

Анализ и регулирование рынков электроэнергии (Рынки электроэнергии).

Руководитель: А.А. Васин

Консультанты: Франсиско Мархуэнда, П.А. Васина.

Область исследования. Цель настоящего проекта – предложить модели и методы для решения ряда важных задач, связанных с развитием рынков электроэнергии в России и других странах. Отметим следующие особенности указанных рынков:

- невозможность эффективно хранить электроэнергию;
- невозможность контролировать в реальном времени объем мощности, используемой отдельным потребителем;
- недопустимость дисбаланса поставляемой и потребляемой мощности в каждый момент времени;
- очень низкая (практически нулевая) эластичность спроса в данный момент времени для большинства потребителей.

Из этих особенностей вытекает:

- необходимость балансирующего рынка электроэнергии;
- регулятивное ценообразование в пиковые периоды, когда мощности не хватает или резерв установленной мощности оказывается ниже порогового уровня;
- оплата потребителями не только электроэнергии, но и установленной мощности.

В литературе (см. 1) рассматриваются два основных способа ценообразования в пиковые периоды.

- а) Исходя из ущерба от отключения нагрузки (VOLL);
- б) Исходя из заданного минимально допустимого уровня резервной мощности.

Проведен анализ этих методов для случаев регулируемой монополии и совершенной конкуренции. Наша задача – исследовать эти методы в случае олигополии и найти оптимальные правила регулирования с точки зрения максимизации общественного благосостояния.

Ожидаемые результаты. Мы планируем найти оптимальные параметры регулирования цен в пиковые периоды (включая продолжительность этих периодов и пиковую цену), с точки зрения максимизации общественного благосостояния и с учетом ограничения на рост цены электроэнергии для населения. Предполагается провести анализ как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе с учетом возможности ввода

новых мощностей. Задача будет также исследована для сетевого рынка с учетом ограничений пропускной способности. Планируется выяснять роль форвардного рынка в решении указанной проблемы. Ранее разработанные алгоритмы расчета равновесия аукциона функций предложения предполагается использовать для оценки ожидаемого исхода торговли на создаваемом оптовом рынке электроэнергии.

Актуальность исследования. С 1 сентября 2006 года вступили в силу новые правила оптового и розничных рынков электроэнергии. На оптовом рынке электроэнергии (мощности) в результате введения с 1 сентября новых правил работы осуществлен переход к регулируемым договорам между покупателями и генерирующими компаниями, ликвидирован сектор свободной торговли, запущен спотовый рынок – «рынок на сутки вперед».

Регулируемые договоры в 2006 году заключались на полные объемы производства и потребления электроэнергии в соответствии с прогнозным балансом ФСТ России на 2006 год. Начиная с 2007 года, объемы электрической энергии (мощности), продаваемые на оптовом рынке по регулируемым ценам, планомерно уменьшаются.

Объемы электроэнергии, не покрытые регулируемыми договорами, продаются по свободным ценам. Таких способов торговли электроэнергией в новой модели оптового рынка два – это свободные двусторонние договоры и рынок «на сутки вперед». В рамках свободных двусторонних договоров участники рынка сами определяют контрагентов, цены и объемы поставки. Основой рынка «на сутки вперед» является проводимый НП «АТС» конкурентный отбор ценовых заявок поставщиков и покупателей за сутки до реальной поставки электроэнергии с определением цен и объемов поставки на каждый час суток. Если происходит отклонение от запланированных за сутки вперед объемов поставки, участники покупают или продают их на балансирующем рынке.

Особым сектором нового оптового рынка является торговля мощностью, которая осуществляется в целях обеспечения надежной и бесперебойной поставки электрической энергии. До введения новых правил оптового рынка поставщики получали оплату 85% от установленной мощности генерирующего оборудования, а покупатели оплачивали эту мощность в составе одноставочного тарифа на электроэнергию (мощность). Теперь мощность и электроэнергия оплачиваются отдельно.

Стоимость мощности напрямую зависит от выполнения обязательств генерирующими компаниями, и у них появляется прямой финансовый стимул соблюдать все предъявленные требования. Такие механизмы введены для страхования рисков снижения текущей надежности в работе энергосистемы при растущем спросе на электроэнергию. Для создания экономических условий притока инвестиций все новые мощности (не

учтенные в утверждаемом Федеральной службой по тарифам России прогнозом балансе на 2007 год) будут участвовать в оптовом рынке по свободным нерегулируемым ценам. Регулируемые договоры в отношении таких объектов генерации заключаться не будут. Это же касается и новых объектов потребления – регулируемые договоры могут быть заключены в отношении таких объектов лишь в случае, если в 2007 году имелись технические условия для их присоединения к электрическим сетям.

Несколько крупных аварий с веерными отключениями потребителей, как в России, так и зарубежом, подтверждают актуальность анализа проблем, связанных с организацией балансирующего рынка и его взаимодействия со спотовым и форвардным рынками электроэнергии.

Краткий обзор литературы. Исследование свойств аукционов различных типов (единой цены, Курно, Викри, с оплатой по заявкам) для рынков однородного товара проводилось в работах (1, 7). В частности, получены оценки отклонения равновесной по Нэшу цены от цены конкурентного равновесия для каждого типа аукционов. Анализ особенностей балансирующего рынка электроэнергии и механизмов регулирования этого рынка в условиях монополии и совершенной конкуренции содержится в книге (8). О развитии российского рынка электроэнергии и других реально функционирующих рынков см. (9-12).

Методология исследования. Исследование описанных задач будет проводиться в рамках следующего подхода (Vasin, Vasina, 2005).

Рассмотрим рынок однородного товара с конечным числом производителей A . Каждый производитель a характеризуется функцией издержек $C^a(v)$. Поведение потребителей характеризуется функцией спроса $D(p)$. Рассмотрим модель конкуренции по Курно для данного рынка. Тогда стратегией каждого производителя a является его производственный объем $v^a \in [0, V^a]$. Рыночная цена $p(\vec{v})$ уравнивает спрос и предложение: $p(\vec{v}) = D^{-1}(\sum_{a \in A} v^a)$. Функция выигрыша производителя a определяет его прибыль $f^a(\vec{v}) = v^a p(\vec{v}) - C^a(v^a)$. Таким образом, взаимодействие в модели Курно соответствует игре в нормальной форме Γ_C .

Вектор $(v^{a^*}, a \in A)$ производственных объемов является равновесием Курно, если он является равновесием Нэша для игры Γ_C . Вычисление и свойства равновесий Курно полностью рассмотрены в работе Vasin, Vasina, 2005.

Аукцион функций предложения единой цены.

Каждый производитель $a \in A$ посылает свою заявку $R^a(p)$. Мы предполагаем, что $R^a(p)$ является неубывающей ступенчатой функцией. Заявки определяют общее r -предложение $R(p) = \sum_a R^a(p)$ и цену отсечения $\tilde{c}(R^a, a \in A)$, которая удовлетворяет условию $D(\tilde{c}) \in R(\tilde{c})$. Производители и покупатели продают и покупают товар по этой цене.

Васин, Васина (2005) показали, что любое устойчивое равновесие Нэша данной модели соответствует исходу Курно. Данная работа также изучает игры, соответствующие аукционам Бертран-Эджворда и Викри. Теперь нашей задачей является сконструировать на этой базе модели для различных вариантов двухэтапного рынка, включающего спотовый и балансирующий рынки, и найти совершенное подыгровое равновесие для этих моделей.

Предлагается рассмотреть следующую модель рынка. Задано конечное множество производителей электроэнергии, каждый из которых характеризуется функцией издержек. В простейшем случае для каждого производителя задаются постоянные и переменные издержки на производство одного квт-часа электроэнергии и максимальная производственная мощность. Потребители характеризуются детерминированной функцией спроса с низкой эластичностью и случайной компонентой спроса с заданной функцией распределения. Торговля проходит в два этапа. На первом этапе проводится аукцион функций предложения единой цены. При этом случайная компонента спроса неизвестна. На втором этапе (на балансирующем аукционе) потребители могут подать дополнительные заявки. Кроме того, к спросу добавляется случайная компонента с нулевой эластичностью. Производители подают заявки, исходя из остаточных мощностей. Если ограничение по надежности выполняется, то расчеты происходят по цене отсечения. В противном случае, устанавливается цена p_{\max} , назначаемая регулирующим органом. Он также может назначить для потребителя плату за мощность в зависимости от среднего объема потребления.

Поведение производителей моделируется как совершенное подыгровое равновесие двухэтапной игры (или повторяющейся двухэтапной игры). При долгосрочном анализе каждая новая мощность характеризуется минимальным вводимым объемом, затратами на строительство, сроком эксплуатации, переменными издержками. Мы планируем вывести зависимость средней цены и общего благосостояния от стратегии регулирования и обсудить задачу оптимального регулирования.

Bibliography.

1. A. Vasin, P. Vasina. "Electricity markets analysis and design". Working paper. NES, Moscow, 2005.
2. Baldick, Grant, and Kahn. "Linear Supply Function Equilibrium: Generalizations, Application, and Limitations", POWER Working Paper PWP-078. University of California Energy Institute, August 2000.
3. Bushnell J. "Oligopoly Equilibria in Electricity Contract Markets", PWP, August 2005.
4. Fabra, Fehr and Harbord. "Designing Electricity Auctions", February 2004.
5. Klemperer, P. and M. Meyer, "Supply Function Equilibria in Oligopoly under Uncertainty", *Econometrica*, 1989, vol. 57 (6), pp. 1243-1277
6. Wolfram C. "Electricity Markets: Should the Rest of the World Adopt the United Kingdom's Reforms?", *Energy*.
7. А.А. Васин, П.А. Васина, 2005, «Модели конкуренции функций предложения и их приложение к сетевым аукционам», ERRC, отчет по проекту РПЭИ R03-1011
8. Стивен Стофт. "Введение в проектирование рынков электроэнергии". Издательство Мир, 2006
9. Официальный сайт PAO EЭС www.rao-ees.ru
10. РосТепло.ru www.rosteplo.ru
11. Информационное агентство Финмаркет www.finmarket.ru
12. Группа Эксперт www.raexpert.ru
13. А.А. Vasin, V.V. Romanov, 2007. "Network N-node market with linear structure". Proceedings ORM2007.

Предлагаемые темы магистерских диссертаций.

1. Модель регулируемой олигополии в условиях двухэтапного (спотового и балансирующего) рынка: краткосрочный анализ.
2. Аналогичная модель с учетом ввода новых мощностей: долгосрочный анализ.
3. Особенности регулирования сетевого рынка (на примере двухузлового рынка).
4. Расчет равновесия для агрегированной сетевой модели российского рынка электроэнергии (метод расчета см. в работ 13).

Следующие темы связаны с нашим предыдущим проектом "Модели эндогенного формирования политических партий" (см. отчет на сайте РЭШ)

5. Модель формирования коалиций в популяции с неоднородными функциями полезности.
6. Формирование партий: сочетание самоорганизации населения и воздействия макроигроков.