

“TAKE OR PAY” КОНТРАКТ НА ПОСТАВКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК МЕРА АНТИМОНОПОЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА РЫНКЕ “НА СУТКИ ВПЕРЕД”

© 2010 г. В.А. Борохов¹

(Москва)

Предложен метод формирования в отношении поставщика контракта на поставку электроэнергии на рынке “на сутки вперед” (PCB) на условиях “take or pay”. В результате заключения контракта при достаточно общих условиях доминирующая ценовая стратегия поставщика на PCB идентична его доминирующей ценовой стратегии на PCB в случае отсутствия у поставщика рыночной силы. В общем случае цена и (или) объем поставки по такому договору являются функциями объема поставки поставщика на PCB. Предложенный метод устойчив по отношению к вызванным неполной информацией о функции переменных затрат поставщика отклонениям прогнозных значений величин, используемых при формировании указанного контракта, от их фактических значений при условии, что указанные отклонения удовлетворяют определенным соотношениям. Формирование данного контракта может быть использовано в качестве меры антимонопольного регулирования в отношении производителя, обладающего рыночной силой на PCB.

1. ВВЕДЕНИЕ¹

Вопросы функционирования конкурентных рынков электроэнергии и введения дифференцированных по времени цен на электроэнергию были исследованы в работах (Bohn, Caramanis, Schweppe, 1984; Волконский, Кузовкин, Поманский, 1986; Schweppe, Caramanis et al., 1988; Littlechild, 1988; Stoft, 1997; Hogan, 1998a,b; Cramton, Wilson, 1998; Давидсон, Догадушкина и др., 2004). Одним из механизмов торговли электроэнергией на конкурентном оптовом рынке электроэнергии со свободным ценообразованием является заключение участниками оптового рынка форвардных контрактов. Цена на поставленную по такому контракту электроэнергию, договорные объемы, график платежей и иные условия устанавливаются соглашением сторон (в рамках действующей нормативно-правовой базы).

Влиянию форвардных контрактов на ценовые заявки (кривые предложения), подаваемые производителями электроэнергии на спотовые рынки, посвящена обширная литература. В статьях (Allaz, 1987, 1992; Allaz, Vila, 1993) рассмотрены теоретико-игровые аспекты введения рынков форвардных контрактов; в статье (Wolak, 2000) – оптимальные ценовые заявки поставщиков, имеющих контракты на поставку электроэнергии с фиксированными ценами и объемами, на примере энергетического рынка Австралии (National Electricity Market). В работе (Green, 1999) приводится анализ влияния рынка форвардных контрактов на электроэнергию на стратегию поставщиков на примере оптового рынка электроэнергии в Англии (England and Wales wholesale electricity market). Работа (Bessembinder, Lemmon, 2002) посвящена зависимости равновесных форвардных цен на электроэнергию от спотовых цен на энергетических рынках; (Anderson, Xu, 2005) исследовали влияние форвардных контрактов на электроэнергию на оптимальную кривую предложения производителя. В указанных работах рассматривались, как правило, форвардные контракты с фиксированными ценами и объемами поставки. Основной вывод, сделанный рядом автором, состоит в том, что на практике наличие у поставщика форвардного контракта с фиксированной ценой и объемом поставки электроэнергии приводит к снижению цен в его оптимальных ценовых заявках на спотовом рынке. Поэтому интересно изучить возможности формирова-

¹ Мнения, изложенные в данной статье, являются частной точкой зрения автора и могут не совпадать с мнением НП “Совет рынка”.

ния регулятором контракта на поставку электроэнергии в отношении производителя в качестве меры антимонопольного регулирования для снижения влияния его рыночной силы на спотовые цены на электроэнергию. Настоящая статья посвящена изучению этой тематики. При этом мы допускаем наличие зависимости цены и объемов поставки электроэнергии по рассматриваемым контрактам от (будущих) фактических спотовых цен на электроэнергию и объемов поставки электроэнергии поставщиком в спотовом рынке электроэнергии.

В статье рассматриваются форвардные контракты типа “take or pay” на спотовом рынке электроэнергии – рынке “на сутки вперед” (РСВ) – с маржинальным ценообразованием, основанным на конкурентном отборе финансово-обязующих ценовых заявок участников оптового рынка, поданных ими для каждого часа следующих суток. Конкурентный отбор ценовых заявок на РСВ проводится с учетом представленных ограничений в расчетной модели рассматриваемой энергосистемы (уравнений электрического тока, нагрузочных потерь электроэнергии, сетевых ограничений, параметров генерирующего оборудования и прочих ограничений). Результатом конкурентного отбора являются объемы планового почасового производства поставщиков (далее – объемы поставки), объемы планового почасового потребления покупателей (далее – объемы потребления), а также цены на электроэнергию в узлах расчетной модели (далее – узловыe цены). Вследствие учета в расчетной модели нагрузочных потерь электроэнергии и системных ограничений расчет стоимости объемов поставки/потребления участников оптового рынка на РСВ исходя из соответствующих узловых цен приводит к отличию суммарных обязательств от суммарных требований участников РСВ на так называемую величину фонда разницы узловых цен РСВ. Для соблюдения финансового баланса на РСВ указанные финансовые средства могут распределяться среди участников оптового рынка, что в определенных случаях может быть интерпретировано как расчет стоимостей объемов поставки/потребления участников исходя из соответствующим образом скорректированных для этих участников узловых цен (далее – итоговые узловыe цены) (Давидсон, Догадушкина и др., 2004). Предположим, что каждый участник РСВ обладает полной информацией об алгоритме проведения конкурентного отбора ценовых заявок и не зависящих от результатов торгов на РСВ параметрах энергосистемы, учитываемых при расчете РСВ в качестве ограничений, но не имеет сведений о ценовых заявках, поданных другими участниками.

Для простоты предложим следующий алгоритм учета на РСВ заключенных участниками договоров на поставку электроэнергии на условиях “take or pay”: определенные по итогам торгов на РСВ в отношении данного часа следующих суток объемы поставки поставщиков, а также объемы потребления покупателей в первую очередь засчитываются в счет исполнения обязательств по заключенным ими контрактам на поставку электроэнергии на РСВ. При этом если определенный по итогам конкурентного отбора объем поставки ниже суммарного (по всем заключенным поставщиком договорам) договорного объема поставки в данный час, то поставщик покупает недостающий объем электрической энергии по (средневзвешенной) цене РСВ в узле (или узлах) расчетной модели, к которому отнесено соответствующее генерирующее оборудование поставщика. Для покупателя применяется аналогичный принцип учета указанных договоров.

Для каждого контракта рассчитывается стоимость потерь и системных ограничений, которая определяется по итогам расчета РСВ как разница между стоимостью этого объема электроэнергии, рассчитанной по (средневзвешенной) цене РСВ в узлах покупателя по договору, и стоимостью договорного объема электроэнергии, определенной исходя из (средневзвешенной) цены РСВ в узле продавца по договору. Пара участников оптового рынка, являющихся контрагентами по договору, оплачивает (получает) соответствующую договорному объему поставки стоимость потерь и системных ограничений на РСВ в случае, если указанная величина положительная (отрицательная). Процедура распределения на участников оптового рынка фонда разницы узловых цен РСВ, а также платежи участников за услуги инфраструктурных организаций предполагаются не зависящими от их объемов поставки по указанным контрактам.

Для определения финансового результата участия поставщика на оптовом рынке электроэнергии и мощности на протяжении соответствующего периода необходимо рассмотреть прибыль поставщика, которую он получает во всех сегментах оптового рынка. Например, в ценовых зонах российского оптового рынка электроэнергии и мощности (постановление Правительства РФ от 24.10.2003 № 643) при формировании ценовой стратегии участия поставщика на РСВ

необходимо учитывать возможные финансовые последствия на рынке “реального времени” (балансирующем рынке) и рынке мощности. Для простоты будем рассматривать поставщика, владеющего одним объектом генерации, которому на оптовом рынке электроэнергии соответствует некоторый (один) узел расчетной модели. Весь объем произведенной поставщиком электроэнергии отнесен на оптовом рынке к указанному узлу. Также предположим: отсутствие у поставщика интегральных (за период более одного часа суток) ограничений на ресурсы, используемые для производства электроэнергии в данный час суток; невозможность хранения выработанной производителем электроэнергии; отсутствие затрат, связанных с пуском/остановом генерирующего оборудования, а также его работой в холостом режиме; несущественность ограничений по скорости сброса/набора нагрузки для определения объема поставки в каждый час следующих суток. Покупка поставщиком электроэнергии и (или) мощности на собственные, производственные и прочие нужды на оптовом и (или) розничном рынке электроэнергии, а также производство и продажа им тепловой энергии учитываться не будут. В этих предположениях основными техническими/технологическими параметрами генерирующего оборудования поставщика, учитываемыми им при формировании своей ценовой стратегии на РСВ, являются: V_{\min}^{tex} – минимально возможный почасовой объем электроэнергии, который он производит с использованием включенного генерирующего оборудования поставщика (при его включении в параллельную с энергосистемой работу), $0 < V_{\min}^{\text{tex}} < \infty$; V_{\max} – максимально возможный почасовой объем производства электроэнергии на соответствующем генерирующем оборудовании поставщика, $V_{\min}^{\text{tex}} < V_{\max} < \infty$. Величины V_{\min}^{tex} и V_{\max} полагаются детерминированными внешними (экзогенными) параметрами, определяемыми технологическими особенностями производства электроэнергии на генерирующем оборудовании поставщика, значения которых не могут быть изменены поставщиком в краткосрочном периоде и известны поставщику, а также регулятору на момент формирования производителем своей ценовой заявки на РСВ.

В статье будем предполагать отсутствие сговора на оптовом рынке электроэнергии между данным поставщиком и субъектом оптового рынка электроэнергии, отсутствие экономически выгодного (статистического) арбитража между продажей/покупкой объема электроэнергии на РСВ и покупкой/продажей этого объема электроэнергии на балансирующем рынке, независимость финансовых результатов участия поставщика в иных сегментах оптового рынка (за исключением балансирующего рынка), а также осуществления им иных видов хозяйственной деятельности от избранной им ценовой стратегии участия на РСВ и ограничимся рассмотрением прибыли, получаемой поставщиком на РСВ в течение краткосрочного периода. Таким образом, для определения финансового результата участия данного поставщика на РСВ достаточно проанализировать валовую прибыль², которую получает производитель по итогам расчета РСВ в отношении данного часа следующих суток.

Набор ценовых стратегий поставщика на РСВ для данного часа следующих суток определим как множество ценовых заявок следующего вида: $S = S(V)$, $V \in [a, b]$, где V – объем поставки поставщика; $V_{\min}^{\text{tex}} \leq a \leq b \leq V_{\max}$; $S(V)$ – (многозначная) неотрицательная функция, определенная на отрезке $a \leq V \leq b$. Для целей настоящей статьи достаточно рассмотреть множество функций $S = S(V)$, причем соответствующие им обратные функции $V(S)$ являются неубывающими кусочно-непрерывными (однозначными) функциями на отрезке $(\inf S(a)) \leq S \leq \infty$. Будем предполагать, что правила оптового рынка электроэнергии и мощности не накладывают дополнительных ограничений на ценовую заявку поставщика на РСВ.

В рассматриваемой модели ценовая заявка поставщика $S(V)$ является отобранной на РСВ тогда и только тогда, когда его объем поставки не ниже a и цена РСВ в узле поставщика не ниже $\inf S(a)$.

Ниже мы будем различать два следующих случая определения планового состояния генерирующего оборудования на РСВ (т.е. включено ли данное генерирующее оборудование в параллельную с энергосистемой работу на РСВ в рассматриваемый час следующих суток). В первом случае плановое состояние объекта генерации поставщика определяется в рамках проведения конкурентного отбора ценовых заявок поставщиков на РСВ и соответствует включенному со-

² Валовая прибыль определяется как разница между доходом (выручкой) от продаж и переменными затратами на производство продукции.

стоянию в данный час следующих суток тогда и только тогда, когда минимальная из соответствующих объему поставки с РСВ цена в ценовой заявке поставщика не превышает узловую цену в узле поставщика в указанный час при поставке им на РСВ этого объема электроэнергии (далее – модель *A*). Во втором случае плановое состояние генерирующего оборудования поставщиков определяется до расчета РСВ без учета их ценовых предпочтений. Причем в конкурентном отборе РСВ участвуют только те ценовые заявки поставщиков, которые поданы в отношении объектов генерации, плановое состояние которых отвечает включенному состоянию: ценовая заявка рассматриваемого поставщика на РСВ соответствует объемам производства не ниже V_{\min}^{tex} (далее – модель *B*). Если плановое состояние объекта генерации поставщика не соответствует включенному состоянию, то объем поставки поставщика на РСВ устанавливается равным нулю. При этом в обеих моделях предполагается, что на оптовом рынке существуют механизмы, стимулирующие поставщиков не изменять по собственной инициативе плановое состояние генерирующего оборудования на каждый час следующих суток, установленное в энергетическом режиме РСВ. Пусть V_{\min} – минимальный объем поставки производителя, ценовая заявка которого участвует в спотовых торгах, тогда $V_{\min} = 0$ – в модели *A* и $V_{\min} = V_{\min}^{\text{tex}}$ – в модели *B*.

Основные переменные параметры рассматриваемой модели:

- 1) V – объем поставки поставщика в данный час следующих суток (допустимые значения V : $V = 0$ или $V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max}$ – в модели *A*, $V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max}$ – в модели *B*);
- 2) $P(V)$ – узловая цена в узле поставщика как функция его объема поставки на РСВ, т.е. (обратная) функция остаточного спроса на РСВ в узле данного поставщика³ в указанный час;
- 3) $C(V)$ – функция переменных затрат поставщика на производство объема электроэнергии⁴ V .

Предполагается, что отличие узловой цены от итоговой узловой цены в узле поставщика, обусловленное распределением на поставщика части фонда разницы узловых цен РСВ, является несущественным и поставщик обладает полной информацией о своей функции переменных затрат на производство электроэнергии (включающей также платежи инфраструктурным организациям на оптовом рынке, зависящие от объема поставки поставщика). В случае если разница указанных цен в узле поставщика является существенной, данная разница может быть учтена, например, в функции остаточного спроса либо в функции переменных затрат поставщика на производство электроэнергии. Ниже, однако, эта разница полагается достаточно малой и учитываться не будет.

Объем поставки электроэнергии на РСВ производителем по итогам спотовых торгов определяется как решение уравнения

$$P(V) = S(V), \quad V \in [a, b]. \tag{1}$$

Если (1) не имеет решения, то объем поставки принимается равным V_{\min} . Из свойств функций $P(V)$ и $S(V)$ следует, что если решение (1) существует, то оно единственно.

Учитывая, что поставщик не обладает информацией о ценовых заявках, поданных остальными участниками оптового рынка на РСВ в отношении данного часа следующих суток, на момент формирования поставщиком ценовой заявки на РСВ функция $P(V)$ ему не известна. И, следовательно, значение объема поставки производителя, которое определяется по итогам спотовых торгов, с точки зрения поставщика включает фактор неопределенности.

³ Функция остаточного спроса на РСВ в узле поставщика определяется исходя из ценовых заявок, поданных участниками оптового рынка на РСВ в отношении иных узлов расчетной модели рассматриваемой энергосистемы, транслированных в узел поставщика с учетом потерь электроэнергии и системных ограничений, учитываемых в расчетной модели этого сектора оптового рынка. Для простоты будем предполагать, что обратная функция остаточного спроса, а также ее математическое ожидание (согласно прогнозам производителя) $\langle P(V) \rangle$ являются неотрицательными, невозрастающими и непрерывно дифференцируемыми функциями, определенными при неотрицательных значениях аргумента.

⁴ Функция переменных затрат производителя определена на множестве $\{V = 0\} \cup \{V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max}\}$. На интервале $V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max}$ функция $C(V)$ предполагается положительной, (строго) возрастающей, непрерывно дифференцируемой функцией с выпуклой первой производной (функцией предельных издержек) $MC(V) \equiv dC(V)/dV$. Определим также $C(0) = 0$ и $C(V_{\max}) = \lim_{x \rightarrow V_{\max}} C(x) = +\infty$. Последнее условие отражает ограничение $V \leq V_{\max}$.

Целью производителя является максимизация фактической валовой прибыли, получаемой им по итогам расчета РСВ в отношении данного часа следующих суток посредством выбора оптимальной ценовой заявки на РСВ. В случае если указанная задача оптимизации фактической валовой прибыли не имеет смысла вследствие неопределенности входящих в валовую прибыль параметров, производитель электроэнергии оптимизирует ожидаемую валовую прибыль на РСВ. Оптимизирующей переменной в таком случае является объем поставки поставщика в указанный час.

Будем считать, что у производителя отсутствует рыночная сила на РСВ в данный час следующих суток, если $dP(V)/dV = 0$, при $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$, и, следовательно, $P(V) = p = \text{const}$ на указанном отрезке (такая ситуация возникает, например, в случае совершенной конкуренции на РСВ). В ином случае будем считать, что поставщик имеет рыночную силу на РСВ в указанный час. Рассмотрим задачу оптимизации *фактической* валовой прибыли поставщика, не имеющего рыночной силы на РСВ, с объемом поставки поставщика в качестве оптимизирующей переменной:

$$\text{Max}_{\{V=0\} \cup \{V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max}\} - \text{в модели } A; \quad V_{\min}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\max} - \text{в модели } B} \pi(V), \quad \pi(V) = P(V)V - C(V). \quad (2)$$

Модель А. Для решений (2), отличных от $V = 0$, $V = V_{\min}^{\text{tex}}$ и $V = V_{\max}$, имеем

$$\frac{d}{dV} \pi(V) = 0 \Rightarrow p = MC(V), \quad V_{\min}^{\text{tex}} < V < V_{\max}. \quad (3A)$$

Пусть $V_{\min}^{\text{эк}}$ – объем поставки в точке прекращения производства в краткосрочном периоде – объем электроэнергии, соответствующий возрастающей ветви функции предельных издержек, средние переменные затраты на производство которого равны предельным издержкам:

$$MC(V_{\min}^{\text{эк}}) = C(V_{\min}^{\text{эк}})/V_{\min}^{\text{эк}}, \quad \frac{dMC}{dV}(V_{\min}^{\text{эк}}) \geq 0, \quad V_{\min}^{\text{tex}} \leq V_{\min}^{\text{эк}} < V_{\max}.$$

Если данная система не имеет решения, то объем $V_{\min}^{\text{эк}}$ положим равным нулю (при этом значение $V_{\min}^{\text{эк}} = 0$ может не принадлежать возрастающей ветви функции предельных издержек). Можно показать, что уравнение

$$p = MC(V), \quad \max\{V_{\min}^{\text{эк}}, V_{\min}^{\text{tex}}\} \leq V \leq V_{\max} \quad (4A)$$

имеет не более одного решения. Если указанное решение существует и отлично от $V_{\min}^{\text{эк}}$, то данное решение является единственным (2), причем соответствующая фактическая валовая прибыль положительная. Если решением (4A) является $V = V_{\min}^{\text{эк}}$, то всеми решениями (2) являются $V = 0$ и $V = V_{\min}^{\text{эк}}$, $\pi(0) = \pi(V_{\min}^{\text{эк}}) = 0$. Если (4A) не имеет решений, то в случае $V_{\min}^{\text{эк}} \geq V_{\min}^{\text{tex}}$ единственным решением (2) является $V = 0$, а в случае $V_{\min}^{\text{эк}} = 0$ решением (2) является $V = 0$ и (или) $V = V_{\min}^{\text{tex}}$ в зависимости от соотношения между P и $C(V_{\min}^{\text{tex}})/V_{\min}^{\text{tex}}$ – средними переменными затратами поставщика на производство объема электроэнергии V_{\min}^{tex} .

Модель В. Решения (2), отличные от $V = V_{\min}^{\text{tex}}$ и $V = V_{\max}$, удовлетворяют уравнению

$$\frac{d}{dV} \pi(V) = 0 \Rightarrow p = MC(V), \quad V_{\min}^{\text{tex}} < V < V_{\max}. \quad (3B)$$

Пусть $V_{\min}^{\text{эк}}$ – объем поставки электроэнергии, соответствующий возрастающей ветви функции предельных издержек, средние дополнительные переменные затраты на производство величины превышения которого над V_{\min}^{tex} равны предельным издержкам:

$$MC(V_{\min}^{\text{эк}}) = g(V_{\min}^{\text{эк}}), \quad \frac{dMC}{dV}(V_{\min}^{\text{эк}}) \geq 0, \quad V_{\min}^{\text{tex}} \leq V_{\min}^{\text{эк}} < V_{\max},$$

где $g(V) = (C(V) - C(V_{\min}^{\text{tex}}))/(V - V_{\min}^{\text{tex}})$. Можно показать, что данная система имеет единственное решение для $V_{\min}^{\text{эк}}$. Также несложно показать, что уравнение

$$p = MC(V), \quad V_{\min}^{\text{эк}} \leq V < V_{\max} \quad (4B)$$

имеет не более одного решения. Если указанное решение существует и отлично от $V_{\min}^{\text{ЭК}}$, то данное решение является единственным (2), причем соответствующая фактическая валовая прибыль превышает $\pi(V_{\min}^{\text{ТЕХ}})$. Если решением (4B) является $V = V_{\min}^{\text{ЭК}} > V_{\min}^{\text{ТЕХ}}$, то всеми решениями (2) являются $V = V_{\min}^{\text{ЭК}}$ и $V = V_{\min}^{\text{ТЕХ}}$, при этом $\pi(V_{\min}^{\text{ЭК}}) = \pi(V_{\min}^{\text{ТЕХ}})$ отрицательно. Если решением (4B) является $V = V_{\min}^{\text{ЭК}} = V_{\min}^{\text{ТЕХ}}$, то данное решение является единственным решением (2). Если (4B) не имеет решений, то единственным решением (2) является $V = V_{\min}^{\text{ТЕХ}}$.

Рассмотрим ценовую заявку $S_{\text{конк}} = S_{\text{конк}}(V)$ на поставку объемов электроэнергии в интервале $V_0 \leq V \leq V_{\max}$, где $V_0 = \max\{V_{\min}^{\text{ЭК}}, V_{\min}^{\text{ТЕХ}}\}$ – в модели A и $V_0 = V_{\min}^{\text{ЭК}}$ – в модели B с (многозначной) функцией $S_{\text{конк}}(V)$, которую можно определить следующим образом.

В модели A:

$$\begin{aligned} &\text{при } V_{\min}^{\text{ЭК}} \geq V_{\min}^{\text{ТЕХ}}: S_{\text{конк}}(V) = MC(V), \quad V_0 \leq V \leq V_{\max}, \\ &\text{при } V_{\min}^{\text{ЭК}} < V_{\min}^{\text{ТЕХ}}: \begin{cases} S_{\text{конк}}(V_0) = [C(V_{\min}^{\text{ТЕХ}})/V_{\min}^{\text{ТЕХ}}, MC(V_{\min}^{\text{ТЕХ}})]; \\ S_{\text{конк}}(V) = MC(V), \quad V_0 < V \leq V_{\max}. \end{cases} \end{aligned}$$

В модели B:

$$S_{\text{конк}}(V) = MC(V), \quad V_0 \leq V \leq V_{\max}$$

(далее – “конкурентная” ценовая заявка). Из результатов анализа задачи (2) в моделях A и B для случая отсутствия у поставщика рыночной силы следует, что объем поставки производителя на РСВ, рассчитываемый по итогам спотовых торгов при подаче поставщиком “конкурентной” ценовой заявки на РСВ, оптимизирует (2). Вследствие недетерминированности функции $P(V)$ плановый объем поставки поставщика при подаче им “конкурентной” ценовой заявки включает фактор неопределенности. Однако в рассматриваемом случае подача “конкурентной” ценовой заявки на РСВ гарантирует, что определенный по итогам торгов на спотовом рынке объем поставки производителя максимизирует его фактическую валовую прибыль на РСВ.

Таким образом, в случае если производителю известно, что фактическая узловая цена не зависит от его объема поставки V , то “конкурентная” ценовая заявка $S_{\text{конк}}(V)$ является оптимальной⁵.

Для определения оптимального объема поставки поставщика, прогнозирующего наличие у него рыночной силы в этом сегменте оптового рынка электроэнергии, в задаче (2) вместо фактической валовой прибыли рассмотрим ее ожидаемое значение:

$$\langle \pi(V) \rangle = \langle P(V) \rangle V - C(V). \tag{5}$$

В итоге уравнения (3A) и (3B) принимают следующий вид:

$$\frac{d}{dV} \langle \pi(V) \rangle = 0 \Rightarrow \langle P(V) \rangle = MC(V) \left(1 + \frac{1}{E(V)} \right), \quad V_{\min}^{\text{ТЕХ}} < V < V_{\max}, \tag{6}$$

где $E(V) = (d \ln(P(V))/d \ln V)^{-1}$, причем $E(V) < 0$. В случае детерминистской функции $P(V)$ $E(V)$ отождествляется с эластичностью остаточного спроса на РСВ. Именно из-за наличия фактора неопределенности, связанного с производной узловой цены, задача оптимизации фактической валовой прибыли производителя на РСВ в общем случае не имеет смысла.

Поскольку $MC(V) > 0$ и $\langle P(V) \rangle$ является ограниченной функцией, все решения уравнения (6) – если таковые существуют – принадлежат области $|E(V) > 1|$.

Пусть $V_{\text{конк}}$ – “конкурентный” объем поставки на РСВ – объем поставки, формируемый по результатам расчета РСВ при подаче поставщиком “конкурентной” ценовой заявки. Объем $V_{\text{конк}}$ является решением уравнения $P(V) = S_{\text{конк}}(V)$ в области $V_0 \leq V < V_{\max}$ – если такое решение суще-

⁵ В случае если рассматриваемый поставщик обладает полной информацией о функции остаточного спроса на РСВ на данный час следующих суток, построенной в отношении его узла расчетной модели, оптимальная ценовая стратегия поставщика может не являться единственной: любая ценовая заявка данного поставщика, однозначным результатом участия которой в конкурентном отборе РСВ является получение поставщиком идентичной валовой прибыли на РСВ, становится оптимальной в этом сегменте оптового рынка электроэнергии.

ствует; если рассматриваемое решение отсутствует, то $V_{\text{конк}} = V_{\text{min}}$. Если “конкурентная” заявка отобрана, то $V_{\text{конк}} \geq V_0$ (обратное верно в модели A и в общем случае неверно в модели B). Таким образом, если $V_{\text{конк}}$ ниже V_0 , то “конкурентная” ценовая заявка поставщика на РСВ не была бы отобрана.

Аналогично, используя уравнение $\langle P(V) \rangle = S_{\text{конк}}(V)$, определим $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ – математическое ожидание “конкурентного” объема поставки на РСВ согласно прогнозам поставщика.

При $P = P(V_{\text{конк}})$ фактическая функция валовой прибыли поставщика на РСВ имеет вид

$$\pi^{\text{конк}}(V) = P(V_{\text{конк}})V - C(V).$$

Если $V_{\text{конк}} \geq V_0$, то из приведенного анализа (2) в случае отсутствия у поставщика рыночной силы на РСВ следует, что функция $\pi^{\text{конк}}(V)$ достигает своего максимального значения при объеме поставки, равном $V_{\text{конк}}$:

$$\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}}) = \begin{cases} \text{Max} & \pi^{\text{конк}}(V), \text{ если } V_{\text{конк}} \geq V_0. \\ \{V=0\} \cup \{V_{\text{min}}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\text{max}}\} - \text{в модели } A; & \\ V_{\text{min}}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\text{max}} - \text{в модели } B & \end{cases} \quad (7)$$

Если $V_{\text{конк}} \geq V_0$, то:

– в модели A максимальное значение $\pi^{\text{конк}}(V)$ на множестве допустимых значений V достигается только при $V = V_{\text{конк}}$ и в случае $V_{\text{конк}} = V_0$, $V_{\text{min}}^{\text{эк}} > 0$, а также в случае $V_{\text{min}}^{\text{эк}} = 0$, $V_{\text{конк}} = V_{\text{min}}^{\text{tex}}$, $P(V_{\text{min}}^{\text{tex}}) = C(V_{\text{min}}^{\text{tex}})/V_{\text{min}}^{\text{tex}}$ – при $V = 0$;

– в модели B максимальное значение функции $\pi^{\text{конк}}(V)$ на множестве допустимых значений V достигается только при $V = V_{\text{конк}}$ и в случае $V_{\text{конк}} = V_0$, $V_{\text{min}}^{\text{эк}} > V_{\text{min}}^{\text{tex}}$ – при $V = V_{\text{min}}^{\text{tex}}$.

Аналогичные утверждения справедливы для математического ожидания функции $\hat{\pi}^{\text{конк}}(V) = P(\langle V_{\text{конк}} \rangle)V - C(V)$.

В следующих разделах рассмотрим методы антимонопольного регулирования, которые создают у производителя экономические стимулы формировать такую ценовую заявку на РСВ, которая бы приводила к поставке им на РСВ “конкурентного” объема поставки. Такие меры антимонопольного регулирования применимы, если поставка поставщиком указанного объема экономически целесообразна, т.е. если $V_{\text{конк}} \geq V_0$. При этом наличие у поставщика рыночной силы является необходимым, но не достаточным условием для получения им валовой прибыли, превышающей получаемую при поставке на РСВ “конкурентного” объема поставки. Однако если $V_{\text{конк}} < V_0$, то “конкурентная” ценовая заявка поставщика на РСВ не отбирается, и в случае наличия у поставщика рыночной силы может возникнуть необходимость в применении иных регулирующих процедур.

2. “TAKE OR PAY” КОНТРАКТ НА ПОСТАВКУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ЦЕНОЙ И ОБЪЕМОМ ПОСТАВКИ, ЗНАЧЕНИЯ КОТОРЫХ НЕ ЗАВИСЯТ ОТ РЕЗУЛЬТАТОВ ТОРГОВ НА РСВ

Рассмотрим поставщика, заключившего с иным участником оптового рынка контракт на поставку электроэнергии на РСВ в данный час следующих суток на условиях “take or pay” с договорными объемом поставки и ценой на электроэнергию, значения которых фиксированы до проведения расчета РСВ. Предположим, что соответствующую стоимость потерь и системных ограничений оплачивает контрагент поставщика по данному договору и у рассматриваемого поставщика нет иных контрактов с участниками оптового рынка на поставку/покупку электроэнергии на РСВ.

Тогда $\pi(V)$ – фактическая валовая прибыль данного поставщика на РСВ, определяемая по итогам торгов в отношении данного часа следующих суток, имеет вид:

$$\pi(V) = P(V)(V - V_{\text{д}}) + P_{\text{д}}V_{\text{д}} - C(V), \quad (8)$$

где $P_{\text{д}}$ – договорная цена на поставку электроэнергии в данный час; $V_{\text{д}}$ – договорный объем поставки электроэнергии в указанный час.

Таким образом, валовая прибыль поставщика на РСВ в данный час следующих суток при наличии контракта на поставку электроэнергии на условиях “take or pay” отличается от прибыли, получаемой данным поставщиком в отсутствие такого договора, на разницу между стоимостью договорного объема поставки электроэнергии, рассчитанной по договорной цене, и стоимостью этого объема электроэнергии, рассчитанной по узловой цене. В условиях отсутствия у поставщика рыночной силы на РСВ указанная разница не зависит от выбранной поставщиком ценовой стратегии участия в этом сегменте оптового рынка, и, следовательно, оптимальной ценовой стратегией поставщика является подача “конкурентной” ценовой заявки $S_{\text{конк}}(V)$.

Рассмотрим случай, когда по прогнозам производителя он обладает рыночной силой на РСВ. Объем поставки на РСВ, принадлежащий интервалу $V_{\text{min}}^{\text{tex}} < V < V_{\text{max}}$ и являющийся решением задачи оптимизации математического ожидания валовой прибыли (8), удовлетворяет уравнению

$$\frac{d}{dV} \langle \pi(V) \rangle = 0 \Rightarrow \langle P(V) \rangle = MC(V) \left(1 + \frac{1}{E(V)} \left(\frac{V - V_{\text{д}}}{V} \right) \right), \quad V_{\text{min}}^{\text{tex}} < V < V_{\text{max}}. \quad (9)$$

Поскольку правая часть (9) – невозрастающая функция $V_{\text{д}}$, все решения (9) (если таковые существуют) являются неубывающей функцией $V_{\text{д}}$, а $\langle P(V[V_{\text{д}}]) \rangle$ – невозрастающей функцией $V_{\text{д}}$. Данное обстоятельство согласуется с выводами (Wolak, 2000) о том, что на практике наличие у поставщика контракта с фиксированной ценой и объемом поставки приводит к снижению цен в его оптимальных ценовых заявках.

Пусть оптимальный объем поставки производителя принадлежит интервалу $V_{\text{min}}^{\text{tex}} < V < V_{\text{max}}$, тогда из уравнения (9) следует, что если оптимальный объем поставки не превышает договорного, то ожидаемая узловая цена в узле поставщика не превышает соответствующих предельных издержек поставщика на производство электроэнергии. Если оптимальный объем поставки превышает договорный, то указанная узловая цена будет не ниже предельных издержек поставщика. При этом оптимальный объем поставки производителя не зависит от установленной в договоре цены на электроэнергию в полном соответствии с тем, что размер платежа по договору на условиях “take or pay” (с договорными объемом и ценой поставки), значения которых установлены до проведения расчета РСВ, является фиксированным и не зависит от результатов этого расчета.

Отметим, что если $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ превышает $V_{\text{min}}^{\text{tex}}$ и $V_{\text{д}} = \langle V_{\text{конк}} \rangle$, то $V = \langle V_{\text{конк}} \rangle$ является решением уравнения (9). Покажем, что если $V_{\text{д}} = \langle V_{\text{конк}} \rangle$, $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ не ниже V_0 , то $V = \langle V_{\text{конк}} \rangle$, максимизирует математическое ожидание валовой прибыли (8) в моделях *A* и *B* при соответствующих ограничениях на объем поставки производителя. Ожидаемая поставщиком валовая прибыль (8) для случая $V_{\text{д}} = \langle V_{\text{конк}} \rangle$ может быть представлена в следующем виде:

$$\langle \pi(V) \rangle = \langle \hat{\pi}^{\text{конк}}(V) \rangle + \langle \Delta\pi(V) \rangle + \left[P_{\text{д}} - \langle P(\langle V_{\text{конк}} \rangle) \rangle \right] \langle V_{\text{конк}} \rangle, \quad (10)$$

где $\Delta\pi(V) = [P(V) - P(\langle V_{\text{конк}} \rangle)](V - \langle V_{\text{конк}} \rangle)$. Поскольку функция $\langle P(V) \rangle$ является невозрастающей, то $\langle \Delta\pi(V) \rangle$ не выше нуля. Используя $\Delta\pi(\langle V_{\text{конк}} \rangle) = 0$ и равенство для $\langle \hat{\pi}^{\text{конк}}(V) \rangle$, аналогичное (7), получаем для валовой прибыли (10) при $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ не ниже V_0 :

$$\langle \pi(\langle V_{\text{конк}} \rangle) \rangle = \underset{\substack{\{V=0\} \cup \{V_{\text{min}}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\text{max}}\} - \text{в модели } A; \\ V_{\text{min}}^{\text{tex}} \leq V \leq V_{\text{max}} - \text{в модели } B}}{\text{Max}} \langle \pi(V) \rangle = \langle \hat{\pi}^{\text{конк}}(\langle V_{\text{конк}} \rangle) \rangle. \quad (11)$$

Легко видеть, что при $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ не ниже V_0 любое значение оптимального объема поставки поставщика с $V_{\text{д}} = \langle V_{\text{конк}} \rangle$ принадлежит набору значений оптимального объема поставки данного поставщика, определенному в отсутствие указанного контракта, и ожидаемой узловой цене в данный час следующих суток, равной $\langle P(V_{\text{конк}}) \rangle = \text{const}$, т.е. без учета производителем своей рыночной силы на РСВ. В частности, если $\langle P(V) \rangle$ является строго убывающей, то $V = \langle V_{\text{конк}} \rangle$ – единственное значение оптимального объема поставки.

Если значение оптимального объема поставки поставщика с математическим ожиданием функции валовой прибыли (10) и $\langle V_{\text{конк}} \rangle \geq V_0$ не является единственным, то $\langle P(V) \rangle = \text{const}$ на отрезке $[0, \langle V_{\text{конк}} \rangle]$ – в модели *A* и на отрезке $[V_{\text{min}}^{\text{tex}}, \langle V_{\text{конк}} \rangle]$ – в модели *B*. При этом поставка поставщиком на РСВ любого объема из множества оптимальных объемов поставки по прогнозам производителя формирует в узле поставщика одну и ту же узловую цену.

Следовательно, при $\langle V_{\text{конк}} \rangle$ не ниже V_0 , а также справедливости изложенных выше предположений оптимальным объемом поставки заключившего данный договор поставщика является $\langle V_{\text{конк}} \rangle$.

Можно показать, что в обеих моделях наличие указанного договора с договорным объемом поставки $V_{\text{Д}} = \langle V_{\text{конк}} \rangle$ – в случае невыполнения условия $\langle V_{\text{конк}} \rangle \geq V_0$ – не изменяет оптимального объема поставки поставщика.

Рассмотрим следующий метод антимонопольного регулирования: регулятор (или уполномоченная им организация) после подачи всеми участниками ценовых заявок на РСВ рассчитывает функцию остаточного спроса в узле поставщика $P(V)$, а также прогнозирует $C(V)$ и определяет прогнозные (с точки зрения регулятора) значения объема V_0 и “конкурентного” объема поставки поставщика (далее – \bar{V}_0 и $\bar{V}_{\text{конк}}$ соответственно). Если поставщик обладает рыночной силой на РСВ и $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$, то регулятор формирует для поставщика договор на поставку объема электроэнергии $\bar{V}_{\text{конк}}$ по цене $P(\bar{V}_{\text{конк}})$ на условиях “take or pay”. В таком случае функция валовой прибыли поставщика на РСВ примет вид:

$$\pi(V) = P(V)(V - \bar{V}_{\text{конк}}) + P(\bar{V}_{\text{конк}})\bar{V}_{\text{конк}} - C(V). \quad (12)$$

Предположим, что поставщику известен данный алгоритм применения регулирующих процедур на РСВ. Однако если на момент формирования ценовой заявки на РСВ производителю не известен объем поставки электроэнергии по контракту, то данное обстоятельство приводит к образованию у производителя дополнительного фактора неопределенности. В случае если данная мера регулирования применяется в отношении только одного поставщика, то регулятор мог бы сообщать этому участнику значение $\bar{V}_{\text{конк}}$ до подачи им ценовой заявки на РСВ, при этом поставщик подавал бы указанную заявку после остальных участников оптового рынка. Тем не менее вследствие отличия прогнозируемой поставщиком функции $\langle P(V) \rangle$, а также прогнозируемых регулятором величин $\bar{V}_{\text{конк}}$ и \bar{V}_0 от соответствующих фактических параметров применение данного метода антимонопольного регулирования в общем случае приводит к отклонению оптимального – по прогнозам поставщика – объема поставки от $V_{\text{конк}}$.

3. МЕРА АНТИМОНОПОЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТРАКТА “TAKE OR PAY” С ДОГОВОРНЫМИ ЦЕНАМИ И ОБЪЕМАМИ ПОСТАВКИ, ЯВЛЯЮЩИМИСЯ ФУНКЦИЯМИ ОБЪЕМА ПОСТАВКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ НА РСВ

Отметим, что в общем случае равенство ожидаемой узловой цены в узле поставщика и предельных издержек на производство соответствующего объема электроэнергии в уравнении (9) достигается только для объема поставки, равного $V_{\text{Д}}$.

Возникает естественный вопрос: “Возможно ли в случае $V_{\text{конк}} \geq V_0$ сформировать для поставщика такой контракт вида “take or pay” на поставку электроэнергии на РСВ, что если:

1) при формировании ценовой заявки на РСВ поставщик обладает информацией о том, что в отношении него может быть сформирован некоторый договорный объем поставки, а также об алгоритме определения этого объема (при этом на момент формирования им ценовой заявки на РСВ поставщик может не обладать информацией о значении договорного объема поставки);

2) указанный договор формируется на основе фактической функции остаточного спроса на РСВ, а также прогнозного значения “конкурентного” объема поставки $\bar{V}_{\text{конк}}$, возможно отличного от его фактического значения $V_{\text{конк}}$,

то оптимальная ценовая стратегия участия данного поставщика на РСВ не зависит от использованного при формировании договора значения $\bar{V}_{\text{конк}}$ и заключается в подаче “конкурентной” ценовой заявки; причем если $\bar{V}_{\text{конк}} = V_{\text{конк}}$, то соответствующая валовая прибыль, получаемая поставщиком на РСВ в данный час суток при реализации указанной стратегии, равняется $\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$?”

Покажем, что ответ на данный вопрос является положительным и, следовательно, в случае $V_{\text{конк}} \geq V_0$ (и справедливости сформулированных ниже условий на отклонения объемов $\bar{V}_{\text{конк}}$ и \bar{V}_0

от соответствующих фактических значений) данный договор может быть использован в качестве меры антимонопольного регулирования в отношении поставщика, обладающего рыночной силой на РСВ.

Рассмотрим в качестве валовой прибыли поставщика на РСВ следующую функцию:

$$\pi(V) = P(V)V - C(V) - \int_{V_{\text{конк}}}^V \frac{P(\xi)}{e(\xi)} d\xi, \quad (13)$$

где $e(V) = (d \ln P(V) / d \ln V)^{-1}$. Последний член в правой части отражает наличие рыночной силы у поставщика. Легко убедиться, что $\pi(V_{\text{конк}}) = \pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$ и

$$\frac{d}{dV} \pi(V) = 0 \Rightarrow P(V) = MC(V).$$

Функцию (13) удобно представить в виде $\pi(V) = \pi^{\text{конк}}(V) + \Delta\pi$, где $\Delta\pi = \int_{V_{\text{конк}}}^V [P(\xi) - P(V_{\text{конк}})] d\xi$.

Вследствие невозрастания функции остаточного спроса $P(V)$ имеем $\Delta\pi \leq 0$. При $V_{\text{конк}} \geq V_0$ для $V \in \{0\} \cup \{V_{\text{мин}}^{\text{тех}} \leq V \leq V_{\text{макс}}\}$ – в модели А и $V_{\text{мин}}^{\text{тех}} \leq V \leq V_{\text{макс}}$ – в модели В, используя $\Delta\pi(V_{\text{конк}}) = 0$, имеем

$$\pi(V) \leq \pi^{\text{конк}}(V) \leq \pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}}) = \pi(V_{\text{конк}}).$$

Следовательно,

$$\pi(V_{\text{конк}}) = \begin{matrix} \text{Max} \\ \{V=0\} \cup \{V_{\text{мин}}^{\text{тех}} \leq V \leq V_{\text{макс}}\} - \text{в модели А;} \\ V_{\text{мин}}^{\text{тех}} \leq V \leq V_{\text{макс}} - \text{в модели В} \end{matrix} \pi(V) = \pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}}), \text{ если } V_{\text{конк}} \geq V_0. \quad (14)$$

Таким образом, если $V_{\text{конк}} \geq V_0$, то максимальное значение $\pi(V)$ достигается при объеме поставки, равном $V_{\text{конк}}$. Причем если функция $P(V)$ является строго убывающей, то указанное решение – единственное значение оптимального объема поставки. Легко видеть, что при $V_{\text{конк}} \geq V_0$ набор значений оптимального объема поставки поставщика с функцией валовой прибыли (13) является подмножеством набора значений оптимального объема поставки данного поставщика, определенных для $P = P(V_{\text{конк}}) = \text{const}$ на отрезке $V_{\text{мин}} \leq V \leq V_{\text{макс}}$. Поставка поставщиком на РСВ любого объема из указанного подмножества приводит к формированию на РСВ одной и той же узловой цены на электроэнергию в узле поставщика.

В итоге в случае $V_{\text{конк}} \geq V_0$ оптимальная ценовая стратегия на РСВ поставщика с функцией валовой прибыли в этом сегменте оптового рынка, определенной равенством (13), заключается в подаче “конкурентной” ценовой заявки.

Функцию валовой прибыли (13) можно представить в следующем виде:

$$\pi(V) = P(V_{\text{конк}})V_{\text{конк}} + \int_{V_{\text{конк}}}^V P(\xi) d\xi - C(V). \quad (15)$$

Как следует из (15), функция $\pi(V)$ имеет простой экономический смысл при $V \geq V_{\text{конк}}$: $\pi(V)$ – валовая прибыль, которую получает поставщик на РСВ при продаже объема $V_{\text{конк}}$ по узловой цене, формируемой при подаче поставщиком “конкурентной” ценовой заявки, и при продаже остальной части объема поставки, используя совершенную ценовую дискриминацию остаточного спроса на РСВ.

Отметим, что если условие $V_{\text{конк}} \geq V_0$ не соблюдается, то в общем случае максимальное значение рассматриваемой валовой прибыли (15) не равно $\pi(V_{\text{конк}})$.

Отклонение “конкурентного” объема поставки $\bar{V}_{\text{конк}}$, рассчитанного регулятором на основе $P(V)$ и прогнозной функции переменных затрат поставщика, от фактического значения объема $V_{\text{конк}}$, определенного исходя из $P(V)$ и $C(V)$, а также отличие объема \bar{V}_0 , рассчитанного на основе,

возможно, неполной информации о функции $C(V)$, от его фактического значения V_0 могут привести к отсутствию договорного объема поставки в случае, когда $V_{\text{конк}} \geq V_0$ и рассматриваемая антимонопольная мера могла бы быть применена, а также к формированию договорного объема поставки в случае, когда условие $V_{\text{конк}} \geq V_0$ не соблюдено и указанная мера является недействительной. Будем называть отклонения $\delta V_{\text{конк}} = \bar{V}_{\text{конк}} - V_{\text{конк}}$ и $\delta V_0 = \bar{V}_0 - V_0$ “допустимыми”, если $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$ тогда и только тогда, когда $V_{\text{конк}} \geq V_0$.

Можно показать, что это требование накладывает следующие ограничения на отклонения $\delta V_{\text{конк}}$ и δV_0 :

- 1) $\max(\delta V_{\text{конк}} - \delta V_0; 0) \leq \bar{V}_{\text{конк}} - \bar{V}_0$ при $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$;
- 2) $\delta V_{\text{конк}} = 0$ – в модели A и $\delta V_{\text{конк}} = 0$, $\max(\delta V_0; 0) < \bar{V}_0 - V_{\text{мин}}$ – в модели B при $\bar{V}_{\text{конк}} < \bar{V}_0$.

Таким образом, если отклонения рассчитанных на основе прогнозных данных величин $\bar{V}_{\text{конк}}$ и \bar{V}_0 от их фактических значений являются “допустимыми”, формирование договорного объема поставки для применения рассматриваемой меры антимонопольного регулирования на РСВ происходит только в случае $V_{\text{конк}} \geq V_0$.

В случае использования прогнозного значения “конкурентного” объема поставки поставщика и (фактической) узловой цены в данный час суток валовая прибыль поставщика имеет вид:

$$\tilde{\pi}(V) = P(\bar{V}_{\text{конк}}) \bar{V}_{\text{конк}} + \int_{\bar{V}_{\text{конк}}}^V P(\xi) d\xi - C(V). \quad (16)$$

Так как функция валовой прибыли (16) отличается от валовой прибыли (15) на постоянное слагаемое (не зависящее от V), набор значений оптимального объема поставки поставщика с валовой функцией (16) не зависит от значения $\bar{V}_{\text{конк}}$ и инвариантен относительно любых отклонений объема $\bar{V}_{\text{конк}}$ от объема $V_{\text{конк}}$. При $V_{\text{конк}} \geq V_0$ “конкурентный” объем поставки является оптимальным для поставщика с функцией валовой прибыли (15). Следовательно, при $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$ в случае “допустимых” отклонений \bar{V}_0 и $\bar{V}_{\text{конк}}$ от V_0 и $V_{\text{конк}}$, соответственно, объем $V_{\text{конк}}$ является оптимальным объемом поставки для функции валовой прибыли (16).

Функция валовой прибыли (16) может быть моделирована для данного поставщика посредством заключения договора на поставку электроэнергии в часы суток, для которых $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$ и отклонения $\delta V_{\text{конк}}$ и δV_0 являются “допустимыми”: сравнение с (8) для случая договорных цены и объема поставки, являющихся функциями объема поставки поставщика на РСВ, дает

$$P_{\text{д}}(V) = P(V) - \frac{1}{V_{\text{д}}(V)} \int_{\bar{V}_{\text{конк}}}^V \frac{P(\xi)}{e(\xi)} d\xi. \quad (17)$$

В частном случае отсутствия у поставщика рыночной силы $P(V) = \text{const}$ и, следовательно, $e(V) = \infty$ при $V_{\text{мин}} \leq V \leq V_{\text{макс}}$, таким образом, согласно (17) договорная цена поставки равна узловой цене для всех допустимых значений объема поставки поставщика.

Для заданной неотрицательной функции $V_{\text{д}}(V)$ цена поставки электроэнергии по рассматриваемому договору определяется согласно (17) и является функцией V . Если значение интеграла

$\int_{\bar{V}_{\text{конк}}}^V (P(\xi)/e(\xi)) d\xi$ не равно нулю при некотором V , то и значение $V_{\text{д}}(V)$ должно быть отлично от нуля⁶.

Условие неотрицательности $P_{\text{д}}(V)$ накладывает дополнительное ограничение на $V_{\text{д}}(V)$. Поскольку эластичность $e(V) \leq 0$, в области $V > \bar{V}_{\text{конк}}$ значение интеграла в правой части (17) не выше нуля и условие $P_{\text{д}}(V) \geq 0$ заведомо выполняется. Однако для значений объема поставки

⁶ В ином случае договор на поставку электроэнергии с такой функцией $V_{\text{д}}(V)$ в общем случае не реализует валовую прибыль поставщика (16), которая функционально не зависит от $V_{\text{д}}(V)$ и, следовательно, является определенной при любом выборе функции $V_{\text{д}}(V)$.

из отрезка $V_{\min} \leq V \leq \bar{V}_{\text{конк}}$ указанный интеграл является неотрицательным и условие $P_{\text{д}}(V) \geq 0$ принимает вид:

$$V_{\text{д}}(V) \geq \frac{1}{P(V)} \int_V^{\bar{V}_{\text{конк}}} \frac{P(\xi)}{|e(\xi)|} d\xi, \quad (18)$$

откуда следует, например, что $V_{\text{д}}(V) \geq V[P(V) - P(\bar{V}_{\text{конк}})]/P(V)$. В общем случае значение $V_{\text{д}}(V)$ при некотором V , $V_{\min} \leq V \leq \bar{V}_{\text{конк}}$, может оказаться выше $\bar{V}_{\text{конк}}$. Однако при достаточно высокой эластичности остаточного спроса в качестве $V_{\text{д}}(V)$ может быть выбрана функция, значения которой на отрезке $V_{\min} \leq V \leq \bar{V}_{\text{конк}}$ не превышают $\bar{V}_{\text{конк}}$.

В итоге, если $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$ и отклонения $\bar{V}_{\text{конк}}$ и \bar{V}_0 от $V_{\text{конк}}$ и V_0 , соответственно, являются “допустимыми”, объем поставки $V_{\text{конк}}$ – оптимальный объем поставки поставщика при наличии контракта на поставку электроэнергии на условиях “take or pay”, сформированного исходя из фактической функции остаточного спроса на РСВ в узле поставщика и прогнозного значения “конкурентного” объема поставки поставщика на РСВ $\bar{V}_{\text{конк}}$, с договорной ценой и объемом поставки, удовлетворяющими уравнению (17).

Следовательно, подача “конкурентной” ценовой заявки $S_{\text{конк}}$ является оптимальной ценовой стратегией поставщика на РСВ. В случае реализации поставщиком данной ценовой стратегии $P(V) = P(V_{\text{конк}})$, однако в общем случае $P_{\text{д}}(V_{\text{конк}}) \neq P(V_{\text{конк}})$, что может приводить к отличию $\tilde{\pi}(V_{\text{конк}})$ от $\pi(V_{\text{конк}}) = \pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$.

Можно показать, что при применении данной меры антимонопольного регулирования отклонения $\bar{V}_{\text{конк}}$ – значения прогнозируемого регулятором “конкурентного” объема поставки, используемого для определения договорного объема и цены поставки, от $V_{\text{конк}}$ – фактического значения “конкурентного” объема поставки приводят к следующим отклонениям максимума валовой прибыли (16) на рассматриваемых множествах значений V от $\pi_{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$:

$$\delta\pi = \frac{P(\bar{V}_{\text{конк}})}{e(\bar{V}_{\text{конк}})} (\bar{V}_{\text{конк}} - V_{\text{конк}}) + O[(\bar{V}_{\text{конк}} - V_{\text{конк}})^2]. \quad (19)$$

Так как в обеих моделях рассматриваемая мера антимонопольного регулирования в случае невыполнения условия $V_{\text{конк}} \geq V_0$ не является эффективной, при необходимости ограничения рыночной силы производителя на РСВ при $V_{\text{конк}} < V_0$ (т.е. при $V_{\text{конк}} = V_{\min}$ – в модели А и $V_{\text{конк}} = V_{\min} < V_0$ – в модели В) в отношении этого поставщика целесообразно использовать иные регулирующие процедуры.

При условии соблюдения неравенства (18) договорный объем поставки может быть выбран не зависящим от V . В таком случае для соблюдения требования $P_{\text{д}}(V) \geq 0$ достаточно выбрать договорный объем, удовлетворяющий неравенству

$$V_{\text{д}} \geq \frac{1}{P(V_{\text{конк}})} \int_{V_{\min}}^{\bar{V}_{\text{конк}}} \frac{P(\xi)}{|e(\xi)|} d\xi.$$

Можно показать, что справедливо аналогичное утверждение для договорной цены поставки: существует (неотрицательная) функция договорного объема поставки $V_{\text{д}}(V)$, при которой (неотрицательная) договорная цена поставки, удовлетворяющая (17), не зависит от V и равна $P(V_{\text{конк}})$.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Механизмы антимонопольного регулирования являются частью регулирования оптового рынка электроэнергии. Их применение приобретают особую актуальность в часы пиковых нагрузок в энергосистеме. В настоящей статье рассмотрены методы антимонопольного регулирования, основанные на формировании в отношении производителя, обладающего рыночной силой на РСВ, контракта на поставку электроэнергии на условиях “take or pay”. В случае если поставщик не обладает рыночной силой на РСВ, то оптимальная ценовая стратегия поставщика в этом сегменте оптового рынка заключается в подаче “конкурентной” ценовой заявки. Заключение таким

поставщиком договора на поставку электроэнергии на условиях “take or pay” с договорным объемом и ценой поставки, которые не зависят от результатов расчета РСВ, не изменяет оптимальную ценовую стратегию поставщика на РСВ. Если поставщик обладает рыночной силой на РСВ, то оптимальный объем поставки поставщика в общем случае может отличаться от “конкурентного”. Заключение таким поставщиком договора на поставку электроэнергии на условиях “take or pay” с объемом и ценой поставки, которые не зависят от результатов расчета РСВ, в общем случае изменяет значение оптимального объема поставки поставщика.

В разд. 2 была рассмотрена мера антимонопольного регулирования, основанная на формировании в отношении поставщика контракта вида “take or pay” (для часов суток, в которые $V_{\text{конк}} \geq V_0$), со значениями цены и объема поставки электроэнергии, которые не зависят от итогов торгов на РСВ. Однако вследствие наличия фактора неопределенности в прогнозируемой производителем (обратной) функции остаточного спроса на РСВ в узле этого поставщика, а также неполной информации у регулятора о функции переменных затрат рассматриваемого производителя в общем случае применение данного метода регулирования приводит к отклонению оптимального – по прогнозам поставщика – объема поставки от “конкурентного”. Можно показать, что если при применении данной регулирующей процедуры поставщик на момент формирования им ценовой заявки на РСВ обладает полной информацией о функции $P(V)$ и при договорном объеме поставки (равном $\bar{V}_{\text{конк}}$), то равенство (19) является справедливым и в данном случае.

В разд. 3 предложен иной метод антимонопольного регулирования на РСВ в часы суток с $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$, который (при “допустимых” отклонениях $\bar{V}_{\text{конк}}$ и \bar{V}_0 от $V_{\text{конк}}$ и V_0 , соответственно, обусловленных неполной доступной регулятору информации о функции переменных затрат поставщика) создает такие условия участия поставщика на РСВ, при которых “конкурентный” объем поставки $V_{\text{конк}}$ является оптимальным. Данный метод основан на формировании в отношении производителя контракта на поставку на РСВ электроэнергии на условиях “take or pay” в часы суток, в которые $\bar{V}_{\text{конк}} \geq \bar{V}_0$, с ценами и объемами поставки, которые являются функциями его объема поставки на РСВ. При этом значения оптимального объема поставки производителя на РСВ не зависят от значения $\bar{V}_{\text{конк}}$, используемого при расчете договорной цены и объема поставки. Следовательно, данная мера антимонопольного регулирования не предполагает наличия у поставщика на момент формирования им своей ценовой заявки на РСВ информации о значении $\bar{V}_{\text{конк}}$, а также договорных объемов и цен поставки по контракту. Отличие $V_{\text{конк}}$ от $\bar{V}_{\text{конк}}$, однако, может привести к отличию договорной цены поставки от $P(V_{\text{конк}})$ и, следовательно, возникновению соответствующей разницы⁷ между валовой прибылью поставщика на РСВ в данный час суток и $\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$. При этом если данный контракт сформирован в отношении поставщика, не имеющего рыночной силы на РСВ, то договорная цена равна узловой цене в узле данного производителя, поэтому подача таким поставщиком “конкурентной” ценовой заявки на РСВ приводит к получению им валовой прибыли, равной $\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$ и не зависящей от значения объема $\bar{V}_{\text{конк}}$.

В изложенных в разд. 2 и 3 методах антимонопольного регулирования отклонение прогнозируемого регулятором “конкурентного” объема поставки производителя на РСВ от фактического значения этого объема может привести к отличию дохода, получаемого поставщиком от продажи электроэнергии по рассматриваемому договору, от дохода, который он может получить при продаже договорного объема поставки по сложившейся на РСВ цене в узле поставщика. В таком случае договорная цена поставки по договору не совпадает с узловой ценой в узле поставщика и, следовательно, стоимость договорного объема электроэнергии, купленного покупателем – контрагентом рассматриваемого поставщика по данному договору, с учетом оплаты соответствующей разницы узловых цен может оказаться отличной от стоимости этого объема, рассчитанной по узловым ценам в узлах покупателя. В качестве контрагента по данному контракту может действовать организация, выступающая в роли закупщика, которая перепродает купленную по данному договору электроэнергию всем (либо выделенным по территориальному или иному признаку) покупателям на оптовом рынке. Независимо от того, кто является фактическим покупателем (покупателями) по данному договору, данное отклонение стоимости купленной по договору электроэнергии может быть интерпретировано как искажение итоговых узловых цен для участ-

⁷ Если $V_{\text{конк}}$ превышает $\bar{V}_{\text{конк}}$, то $P_{\text{д}}(V_{\text{конк}}) \geq P(V_{\text{конк}})$ и получаемая поставщиком валовая прибыль не ниже $\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$. В ином случае $P_{\text{д}}(V_{\text{конк}}) \leq P(V_{\text{конк}})$ и получаемая поставщиком валовая прибыль не выше $\pi^{\text{конк}}(V_{\text{конк}})$.

ников оптового рынка – цен, обеспечивающих соблюдение финансового баланса на РСВ после распределения фонда разницы узловых цен РСВ. При применении изложенной в разд. 2 меры антимонопольного регулирования данное изменение итоговых цен РСВ для фактического покупателя электроэнергии по сформированному договору рассматривается относительно узловых цен РСВ, значения которых уже, возможно, были деформированы рыночной силой поставщика. В результате неполное устранение влияния рыночной силы поставщика на узловых ценах может существенно повлиять на финансовые результаты участия на РСВ иных участников оптового рынка. Однако при использовании метода антимонопольного регулирования, рассмотренного в разд. 3, указанное искажение итоговых узловых цен обусловлено только отличием договорной цены поставки от узловой цены в узле поставщика, при этом рыночная сила поставщика – при реализации им своей доминирующей ценовой стратегии на РСВ – не проявляется в узловых ценах РСВ, ни в узле данного поставщика, ни в иных узлах расчетной модели.

Рассмотренные меры антимонопольного регулирования предполагают расчет значения “конкурентного” объема поставки в отношении каждого часа следующих суток и применимы при условии $V_{\text{конк}} \geq V_0$. В случае если условие $V_{\text{конк}} \geq V_0$ не соблюдается (т.е. если $V_{\text{конк}} = V_{\text{min}}$ – в модели *A*, $V_{\text{конк}} = V_{\text{min}} < V_0$ – в модели *B*), однако оптимальный объем поставки поставщика при использовании им своей рыночной силы на РСВ превышает V_{min} и максимум совокупной функции благосостояния РСВ достигается при поставке поставщиком на РСВ отличного от V_{min} объема электроэнергии (данная ситуация возможна при $V_0 > V_{\text{min}}^{\text{тех}}$), в отношении этого поставщика могут быть применены другие методы антимонопольного регулирования. Отметим, что величины V_0 и \bar{V}_0 используются для определения возможности применения рассмотренных мер антимонопольного регулирования, причем отклонение δV_0 не влияет на валовую прибыль, которую получает поставщик на РСВ при использовании в отношении него этих регулирующих процедур (при условии, что отклонения δV_0 и $\delta V_{\text{конк}}$ являются “допустимыми”).

При рассмотрении методов антимонопольного регулирования на РСВ основным объектом анализа являлась валовая прибыль, которую получает поставщик на РСВ. Одним из способов реализации функций валовой прибыли (12) и (13) является формирование в отношении поставщика договора на поставку электроэнергии на условиях “take or pay”. Интересно отметить, что для реализации рассмотренного в разд. 3 метода антимонопольного регулирования вместо контракта на поставку электроэнергии можно сформировать контракт на покупку электроэнергии, поскольку уравнение (17) может быть формально рассмотрено и при отрицательных значениях функции $V_{\text{д}}(U)$. В таком случае производитель покупает договорный объем электроэнергии по указанной в контракте цене (формуле цены) и продает этот объем, а также свой объем поставки – по узловой цене. Другим вариантом реализации на РСВ функций валовой прибыли (12) и (13) является установление в отношении поставщика, обладающего рыночной силой на РСВ, в часы суток, для которых $V_{\text{конк}} \geq V_0$, особых правил участия на РСВ, идентичных торговле на РСВ при наличии указанного контракта.

Как следует из (8), приведенный в настоящей статье анализ можно применить и для случая наличия у поставщика нескольких договоров на РСВ на поставку электроэнергии на условиях “take or pay”, поскольку (в предположении, что соответствующую разницу узловых цен оплачивает контрагент производителя по договору) валовая прибыль поставщика идентична получаемой им в случае заключения одного договора на поставку суммарных договорных объемов поставки по цене, равной средневзвешенной из соответствующих договорных цен поставки.

Было бы интересно обобщить приведенный анализ оптимальной ценовой стратегии поставщика на РСВ и рассмотренные методы антимонопольного регулирования на РСВ в отношении обладающего рыночной силой поставщика для случаев, когда он владеет несколькими объектами генерации (отнесенными к различным узлам расчетной модели и в отношении которых поставщиком подаются отдельные ценовые заявки на РСВ), а также на случаи возможного сговора между поставщиком и некоторыми участниками оптового рынка. При рассмотрении данных вопросов целесообразно учесть возможность наличия у поставщика интегральных ограничений на ресурсы, используемые для производства электроэнергии, и рассмотреть экономические последствия участия поставщика в остальных сегментах рынков электроэнергии и осуществления им иных видов хозяйственной деятельности (например, производства тепловой энергии), обусловленные выбранной им ценовой стратегией участия на РСВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волконский В.А., Кузовкин А.И., Поманский А.Б.** (1986): Об определении дифференцированных по времени тарифов на энергию и услуги // *Экономика и мат. методы*. Т. XXII. Вып. 1.
- Давидсон М.Р., Догадушкина Ю.В.** и др. (2004): Математическая модель конкурентного оптового рынка электроэнергии в России // *Известия РАН. Теория и системы управления*. № 3.
- Allaz B.L.** (1987): Strategic Forward Transactions Under Imperfect Competition: The Duopoly Case. Ph. D. Dissertation. Department of Economics. Princeton University.
- Allaz B.L.** (1992): Oligopoly, Uncertainty and Strategic Forward Transactions // *Intern. Journal of Industrial Organization*. Vol. 10.
- Allaz B.L., Vila J.-J.** (1993): Cournot Competition, Forward Markets and Efficiency // *Journal of Econ. Theory*. Vol. 59.
- Anderson E., Xu H.** (2005): Supply function equilibrium in electricity spot markets with contracts and price caps // *Journal of Optimization Theory and Applications*. № 124.
- Bessembinder H., Lemmon M.L.** (2002): Equilibrium pricing and optimal hedging in electricity forward markets // *The Journal of Finance*. Vol. 57. № 3.
- Bohn R.E., Caramanis M.C., Schweppe F.C.** (1984): Optimal Pricing in Electrical Networks Over Space and Time // *Rand Journal of Economics*. Vol. 15. № 3. Autumn.
- Cramton P., Wilson R.** (1998): A Review of ISO New England's Proposed Market Rules // *Market Design, Inc.* September 9.
- David M.N.** (1998): Competition, Contracts and Entry in the Electricity Market // *RAND Journal of Economics*. Vol. 29. № 4. Winter.
- Green R.** (1999): The Electricity Contract Market in England and Wales // *Journal of Industrial Economics*. Vol. 47.
- Hogan W.W.** (1998a): Getting the Prices Right in PJM: What the Data Teaches Us // *Electricity Journal*. August–September.
- Hogan W.W.** (1998b): Nodes and Zones in Electricity Markets: Seeking Simplified Congestion Pricing. In: Hung-po Chao, Huntington H.G. (eds.) *Defining Competitive Electricity Markets*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Littlechild S.C.** (1988): Spot Pricing of Electricity: Arguments and Prospects // *Energy Policy*. Vol. 16. № 4.
- Schweppe F.C., Caramanis M.C.** et al. (1988): Spot Pricing of Electricity. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Stoft S.** (1997): Transmission Pricing in Zones: Simple or Complex? // *The Electricity Journal*. Vol. 10. № 1. January–February.
- Wolak F.A.** (2000): An Empirical Analysis of the Impact of Hedge Contracts on Bidding Behavior in a Competitive Electricity Market // *Intern. Economic Journal*. Vol. 14 (2).

Поступила в редакцию
24.09.2007 г.

“Take or Pay” Contract for Electric Power as Antimonopoly Measure in the “Day Ahead” Market

V.A. Borokhov

We propose algorithm of structuring an electric power delivery contract of “take or pay” type for a generator with market power in the “day ahead” electric power market, which – under the general conditions – ensures that generator’s dominating bidding strategy in the “day ahead” market is equivalent to its dominating bidding strategy in the market with perfect competition. In a general case, contracted amount of electric power and (or) contract price depend on the amount of electric power production planned for such a generator in the “day ahead” market. We study the conditions of stability of the proposed method under deviation of the estimated parameters in the contract set up from their actual values. Such contracts can be applied in electric power markets to mitigate market power of electricity generators in the “day ahead” market of electric power.