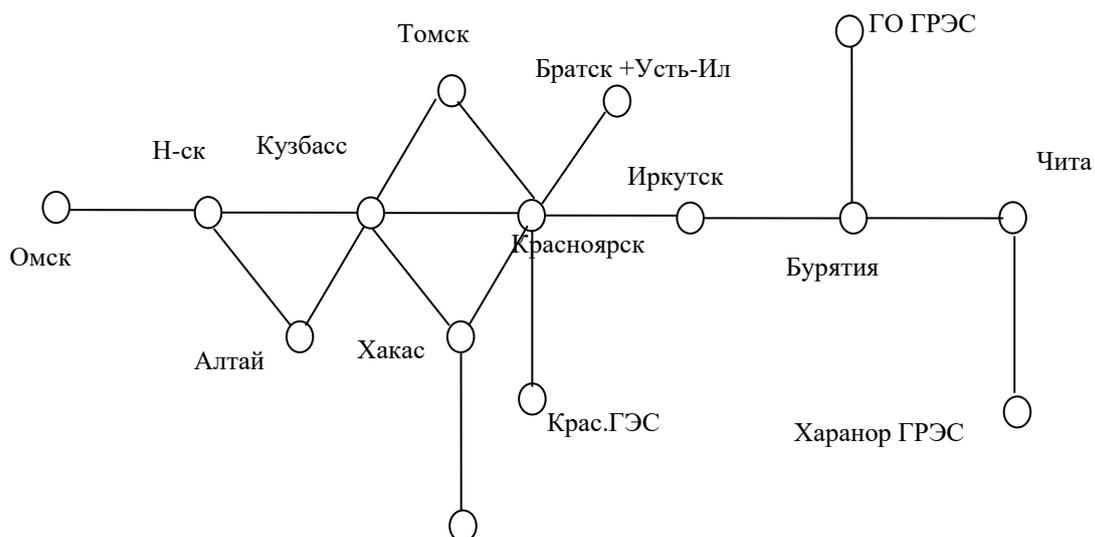


Рис. 3. Схема электроэнергетической системы «Сибирь».

Таблица 1

Спрос на электроэнергию (2008 г).

Узел	Потребление, МВт	Узловые цены, руб./МВт·ч
Иркутск	8268	247
Алтай	1629	275
Бурятия	795	281
Красноярск	6487	233
Новосибирск	2239	283
Омск	1586	339
Томск	1336	262
Чита	1087	319
Хакасия	2754	260
Кузбасс	5269	263

Таблица 2

Характеристика часовой стоимости производства электроэнергии на ГРЭС, ТЭС и ГЭС (2008 г.).

Узел	Часовая выработка, q, МВт	a_i	c_i
Иркутск	4762	18	0,064
Гусиноозерская ГРЭС	2020	6,8	0,2
Харанорская ГРЭС	665	9,12	0,588
Красноярск	7906	21	0,042
Новосибирск	3214	12,4	0,09
Кузбасс	4297	20	0,08
Саяно-Шушенская ГЭС	4781	–	–
Красноярская ГЭС	3873	–	–
БГЭС-УИГЭС	9657	–	–

Были рассчитаны цены по модели Курно и по модели равновесия линейных функций предложения (LSFE) с наличием конкурентного окружения¹. Полученные цены сравнивались с ценой монополии и ценой по Вальрасу (последняя формировалась путем приравнивания спроса и предложения, а свои функции предложения фирмы подавали в виде предельных издержек на единицу продукции).

Все модели конкретизированы для линейной функции спроса и квадратичных функций издержек, расширены для случая, когда несколько игроков объединяют свои интересы (генерирующие компании, включающие несколько мощностей).

Результаты формирования стратегий для исследованных моделей представлены в табл. 3. В столбцах коэффициенты β_i для функций предложения генерирующих компаний вида:

$$q_i(P) = \beta_i(P - \alpha_i).$$

В представленном примере генерирующие компании манипулируют только коэффициентом β_i , α_i соответствует предельным издержкам. В последнем столбце для примера приведены значения отклонения функций предложения от предельных издержек для моделей LSFE, LSFE(GenKo) и Курно, характеризующие рыночную власть отдельных компаний. Влияние некоторых компаний (например Кузбасс) существенно возрастает при переходе от одного способа формирования стратегий к другому.

В рассмотренном нами случае асимметричных издержек можно отметить тот факт, что большие генерирующие компании получают и больший выигрыш от любого повышения цен. И, соответственно, используемые ими стратегии будут сильнее отклоняться от предельных издержек в сторону увеличения. Это связано с эластичностью остаточного спроса для каждой отдельной компании [4].

На российском электроэнергетическом рынке действуют достаточно крупные генерирующие мощности, информация об издержках которых вполне доступна. Это дает возможность формировать представления о предполагаемых действиях и влиянии на рынок конкурентов, т.е. при правильном механизме функционирования рынка имеются все предпосылки для реализации исходов, которые описывает модель равновесия предполагаемых функций предложения. В то же время на сегодняшний день система подачи заявок сформирована таким образом, что стимулирует производителей подавать заявки, приводящие к модели Курно.

Таблица 3

Коэффициенты функций предложения генерирующих компаний, взаимодействующих на рынке, соответствующие разным моделям рынка.

Коэффициенты β	Вид рынка (функции предложения)					
	Модель LSFE	Модель LSFE с генерирующими компаниями	Модель Курно	Снижение коэффициента функции предложения в моделях в сравнении с пред. издержками (%)		
				LSFE	GenKo	Курно
Иркутск ТЭЦ	12,94	12,95	11,24	17	16	28
Гусиноозерск ГРЭС	4,71	4,81	4,44	6	4	11
Харанорская ГРЭС	1,76	1,63	1,72	7	8	4
Красноярск ТЭЦ	18,42	18,43	15,38	26	26	38
Новосибирск ТЭЦ	9,88	9,78	9,52	21	20,5	24
Кузбасс ТЭЦ	10,76	10,77	8,70	3	3	22

¹ Айзенберг Н.И., Зоркальцев В.И., Киселева М.А. Модели несовершенной конкуренции применительно к анализу электроэнергетического рынка Сибири // Журнал новой экономической ассоциации. - 2013. - №2 (18). - С. 62–89.

В докладе обсуждаются возможные способы снижения рыночной власти, в частности внимание уделяется формированию рынка двусторонних долгосрочных свободных договоров, благодаря которым возрастает эластичность остаточного спроса и повышается надежность обеспечения потребителей.

Исследование поддержано Российским Фондом Фундаментальных Исследований, грант № 16-06-00071.

Список источников

1. Стофт С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергетики. – М.: Мир. – 2006. – 605 с.
2. Baldick R., Grant R., Kahn E. (2004). Theory and Application of Linear Supply Function Equilibrium in Electricity Markets // Journal of Regulatory Econ. – 2004. – №25(2). – P. 143–167.
3. Baldick R., Hogan W.W. Capacity Constrained Supply Function Equilibrium Models of Electricity Markets: Stability, Non-decreasing Constraints, and Function Space Iterations. POWER Working paper. Revise. August. – 2002.
4. Green R. J., Newbery D. M. (1991): Competition in the British Electricity Spot Market // The Journal of Political Econ. – 1991. – №100(5). – P. 245–254.
5. Holmberg P., Newbery D. M. The Supply Function Equilibrium and Its Policy Implications for Wholesale Electricity Auctions // Utilities Policy. – 2008. – No. 18. – P. 209–226.
6. Klemperer P., Meyer M. Supply Function Equilibria in Oligopoly under Uncertainty // Econometrica. – 1989. – №57(6). – P. 1243–1277.
7. Vasin A.A., Vasina P.A. Models of Supply Functions Competition with Application to the Network Auctions. M.: EERC. – 2005.

Информация об авторе

Айзенберг Наталья Ильинична (Россия, Иркутск) – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (Иркутск, ул. Лермонтова, 130, ayzenberg.nata@gmail.com)

Natalia Aizenberg

MARKET POWER OF GENERATING COMPANIES IN THE WHOLESALE ELECTRICITY MARKET OF RUSSIA (SIBERIA)

Annotation

The authors consider mechanisms of organizing free trade in the electricity market that are based on submitting bids of energy consumers and producers to the market operator. The authors discuss and compare possible strategies of generator behavior that lead to different equilibrium situations and correspond to Cournot model and the models of supply function equilibrium, and a perfectly competitive equilibrium. The mechanisms are tested on the basis of the Siberian electric power system.

Keywords: electricity market, models of imperfect markets, oligopoly, model of supply function equilibrium, liberalization.