



ЕВРОСИБЭНЕРГО

# EN+

## DEVELOPMENT

Антимонопольное  
регулирование на основе  
механизма Викри-Кларка-Гровса

Вадим Борохов  
Директор по развитию рынка  
электроэнергии  
ООО «Эн+девелопмент»

- **Антимонопольное регулирование на оптовом рынке э/э (РСВ/БР)**
  - Ex-Ante (превентивное)
  - Ex-Post (пост-фактум)
- **Основные этапы превентивного антимонопольного регулирования:**
  1. выработка критериев необходимости применения антимонопольного регулирования, например:
    - оценка рыночной силы
      - применение индексов (ННІ, эластичность остаточного спроса, пр.)
      - тесты (проверка наличия совместно «пivотальных» продавцов, влияние на рынок заявок с ценами выше установленных референтных значений, пр.)
    - сравнение поданных заявок с бенчмарками
    - применение статистических, эконометрических методов
  2. (алгоритмическое) принятие решения о (не)применении регулирования
  3. при положительном решении – изменение условий участия в торговле, например:
    - замена поданной участником заявки на иную заявку (заранее согласованную с регулятором заявку, заявку на основе бенчмарков, историческую заявку в периоды с низкими значениями показателями рыночной силы, пр.)
    - применение прайс-кэпов (индивидуальных/дифф. по группам участников)
    - применение регулируемых тарифов
- **Основная задача антимонопольного регулирования – обеспечить такой исход торгов, который бы сложился при подаче участником «честной» заявки**
- **Неполнота информации об участнике у регулятора - основное препятствие для эффективного антимонопольного регулирования**

**Вопрос: если полная информация об участнике есть только у этого участника, то какими должны быть условия его участия на рынке (п. 3), чтобы участнику было оптимально (в смысле слабо доминирующей стратегии) подать «честную» заявку?**

# Теория экономических механизмов<sup>1</sup>

Понятие экономического механизма, адаптированное для рынка э/э

- Пусть есть множество  $I$  участников рынка,  $i=1, \dots, \|I\|$ , участвующих в торговле некоторым товаром (подход применим и для корзины товаров)
- Есть множество возможных исходов торгов  $S$
- Каждый участник имеет известную только ему информацию об его экономике, которой соответствует «честная» заявка  $B_i^{true}$
- Для участия в торгах каждый участник подает заявку  $B_i$  (потенциально отличную от  $B_i^{true}$ )
- Участники действуют независимо (не вступают в коалиции)
- На основе поданных  $B_i$ ,  $i=1, \dots, \|I\|$ , организатор торгов в отношении каждого участника формирует функцию  $U_i(z_i, B_i)$ , являющуюся
  - функцией полезности от потребления товара в объеме  $z_i$  - для покупателя  $i$
  - (со знаком минус) функцией затрат на производство товара в объеме  $z_i$  – для продавца  $i$
- Организатор по некоторому (заранее известному участникам) алгоритму на основе  $U_i(z_i, B_i)$ ,  $i=1, \dots, \|I\|$ , и  $S$  определяет исход торгов в виде
  - объема проданного/купленного товара – для каждого продавца/покупателя посредством решения задачи
  - получаемого/оплачиваемого платежа – для каждого продавца/покупателя.

$$\max_{z \in S} \sum_{i \in I} U_i(z_i, B_i)$$

- Варианты участия в торгах: добровольное/обязательное участие (при добровольном участии требуется, чтобы прибыль каждого участника была неотрицательной в предположении, что поданная им заявка является «честной»); нулевой платеж участнику(-ом) при отсутствии покупки/продажи; пр.

**Вопрос: каким должен быть порядок расчета платежа, чтобы каждому участнику было оптимально (в смысле слабо доминирующей стратегии) подать «честную» заявку  $B_i^{true}$ ?**

---

<sup>1</sup> Leo Hurwicz, Roger Myerson, Eric Maskin - Нобелевская премия по экономике за 2007 г.

# Задача макс. прибыли продавца

- Пусть  $P(V)$  – рыночная цена в зависимости от объема производства  $V$ ,  $C^{\text{true}}(V)$  – истинная функция затрат при производстве товара в объеме  $V$ ,  $V \in [V_{\min}, V_{\max}]$ , тогда прибыль продавца имеет вид

$$P(V)*V - C^{\text{true}}(V)$$

- При подаче на рынок ценовой заявки, соответствующей функции затрат  $C(V)$ , исходом торгов для данного продавца является решение уравнения  $P(V)=C'(V)$  – если исход внутри интервала  $(V_{\min}, V_{\max})$ .
- Предположим продавец имеет всю информацию о функции  $P(V)$ . Если максимум прибыли продавца достигается внутри интервала  $(V_{\min}, V_{\max})$ , то оптимальный объем поставки определяется как решение уравнения

$$P'(V)*V + P(V) = C^{\text{true}'}(V)$$

- Для получения такого исхода продавец должен подать заявку с ценой  $C^{\text{true}'}(V)/[1 + P'(V)*V/P(V)]$
- Если бы слагаемое  $P'(V)*V$  отсутствовало, то условие оптимальности для решения внутри  $(V_{\min}, V_{\max})$  имело бы вид  $P(V)=C^{\text{true}'}(V)$  и продавцу было бы оптимально подать «честную» заявку в смысле слабо доминирующей стратегии (никакая иная заявка не сможет повысить его прибыль, хотя в общем случае возможны иные заявки, приводящие к такой же прибыли продавца)
- Заменим функцию выручки поставщика с  $P(V)*V$  на некоторую функцию  $R(V)$ , тогда для решений внутри интервала  $(V_{\min}, V_{\max})$  максимум прибыли достигается при выполнении

$$R'(V)=C^{\text{true}'}(V)$$

- Если  $R'(V)=P(V)$ , то продавцу оптимально подать «честную» заявку
- Общий вид функции  $R(V)$ :  $R'(V)=P(V) \rightarrow R(V)=\int P(V)dV + \text{const}$ . Значение константы выбирается из дополнительных условий (например, неотрицательность прибыли поставщика)
- Экономический смысл выражения  $\int P(V)dV$ : пусть  $W(V)$  – значение целевой функции рынка, в котором рассматриваемый продавец поставляет фиксированный объем товара  $V$  по нулевой стоимости (целевая функция рынка не учитывает затраты данного продавца на производство товара), тогда по теореме об огибающей (при соблюдении условий регулярности)  $P(V) = \partial W / \partial V$ . Следовательно,  $\int P(V)dV = W(V) + \text{const}$
- Общее решение для функции  $R(V)$  (в т.ч. для «краевых решений  $V=V_{\min}$ ,  $V=V_{\max}$ »):  $R(V)=W(V)+\text{const}$

# Механизм Викри-Кларка-Гровса

- Организатор по заранее известному участникам алгоритму на основе  $U_i(z_i, B_i)$ ,  $i=1, \dots, |I|$ , и  $S$  определяет исход торгов в виде
  - объема проданного/купленного товара  $z_1^*(\{B\}), \dots, z_{|I|}^*(\{B\})$  – для каждого продавца/покупателя посредством решения задачи

$$\max_{z \in S} \sum_{i \in I} U_i(z_i, B_i)$$

- Каждый продавец  $i$  получает оплату за объем производства  $z_i$

$$\sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j^*(\{B\}), B_j) + h_i(\{B_{\bar{I}}\})$$

где  $\bar{I}$  - множество участников, исключая  $i$ , и  $h_i(\{B_{\bar{I}}\})$  – произвольная функция, не зависящая от действий участника  $i$  (т.е. константа с точки зрения участника  $i$ )

- Каждый покупатель  $i$  платит  $-\sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j^*(\{B\}), B_j) - h_i(\{B_{\bar{I}}\})$  с произвольной функцией  $h_i(\{B_{\bar{I}}\})$

- На примере продавца: прибыль продавца  $i$  имеет вид

$$\sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j^*(\{B\}), B_j) + U_i(z_i^*(\{B_i, B_{\bar{I}}\}), B_i^{true}) + h_i(\{B_{\bar{I}}\})$$

- Если продавец заявит  $B_i^{true}$ , то его функция прибыли с точностью до  $h_i(\{B_{\bar{I}}\})$  совпадает с целевой функцией рынка и организатор торгов, определяя исход торгов, будет максимизировать прибыль продавца
- Формальное доказательство: подача «честной» заявки является слабо доминирующей стратегией продавца, т.к. для любой его заявки  $B_i$  и соотв. исходе  $z_i^*(\{B_i, B_{\bar{I}}\})$  из  $z_i^*(\{B_i^{true}, B_{\bar{I}}\}) \in \arg \max_{z \in S} \{\sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j, B_j) + U_i(z_i, B_i^{true})\}$  следует

$$\sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j^*(\{B_i^{true}, B_{\bar{I}}\}), B_j) + U_i(z_i^*(\{B_i^{true}, B_{\bar{I}}\}), B_i^{true}) \geq \sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j^*(\{B_i, B_{\bar{I}}\}), B_j) + U_i(z_i^*(\{B_i, B_{\bar{I}}\}), B_i^{true})$$

- Кларк<sup>2</sup> предложил выбор функции  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$ , определяющий прибыль в виде маржинального вклада в целевую функцию рынка

$$h_i(\{B_{\bar{i}}\}) = - \max_{\substack{z \in S \\ z_i=0}} \sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j, B_j)$$

- Прибыль продавца при этом равна

$$\max_{\substack{z \in S \\ i \in I}} U_i(z_i, B_i) - \max_{\substack{z \in S \\ z_i=0}} \sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j, B_j)$$

- Свойства:

- прибыль неотрицательна (такой выбор функции  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$  подходит и для случая добровольного участия в торгах)
- при отсутствии покупки/продажи оплата равна нулю (нет трансфера средств невыигравшим участникам)
- чем выше рыночная сила, тем выше прибыль
- если без участника  $i$  невозможно провести расчет торгов (ограничения  $z_i = 0, z \in S$  несовместны), то необходимо доопределить величину

$$\max_{\substack{z \in S \\ z_i=0}} \sum_{j \in \bar{I}} U_j(z_j, B_j)$$

---

<sup>2</sup> Clarke, E. 1971. "Multipart Pricing of Public Goods." *Public Choice*. 11 (2): 17–33.

- Каждому участнику оптимально (в смысле слабо доминирующей стратегии) подать «честную» заявку
- Есть свобода в выборе функций выплат  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$ , (если участие в торгах добровольное, то выбор  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$  ограничен требованием неотриц. прибыли)
- «Единственность» механизма ВКГ<sup>3</sup> (если есть какой-либо иной «правдивый» механизм, то он сводится к механизму ВКГ с некоторым набором функций  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$ )
- При достаточно общих предположениях<sup>2</sup> невозможно найти функции  $h_i(\{B_{\bar{i}}\})$ , которые бы обеспечивали одновременно
  1. «правдивость» механизма
  2. неотрицательность прибыли каждого участника
  3. неотрицательный финансовый баланс (обязательства покупателей не ниже требований продавцов)

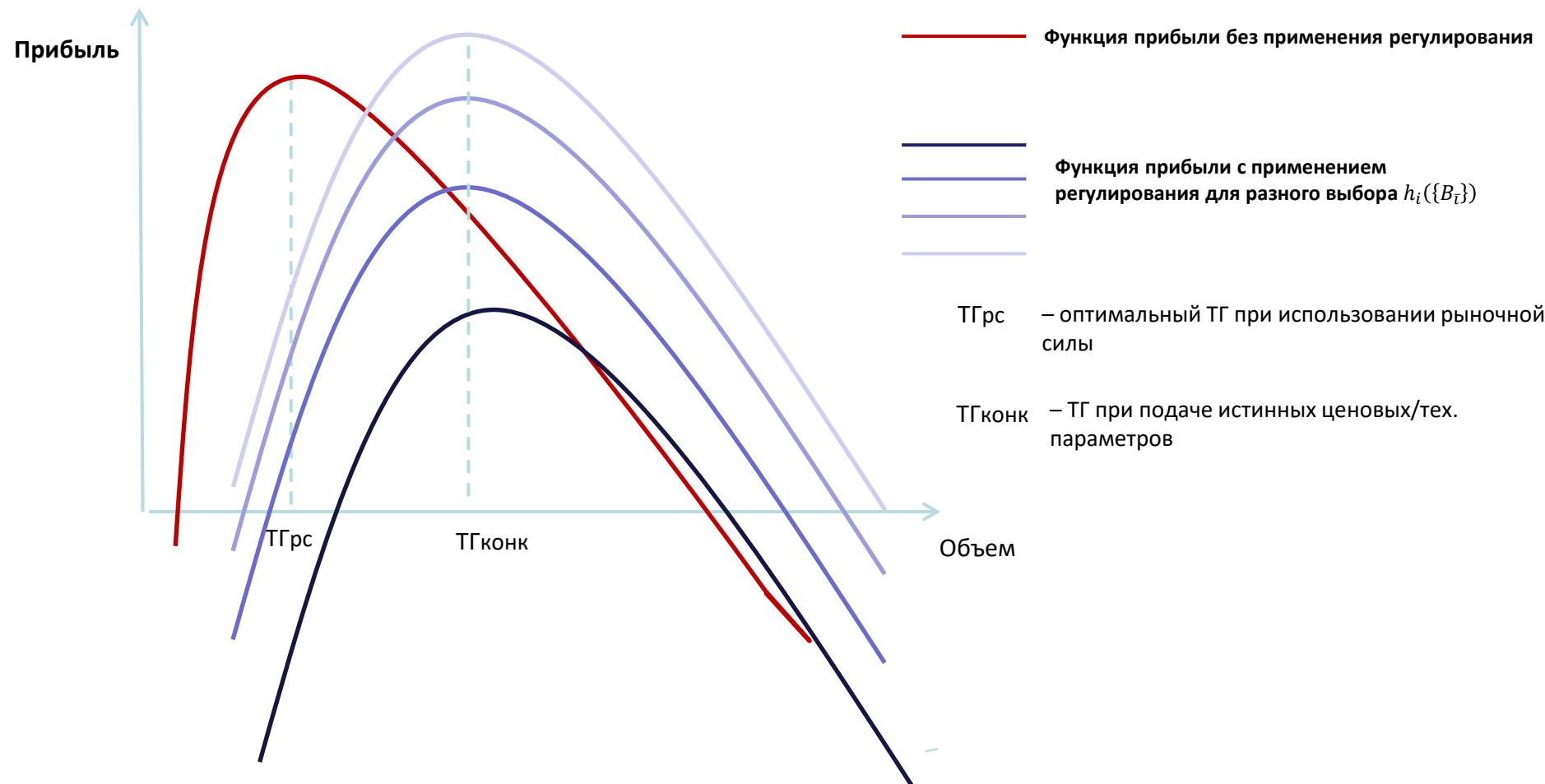
## Выводы:

- Механизм ВКГ (а также любой иной механизм, удовл п. 1-3) при достаточно общих предположениях не является финансово сбалансированным и требует внешних средств<sup>4</sup> – не подходит в качестве механизма ценообразования для всех участников торгов (если нет внешних денежных платежей)
- Если механизм ВКГ применяется не ко всем участникам (например, используется в качестве меры антимонопольного регулирования), то отсутствие финансовой сбалансированности (п. 3) не является проблемой

<sup>3</sup> предположения: целевая функция рынка равна взвешенной сумме  $U_j$ , все  $\text{dom } U_j$  являются связными множествами

<sup>4</sup> R.B. Myerson, M.A. Satterthwaite, Efficient Mechanisms for Bilateral Trading, Journal of Economic Theory 29 (2) (1983) 265–281

## Прибыль участника с рыночной силой



# Применимость механизма Викри-Кларка-Гровса на рынке э/э

- Ценообразование механизма ВКГ применяется только в качестве меры антимонопольного регулирования к отдельным участникам
- В механизме ВКГ:
  - целевая функция является суммой функций, каждая из которых зависит только от переменных одного участника, (аддитивная сепарабельность целевой функции)
  - множество исходов  $S$  предполагается фиксированным и не зависящим от стратегии участников

При применении ВГК в качестве антимонопольной меры эти свойства требуются только в отношении участников, к которым эта мера применяется

- В предыдущих исследованиях<sup>5</sup> применимости ВКГ в качестве антимонопольной меры на рынке э/э предполагалась независимость  $S$  от стратегий участников
- На рынок э/э участники заявляют как ценовые, так и технические параметры, - участники с рыночной силой могут заявлять искаженные значения всех видов параметров

-----  
<sup>5</sup> Например, B.F. Hobbs, M.H. Rothkopf, L.C. Hyde, R.P. O'Neill, Evaluation of a Truthful Revelation Auction in the Context of Energy Markets with Nonconcave Benefits, Journal of Regulatory Economics 18 (2000) 5–32.

# Применимость механизма Викри-Кларка-Гровса на рынке э/э

- Возможные варианты стратегий участников с рыночной силой:
  - заявление истинных технических параметров (множество  $S$  не зависит от стратегий участников)
  - заявление искаженных технических параметров
    - заявленные ценовые/технические параметры могут быть эквивалентно переформулированы как некоторые иные ценовые параметры и истинные значения технических параметров (множество  $S$  не зависит от стратегий участников)
    - заявленные ценовые/технические параметры не могут быть эквивалентно переформулированы как некоторые иные ценовые параметры и истинные значения технических параметров (множество  $S$  может зависеть от стратегий участников) – **применимость ВКГ?**
- □ Варианты учета в торгах тех. параметров участника
  - в явном виде входят только в набор внутренних ограничений участника (могут быть абсорбированы в ценовые параметры участника без изменения  $S$ )
  - в явном виде входят также и в набор общесистемных ограничений (множество  $S$  может зависеть от стратегий участников) – попытка исключить эти параметры из общесистемных ограничений посредством добавления «штрафующих» слагаемых в целевую функцию рынка может нарушить свойство аддитивной сепарабельности – **применимость ВКГ?**

## Общая постановка задачи (на примере производителя э/э)

- Пусть есть множество  $I$  участников рынка,  $i=1, \dots, |I|$ , участвующих в торговле э/э
- Каждый участник имеет известную только ему информацию об его экономике и тех параметрах  $B_i^{true}$
- Для производителя  $G$ , к которому применяется антимонопольная мера:  $O_G^{true}(x)$  – стоимость производства э/э,  $\xi_G^{true}$  - набор тех. параметров,  $B_G^{true} = \{O_G^{true}(x), \xi_G^{true}\}$
- Для участия в торгах каждый участник подает заявку  $B_i$  (потенциально отличную от  $B_i^{true}$ )
- Нет арбитража между РСВ и БР: производитель  $G$  заявляет  $\xi_G$  «не лучше»  $\xi_G^{true}$  (множество объемов производства, заданных внутренними ограничениями производителя  $\xi_G^{true}$ , включает соотв множество, заданное  $\xi_G$ ) – это условие обеспечивает подачу на РСВ стоимости производства э/э, а не ожидаемой стоимости покупки техн. недопустимых объемов на БР. Множество таких  $\xi_G$  обозначим  $\Sigma_G$ .
- Все ограничения (как внутренние, так и общесистемные) задают множество допустимых энергетических режимов (исходов РСВ)  $S(\xi_G, \xi_{\bar{G}})$
- Участники действуют независимо (не вступают в коалиции)
- На основе поданных  $B_i$ ,  $i=1, \dots, |I|$ , организатор торгов в отношении каждого участника формирует функцию  $U_i(z_i, B_i)$ , являющуюся
  - функцией полезности от потребления товара в объеме  $z_i$  - для покупателя  $i$
  - (со знаком минус) функцией затрат на производства товара в объеме  $z_i$  – для продавца  $i$
- Организатор по заранее известному участникам алгоритму на основе  $U_i(z_i, B_i)$ ,  $i=1, \dots, |I|$ , и  $S(\xi_G, \xi_{\bar{G}})$  определяет исход торгов в виде
  - объема проданного/купленного товара – для каждого продавца/покупателя посредством решения задачи

$$\max_{(x,y) \in S(\xi_G, \xi_{\bar{G}})} [U_{\bar{G}}(y) - O_G(x)], \text{ где } U_{\bar{G}}(y) = \sum_{i \in \bar{G}} U_i(y_i, B_i)$$

- получаемого/оплачиваемого платежа для
  - каждого участника торгов, к которому не применяется регулирование
  - каждого участника торгов, к которому применяется регулирование

**Вопрос: каким должен быть порядок расчета платежа, чтобы каждому участнику, к которому применяется мера антимонопольного регулирования, было оптимально (в смысле слабо доминирующей стратегии) подать «честную» заявку  $B_i^{true}$ ?**

# Дополнительное условие на множество исходов

- Целевая функция рынка при подачи  $G$  «честной» стоимости пр-ва  $\bar{\mathcal{E}}$ :  $U^{true}(x, y) = U_{\bar{G}}(y) - O_G^{true}(x)$
- Прибыль  $G$

$$\pi_G(x, \xi_G) = \max_{y \in D_y(x, \xi)} U_{\bar{G}}(y) + h_G(\{B_{\bar{G}}\}) - O_G^{true}(x),$$

где  $D_y(x, \xi)$  - множество значений  $y$ , заданное общесистемными ограничениями и внутренними ограничениями остальных участников, при фиксированном  $x$  (для некоторых  $x$  множество  $D_y(x, \xi)$  может быть пустым)

$$\max_{\substack{x, \xi_G \\ s.t. x \in S_x(\xi_G), \xi_G \in \Sigma_G}} \pi_G(x, \xi_G) = h_G(\{B_{\bar{G}}\}) + \max_{\xi_G \in \Sigma_G} \max_{(x, y) \in S(\xi_G, \xi_{\bar{G}})} U^{true}(x, y)$$

- Для применимости ВГК требуется

$$\max_{\xi_G \in \Sigma_G} \max_{(x, y) \in S(\xi_G, \xi_{\bar{G}})} U^{true}(x, y) = \max_{(x, y) \in S(\xi_G^{true}, \xi_{\bar{G}})} U^{true}(x, y)$$

- Введем дополнительное условие

$$S(\xi_G, \xi_{\bar{G}}) \subset S(\xi_G^{true}, \xi_{\bar{G}}), \forall \xi_G \in \Sigma_G \quad (*)$$

- Для проверки соблюдения  $(*)$  требуется знание  $\xi_G^{true}$  - как на практике проверять выполнимость  $(*)$ ?
- Достаточные условия для соблюдения  $(*)$ :
  - $(*)$  выполняется, если  $\xi_G$  явно не входит в общесистемные ограничения
  - $(*)$  выполняется, если  $(*)$  верно не только для  $\forall \xi_G \in \Sigma_G$ , но и для любых  $\xi_G, \xi'_G \in S_x(\xi_G) \subset S_x(\xi'_G)$ , имеем  $S(\xi_G, \xi_{\bar{G}}) \subset S(\xi'_G, \xi_{\bar{G}})$ , где  $S_x(\xi_G)$ - множество объемов пр-ва, допустимых внутренними ограничениями производителя согласно заявленным тех. параметрам  $\xi_G$ .

# Описание алгоритма

На примере производителя  $G$

- Все участники подают заявки и тех параметры, определяется решение рынка в виде  $(x^*, y^*)$  и набора равновесных цен – этот режим (ТГ всех участников) окончательный для всех участников (включая  $G$ )
- Оператор рынка принимает решение о (не)применении к  $G$  меры регулирования. Если решение положительное, то алгоритм продолжается.
- Регулятор заменяет ценовую заявку и заявленные тех. параметры  $G$  на  $B_G^{est} = \{O_G^{est}(x), \xi_G^{est}\}$  и проводит новый расчет рынка, результат расчета  $(x_0^{est*}, y_0^{est*})$ .
- Пусть  $R_G(x_0^{est*}, \xi_G^{est})$  – выручка  $G$  при продаже  $x_0^{est*}$  по равновесным ценам (и соотв. распределением финансовых небалансов, доплат, пр.) из режима  $(x_0^{est*}, y_0^{est*})$
- Выручка производителя  $G$  от поставки  $x^*$  определяется равной

$$R_G(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) + U_{\bar{G}}(y^*) - U_{\bar{G}}(y_0^{est*}), \text{ т.е. } h_G(\{B_{\bar{G}}\}) = R_G(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) - U_{\bar{G}}(y_0^{est*})$$

- Прибыль  $G$ :  $\pi_G(x, \xi_G) = \max_{y \in D_y(x, \xi)} U_{\bar{G}}(y) - O_G^{true}(x) + R_G(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) - U_{\bar{G}}(y_0^{est*})$ 
$$\max_{x, \xi_G} \pi_G(x, \xi_G) = \pi_G(x_0^*, \xi_G^{true}), \text{ где } (x_0^*, y_0^*) - \text{результат РСВ при подаче } B_G^{true}$$
$$\text{s.t. } x \in S_x(\xi_G), \xi_G \in \Sigma_G$$
- Производителю  $G$  нет эк. смысла отклоняться от стратегии  $B_G^{true} = \{O_G^{true}(x), \xi_G^{true}\}$ . Следовательно, режим при применении регулирования совпадает с режимом при подаче  $B_G^{true}$ . **Достижение эффективного распределения товаров между участниками - общее свойство механизма ВКГ.**
- Отличие  $B_G^{est}$  от  $B_G^{true}$  может привести к отличию  $\pi_G(x_0^*, \xi_G^{true})$  от прибыли  $G$ , получаемой им при подаче  $B_G^{true}$  без применения регулирования, - отличие дает вклад в небаланс, распределяемый на остальных участников рынка
- Свойства:
  - участие поставщика в торгах предполагается обязательным
  - при «значимых» отличиях  $B_G^{est}$  от  $B_G^{true}$  у поставщика возможен убыток
  - возможна положительная прибыль при нулевой поставке (например,  $B_G^{est} = B_G^{true}$ , но задача ВСВГО+РСВ имеет несколько решений, в т.ч. решение с выкл. генерацией поставщика и решение вкл. генерацией)

- Рассмотрим способ регулирования в виде замены заявки  $G$  на  $B_G^{est}$  при расчета рынка (далее – «стандартный» метод). Пусть  $\pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est})$  - прибыль  $G$  по итогам данного расчета.
- Если  $x_0^{est*} \in S_x(\xi_G^{true})$ , то

$$\pi_G(x_0^*, \xi_G^{true}) = \pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) + U^{true}(x_0^*, y_0^*) - U^{true}(x_0^{est*}, y_0^{est*})$$

Т.к.  $U^{true}(x_0^*, y_0^*) \geq U^{true}(x_0^{est*}, y_0^{est*})$ , то  $\pi_G(x_0^*, \xi_G^{true}) \geq \pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est})$ , (если  $\pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est})$  неотрицательна, то также и  $\pi_G(x_0^*, \xi_G^{true})$ !). При этом суммарная прибыль остальных участников одинакова в обоих методах

$$U^{true}(x_0^*, y_0^*) - \pi_G(x_0^*, \xi_G^{true}) = U^{true}(x_0^{est*}, y_0^{est*}) - \pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est})$$

- Если  $x_0^{est*} \notin S_x(\xi_G^{true})$ , что может быть только при  $\xi_G^{est} \notin \Sigma_G$ , то режим PCB в «стандартном» методе техн. нереализуем и на БР потребуется ребалансировка режима

## Пример

- Двухузловая трехпериодная модель РСВ (с фиксированными итогами ВСВГО), ограничение на передачу между узлами  $f^{max}=100 \text{ MWh}$



- Участники рынка: три поставщика с функцией затрат  $\alpha_i g_{i,t}^2 + \beta_i g_{i,t} + \gamma_i$ , два потребителя с фикс. спросом

Ген.	$\alpha_i, \$/(\text{MWh})^2$	$\beta_i, \$/\text{MWh}$	$\gamma_i, \$/\text{h}$	$g_i^{min}, \text{MWh}$	$g_i^{max}, \text{MWh}$	$r_i, \text{MW/h}$	ТГ при $t=0, \text{MWh}$
1	0.020	20	100	350	800	150	350
2	0.040	40	150	200	400	160	300
3	0.029	30	130	250	600	240	300

Час	Узловой спрос, MWh	
	$d_{1t}$	$d_{2t}$
1	800	400
2	1000	400
3	1100	400

- Ограничения модели: для каждого часа  $t=\{1,2,3\}$

$$g_i^{min} \leq g_{i,t} \leq g_i^{max}$$

$$-r_i \leq g_{i,t} - g_{i,t-1} \leq r_i$$

$$-f^{max} \leq f_t \leq f^{max}$$

$$g_{1,t} + g_{2,t} + f_t = d_{1t}, g_{3,t} = d_{2t} + f_t$$

- Все тех. параметры каждого участника явно входят только в набор его внутренних ограничений - условие (\*) выполняется и метод регулирования применим к любому участнику (группе участников)

## Пример (cont.)

- Итоги PCB при подаче «честных» заявок и тех параметров, (ФРУЦ=\$100)

Час	Узл цена, \$/MWh		ТГ, MWh			Переток, MWh	Активно ли ограничение на переток
	Узел 1	Узел 2	$g_1$	$g_2$	$g_3$		
1	57.739	57.739	500.000	221.739	478.261	78.261	Нет
2	60.000	59.000	650.000	250.000	500.000	100.000	Да
3	57.739	57.739	800.000	221.739	478.261	78.261	Нет

- Все поставщики обладают рыночной силой. Для иллюстрации подхода применим регулирование только к  $g_1$
- $g_1$  имеет ТГ с активным ограничением на скорость набора нагрузки, способен получить доп. прибыль, например, посредством заявления уменьшенной скорости сброса/набора нагрузки  $r_1$ . Если  $g_1$  заявит  $r_1 = 100 \text{ MW/h}$ , то итогом PCB будет

Час	Узл цена, \$/MWh		ТГ, MWh			Переток, MWh	Активно ли ограничение на переток
	Узел 1	Узел 2	$g_1$	$g_2$	$g_3$		
1	59.200	59.000	460.000	240.000	500.000	100.000	Да
2	66.400	59.000	570.000	330.000	500.000	100.000	Да
3	65.600	59.000	680.000	320.000	500.000	100.000	Да

Ген.	«Честные» заявки и тех параметры			$r_1 = 100 \text{ MW/h}$		
	Выручка, \$	Затраты, \$	Прибыль, \$	Выручка, \$	Затраты, \$	Прибыль, \$
1	114 060.91	65 550.00	48 510.91	109 688.04	54 478.00	55 210.04
2	40 606.06	34 622.59	5 983.47	57 112.02	46 806.00	10 306.02
3	84 728.77	64 602.19	20 126.58	88 500.04	67 140.00	21 360.04
Итого	239 395.75	164 774.78	74 620.96	255 300.11	168 424.00	86 876.11

## Пример (cont.)

- Применим предложенный подход к  $g_1$ . Пусть оценка оператора рынка имеет вид  $B_{g_1}^{est}$  с  $\alpha_1^{est} = 0.025 \text{ \$/(MWh)}$ ,  $\beta_1^{est} = 18 \text{ \$/MWh}$ ,  $r_1^{est} = 140 \text{ MW/h}$  (остальные ценовые/тех. параметры имеют оценку равную истинным значениям)
- Итог расчета PCB при применении  $B_{g_1}^{est}$ , ( $\Phi\text{РУЦ}=\$260$ )

Час	Узл цена, \\$/MWh		ТГ, MWh			Переток, MWh	Активно ли ограничение на переток
	Узел 1	Узел 2	$g_1$	$g_2$	$g_3$		
1	58.075	58.075	490.000	225.942	484.058	84.058	Нет
2	61.600	59.000	630.000	270.000	500.000	100.000	Да
3	58.748	58.748	770.000	234.348	495.652	95.652	Нет

- $R_{g_1}(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) = \$112\ 500.77$ ,  $U_{g_2 g_3}(y^*) = -\$99\ 224.78$ ,  $U_{g_2 g_3}(y_0^{est*}) = -\$102\ 767.16$ , в итоге при подаче  $B_{g_1}^{true}$  выручка  $g_1$  равна  $\$116\ 043.15$  (что выше выручки, получаемой им при подаче  $B_{g_1}^{true}$  в отсутствие регулирования, равной  $\$114\ 060.91$ ), прибыль  $g_1$  равна  $\$50\ 493.15$ . Применение «стандартного» метода приводит к прибыли  $g_1$  равной  $\$49\ 802.77$ .

Ген	«Стандартный» метод			Предложенный метод		
	Выручка, \$	Затраты, \$	Прибыль, \$	Выручка, \$	Затраты, \$	Прибыль, \$
1	112 500.77	62 698.00	49 802.77	116 043.15	65 550.00	50 493.15
2	43 521.10	36 816.34	6 704.75	40 606.06	34 622.59	5 983.47
3	86 730.35	65 950.82	20 779.54	84 728.77	64 602.19	20 126.58
Итого	242 752.22	165 465.16	77 287.06	241 377.99	164 774.78	76 603.20

- Суммарный платеж потребителей (= суммарная выручка поставщиков + ФРУЦ) в предложенном методе ниже, чем в «стандартном»
- $U^{true}(x_0^*, y_0^*) - \pi_G(x_0^*, \xi_G^{true}) = U^{true}(x_0^{est*}, y_0^{est*}) - \pi_G^{st}(x_0^{est*}, \xi_G^{est}) = -\$215267.93$  (при фиксированном спросе  $U^{true}$ =суммарные затраты поставщиков)

## Выводы

- В предыдущих работах была исследована применимость механизма ВКГ в качестве меры антимонопольного регулирования в предположении, что множество допустимых режимов не зависит от стратегий участников, к которым применяется данная мера (т.е. в предположении, что участники заявляют истинные значения тех. параметров)
- В данной работе проведен анализ применимости метода антимонопольного регулирования на основе механизма ВКГ при возможном отклонении заявляемых тех. параметров от истинных значений:
  - выявлена необходимость соблюдения дополнительного условия для применимости механизма ВКГ (в виде характера изменения множества допустимых режимов в зависимости от вариаций тех. параметров)
  - даны критерии проверки указанного дополнительного условия
  - предложенный метод не предполагает автоматическое поощрение участников с большей рыночной силой (как это имеет место в методе Кларка), но предполагает проведение оператором рынка оценки ценовых/тех. параметров участника
  - проведено сравнение предложенного метода с альтернативным подходом в виде замены поданной участником ценовой заявки и тех параметров на значения, определенные оператором рынка