

УДК 681.3

З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко

МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНОЙ ОПТОВОЙ ЦЕНЫ ПОКУПКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕН НА ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

Аннотация: Предложены математические модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии на оптовом рынке в зависимости от изменений цен на основные энергоносители.

Ключевые слова: динамика, модель, прогнозная оптовая цена, природный газ, топочный мазут, электрическая энергия, энергетический уголь.

Введение

В работах [1,2] приведена общая формулировка задачи математического и компьютерного моделирования динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Проведен анализ взаимосвязи данных динамики цен на электрическую энергию (э/э) и на энергоносители и обоснована необходимость создания компьютерной системы мониторинга динамики энергорынка (КМДЭ) для решения ряда функциональных задач организационного управления Оптовым рынком э/э (ОРЭ), предусмотренных Правилами рынка [3]. Целью настоящей работы является разработка математических моделей для КМДЭ, предназначенных для решения одной из таких задач - определения прогнозной оптовой цены покупки э/э $Ц_{ок}^{прог}(t)$ на ОРЭ.

1. Постановка задачи математического моделирования

Процесс формирования оптовой цены покупки э/э у производителей на ОРЭ и на его базе оптовой цены ее продажи поставщикам на каждый час расчетного периода времени, по сути, является процессом поиска равновесных цен, удовлетворяющих экономические интересы как производителей, так и поставщиков э/э. Началом этого процесса можно считать составление Администратором торговой системы в текущем месяце прогноза физического баланса производства и потребления э/э и финансового баланса ее покупки и подачи на ОРЭ на последующий месяц в соответствии с нормативными документами [3,4], а также определение Регулятором рынка – Национальной комиссией регулирования электроэнергетики (НКРЭ) прогнозной величины оптовой цены покупки э/э у производителей. Определение прогнозной величины $Ц_{ок}^{прог}(t)$ предназначено для дальнейшего решения задач построения предварительного торгового и диспетчерского графиков активной нагрузки в энергосистеме путем выбора оптимального состава включенного генерирующего оборудования, а также для управления процессом формирования генкомпаниями ТЭС ценовых заявок блоков

электростанций. Отличительной особенностью работы энергосистемы является наличие резервной мощности в целях обеспечения надежности ее работы в любых нормальных режимах электропотребления. Учитывая это обстоятельство можно утверждать, что в периоды нормальной работы энергосистемы, речь идет о поиске равновесной цены на электроэнергию в условиях превышения предложения объемов производимой э/э и мощности над спросом.

Директивно устанавливаемая Регулятором рынка в текущем месяце прогнозная величина оптовой цены покупки э/э на последующий месяц, по сути, является индикативной ценой. Она должна включать текущие средневзвешенные цены производства единицы э/э и мощности и рассчитываться на последующий месяц с учетом прогноза динамики роста затрат на энергоносители. Применение такой величины является управляющим воздействием Регулятора рынка при решении задач ценообразования при формировании заявок генерирующими компаниями на ОРЭ, формирования договорных цен регулируемых договоров и определении регулируемых тарифов на электроэнергию (мощность) для оптовых поставщиков э/э, определении тарифов на розничном рынке на соответствующий период регулирования и т.д. А также отправной точкой при решении задач расчета равновесных оптовых цен покупки и продажи электроэнергии и мощности Администратором торговой системы.

Для решения поставленной задачи нами будут использованы данные об изменениях $Ц_{ок}^{npoг}(t)$ за период 2011–2013 гг. Прогнозная оптовая цена на э/э за период с января 2011г. по декабрь 2013 г. выросла с 512,27 до 748,43 грн. за МВт.час, т.е. почти на 42%. В табл.1 приведены фактические данные об изменениях прогнозной цены за период 2011–2013 гг., сформированные на основе Постановлений НКРЭ и опубликованные в Информационном бюллетене НКРЭ.

2. Математические модели

Рассмотрим некоторые из возможных математических моделей для решения задачи определения прогнозной оптовой цены покупки э/э.

2.1. Динамическая модель. По аналогии с [2], введем обозначения: $Ц_{ок}(t)$ – оптовая цена покупки э/э у производителей, $Ц_j(t)$ с соответствующим индексом $j \in \{ ТЭС, ТЭЦ, АЭС, ГЭС, ВЭС, СЭС \}$ – отпускная цена производителя j , $Э_j(t)$ – объем отпущенной э/э (произведенной для продажи в ОРЭ) производителем. Тогда

$$Ц_{ок}(t) = \frac{(Ц_{ТЭС}(t)Э_{ТЭС}(t) + Ц_{ТЭЦ}(t)Э_{ТЭЦ}(t) + Ц_{АЭС}(t)Э_{АЭС}(t) + Ц_{ГЭС}(t)Э_{ГЭС}(t) + Ц_{ВЭС}(t)Э_{ВЭС}(t) + Ц_{СЭС}(t)Э_{СЭС}(t))}{Э_{отпуск}(t)}, \quad (1)$$

Прогнозные оптовые цены

Месяц	2011г. грн/МВт.час (без НДС)	2012г. грн/МВт.час (без НДС)	2013г. грн/МВт.час (без НДС)
Январь	527,12	645,13	693,02
Февраль	540,30	645,13	693,02
Март	561,91	670,94	719,36
Апрель	577,98	679,39	719,36
Май	596,48	679,39	733,75
Июнь	596,48	686,16	733,75
Июль	596,48	686,16	733,75
Август	596,48	686,16	748,43
Сентябрь	596,48	686,16	748,43
Октябрь	596,48	686,16	748,43
Ноябрь	596,48	686,16	748,43
Декабрь	620,32	686,16	748,43

где $\mathcal{E}_{отпуск}(t) = \mathcal{E}_{ТЭС}(t) + \mathcal{E}_{ТЭЦ}(t) + \mathcal{E}_{АЭС}(t) + \mathcal{E}_{ГЭС}(t) + \mathcal{E}_{ВЭС}(t) + \mathcal{E}_{СЭС}(t)$. Известно [3], что для блоков ТЭС цена покупки в ОРЭ формируется из двух составляющих – платеж за отпущенную э/э, который определяется предельной граничной (маржинальной) ценой системы, и платеж за рабочую мощность блока, устанавливаемый Администратором торговой системы. Рассматриваемые в работе данные динамики $\mathcal{C}_{ТЭС}(t)$ включают обе составляющие.

На основе, проведенного в работе [2] анализа данных установлено, что $\mathcal{C}_{АЭС}(t)$, $\mathcal{C}_{ГЭС}(t)$, $\mathcal{C}_{ВЭС}(t)$, $\mathcal{C}_{СЭС}(t)$ это контрактные договорные отпускные цены, устанавливаемые Регулятором ОРЭ на довольно длительные промежутки времени. А $\mathcal{C}_{ТЭЦ}(t)$, хотя и регулируемые цены, но им присуща весьма заметная динамика.

Учитывая это обстоятельство, разделим производителей э/э на две группы. В первую включены компании ТЭС и ТЭЦ. Для них в модели будет учитываться реальная динамика средневзвешенных месячных цен во времени. Для группы остальных компаний будем считать цену покупки, не зависящей от цен на энергоносители и постоянной величиной, равной $A(t)$ и рассчитываемой по формуле

$$A(t) = \frac{(\mathcal{C}_{АЭС}(t)\mathcal{E}_{АЭС}(t) + \mathcal{C}_{ГЭС}(t)\mathcal{E}_{ГЭС}(t) + \mathcal{C}_{ВЭС}(t)\mathcal{E}_{ВЭС}(t) + \mathcal{C}_{СЭС}(t)\mathcal{E}_{СЭС}(t))}{\mathcal{E}_{отпуск}(t)} \quad (2)$$

Так как $\mathcal{C}_{ок}(t)$ в общем случае зависит и от доли отпущенной э/э каждым производителем в общем балансе, то определим их как следующие величины $K_j^{\mathcal{E}}(t) = \mathcal{E}_j(t)/\mathcal{E}_{отпуск}(t)$, $j \in \{ТЭС, ТЭЦ, АЭС, ГЭС, ВЭС, СЭС\}$.

В результате получим, что

$$\begin{aligned} \Pi_{ок}(t) &= \Pi_{ТЭС}(t)K_{ТЭС}^{\mathcal{Q}}(t) + \Pi_{ТЭЦ}(t)K_{ТЭЦ}^{\mathcal{Q}}(t) + A(t), \\ A(t) &= \Pi_{АЭС}(t)K_{АЭС}^{\mathcal{Q}}(t) + \Pi_{ГЭС}(t)K_{ГЭС}^{\mathcal{Q}}(t) + \\ &\Pi_{ВЭС}(t)K_{ВЭС}^{\mathcal{Q}}(t) + \Pi_{СЭС}(t)K_{СЭС}^{\mathcal{Q}}(t) \end{aligned} \quad (3)$$

Как известно, $\Pi_{ТЭС}(t)$, $\Pi_{ТЭЦ}(t)$ зависят не только от затрат на энергоносители, являющихся определяющей частью общих затрат энергокомпаний, понесенных ими при производстве э/э. Кроме них, при формировании заявки (заявленной цены блока) на ОРЭ, компаниями учитываются и переменные затраты на складирование топлива, необходимую обработку и подготовку топлива для сжигания в топках. Кроме того учитываются и условно-постоянные затраты, которые несет станция независимо от того, продает она электроэнергию и мощность или нет. Т.е. реально $\Pi_{ТЭС}(t)$ включает в себя, кроме топливной $\Pi_{ТЭС}^{mc}(t)$, еще две составляющие $\Pi_{ТЭС}^{n3}(t)$ – переменные затраты, $\Pi_{ТЭС}^{yn3}(t)$ – условно-постоянные затраты:

$$\Pi_{ТЭС}(t) = \Pi_{ТЭС}^{mc}(t) + \frac{\Pi_{ТЭС}^{n3}(t) + \Pi_{ТЭС}^{yn3}(t)}{\mathcal{E}_{ТЭС}(t)}, \quad (4)$$

где $\Pi_{ТЭС}^{mc}(t) = \Pi_{ТЭС}^{ym}(t)\Delta B_{ТЭС}$, $\Pi_{ТЭС}^{ym}(t) = \sum_k \frac{\Pi_k^{um}(t)}{K_k^Q} r_k^{ТЭС}(t)$ – цена условного топлива на производство э/э ТЭС, $\Pi_k^{um}(t)$ – цена на натуральный энергоноситель $k \in \{\text{газ, мазут, уголь}\}$ для производства э/э, K_k^Q – калорийный эквивалент перевода натурального энергоносителя k в условное топливо, $r_k^{ТЭС}(t)$ – доля натурального энергоносителя k в производстве э/э ТЭС, $\sum_k r_k^{ТЭС}(t) = 1$, $\Delta B_{ТЭС}$ – характеристика относительного прироста расхода условного топлива на выработку э/э в ТЭС.

Аналогично и для $\Pi_{ТЭЦ}(t)$. Так как указанные дополнительные затраты не зависят от цен на энергоносители, то при проведении расчетно-экспериментальных исследований будем считать $\Pi_{ТЭС}^{n3}(t)$, $\Pi_{ТЭС}^{yn3}(t)$, $\Pi_{ТЭЦ}^{n3}(t)$, $\Pi_{ТЭЦ}^{yn3}(t)$ – постоянными. Учет их величин будет производиться с использованием данных статистической отчетности энергокомпаний [5–11]. Очевидно, что в общем случае, когда компании производители э/э приобретают энергоносители на конкурентных рынках, то не только величины $\Pi_{ТЭС}^{mc}(t)$, $\Pi_{ТЭЦ}^{mc}(t)$, но и $K_{ТЭС}^{\mathcal{Q}}(t)$, $K_{ТЭЦ}^{\mathcal{Q}}(t)$ зависимы от цен на натуральные энергоносители – угля $\Pi_y^{um}(t)$, газа $\Pi_z^{um}(t)$, мазута $\Pi_m^{um}(t)$, т.к. объем отпуска э/э блоком электростанции зависит от его заявленной цены. Поэтому выражение (3) должно иметь вид:

$$\begin{aligned} \Pi_{ок}(t) &= \Pi_{ТЭС}(\Pi_y^{um}(t), \Pi_z^{um}(t), \Pi_m^{um}(t))K_{ТЭС}^{\mathcal{Q}}(\Pi_y^{um}(t), \Pi_z^{um}(t), \Pi_m^{um}(t)) \\ &+ \Pi_{ТЭЦ}(\Pi_y^{um}(t), \Pi_z^{um}(t), \Pi_m^{um}(t))K_{ТЭЦ}^{\mathcal{Q}}(\Pi_y^{um}(t), \Pi_z^{um}(t), \Pi_m^{um}(t)) + A(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Однако, в этом выражении $K_{TЭС}^Э$ и $K_{TЭЦ}^Э$ можно принимать постоянными и не зависящими от $\Pi_y^{nm}(t)$, $\Pi_z^{nm}(t)$, $\Pi_m^{nm}(t)$, т.к. все компании производители э/э в рассматриваемый период и до настоящего времени имели возможность приобретать основные энергоносители по директивно назначаемым Регулятором рынка ценам, а доля мазута, используемого в качестве резервного или вспомогательного топлива, была незначительной [2]. В результате, для определения в текущем месяце t_i прогнозной цены покупки э/э у производителей на последующий месяц t_{i+1} , получим

$$\begin{aligned} \Pi_{ок}(t_{i+1}) = & \Pi_{TЭС}(\Pi_y^{nm}(t_{i+1}), \Pi_z^{nm}(t_{i+1}), \Pi_m^{nm}(t_{i+1}))K_{TЭС}^Э(t_{i+1}) + \\ & \Pi_{TЭЦ}(\Pi_y^{nm}(t_{i+1}), \Pi_z^{nm}(t_{i+1}), \Pi_m^{nm}(t_{i+1}))K_{TЭЦ}^Э(t_{i+1}) + A(t_{i+1}) \end{aligned} \quad (6)$$

– динамическую модель регулирования прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии на ОРЭ в общем виде, в которой $\Pi_{TЭС}$, $K_{TЭС}^Э$, $\Pi_{TЭЦ}$, $K_{TЭЦ}^Э$, A – прогнозируемые величины, определяемые с помощью соответствующих прогностических моделей с использованием ретроспективных фактических данных об их изменениях за T предыдущих периодов времени.

2.2. Дискретная модель. Временной промежуток для построения и исследования модели [1, T] ограничим тремя календарными годами. Шаг дискретизации по времени примем равным одному месяцу. Тогда t_i – номер календарного месяца, $i = 1, 2, \dots, 36$. Примем допущение о том, что основные величины, характеризующие ценовые показатели состояния рынков э/э и энергоносителей, объемов производства э/э и др. в течение календарного месяца остаются постоянными и равными средневзвешенным месячным значениям. Формирование средневзвешенных месячных данных описано в [1,2]. Там же приведены необходимые для проведения исследований актуальные данные динамики рынка э/э и рынков основных органических энергоносителей за период 2011–2013 гг., достоверность которых проверялась и подтверждается сравнением данных из различных открытых источников, список некоторых из них приведен в [1,2], а также из [5–11].

При построении дискретной модели регулирования цен в условиях превышения предложения над спросом, как правило, исходят из предположения о том, что скорость изменения цены предложения прямо пропорциональна величине избыточного предложения [12]. В нашем случае из (4) и (6) видно, что динамика роста $\Pi_{ок}(t)$ напрямую зависит от динамики роста цен на энергоносители и связана с ней прямо пропорциональной зависимостью, т.к. составляющие оптовой цены покупки – $\Pi_{TЭС}(t)$ и $\Pi_{TЭЦ}(t)$ напрямую зависят от динамики роста цен на уголь, газ и мазут.

Принимая во внимание, что из (4)

$$\Pi_{TЭС}(t) = \sum_k \frac{\Pi_k^{nm}(t)}{K_k^Q} r_k^{TЭС}(t) \Delta B_{TЭС} + \frac{\Pi_{TЭС}^{n3}(t) + \Pi_{TЭС}^{y3}(t)}{\mathcal{E}_{TЭС}(t)},$$

и неизменность во времени распределения долей натуральных энергоносителей k в производстве э/э, получаем прямо пропорциональную зависимость динамики роста цены

$$\frac{d\Pi_{TЭС}(t)}{dt} = \frac{d\left(\frac{\Pi_y^{um}(t)}{K_y} r_{TЭС}(t) + \frac{\Pi_m^{um}(t)}{K_m} r_m^{TЭС}(t)\right)}{d\left(c_y \Pi_y^{um}(t) + c_m \Pi_m^{um}(t)\right)} dt \Delta B_{TЭС} = \quad (7)$$

Заменяя левую и правую части разностными выражениями получим

$$\Pi_{TЭС}(t_{i+1}) = \Pi_{TЭС}(t_i) + c_y (\Pi_y^{um}(t_{i+1}) - \Pi_y^{um}(t_i)) + c_m (\Pi_m^{um}(t_{i+1}) - \Pi_m^{um}(t_i)), \quad (8)$$

где $c_y = \frac{r_{TЭС}}{K_y} \Delta B_{TЭС}$, $c_m = \frac{r_m^{TЭС}}{K_m} \Delta B_{TЭС}$ – коэффициенты пропорциональности приведенной доли расхода угля и мазута в технологическом процессе производства э/э ТЭС, $r_y^{TЭС} + r_m^{TЭС} = 1$.

Аналогично для $\Pi_{TЭЦ}(t)$, получаем

$$\Pi_{TЭЦ}(t_{i+1}) = \Pi_{TЭЦ}(t_i) + \partial_z (\Pi_z^{um}(t_{i+1}) - \Pi_z^{um}(t_i)) + \partial_m (\Pi_m^{um}(t_{i+1}) - \Pi_m^{um}(t_i)), \quad (9)$$

где $\partial_z = \frac{r_z^{TЭЦ}}{K_z} \Delta B_{TЭЦ}$, $\partial_m = \frac{r_m^{TЭЦ}}{K_m} \Delta B_{TЭЦ}$ – коэффициенты пропорциональности приведенной доли расхода газа и мазута в технологическом процессе производства э/э ТЭЦ, $r_z^{TЭЦ} + r_m^{TЭЦ} = 1$.

Подставляя выражения (8), (9) в (6), получим

$$\Pi_{ок}^{proz}(t_{i+1}) = \Pi_{TЭС}(t_i) K_{TЭС}^э(t_{i+1}) + \Pi_{TЭЦ}(t_i) K_{TЭЦ}^э(t_{i+1}) + A(t_{i+1}) + \Delta \Pi_y^{um}(t_{i+1}) + \Delta \Pi_z^{um}(t_{i+1}) + \Delta \Pi_m^{um}(t_{i+1}) \quad (10)$$

Выражения для $\Delta \Pi_y^{um}(t_{i+1})$, $\Delta \Pi_z^{um}(t_{i+1})$, $\Delta \Pi_m^{um}(t_{i+1})$ представляют собой зависимости динамики прироста цен на энергоносители за расчетный период:

$$\Delta \Pi_y^{um}(t_{i+1}) = c_y K_{TЭС}^э(t_{i+1}) (\Pi_y^{um}(t_{i+1}) - \Pi_y^{um}(t_i)),$$

$$\Delta \Pi_z^{um}(t_{i+1}) = \partial_z K_{TЭЦ}^э(t_{i+1}) (\Pi_z^{um}(t_{i+1}) - \Pi_z^{um}(t_i)),$$

$$\Delta \Pi_m^{um}(t_{i+1}) = (c_m K_{TЭС}^э(t_{i+1}) + \partial_m K_{TЭЦ}^э(t_{i+1})) (\Pi_m^{um}(t_{i+1}) - \Pi_m^{um}(t_i)).$$

Таким образом для расчета $\Pi_{ок}^{proz}(t_{i+1})$ получена дискретная модель в виде рекуррентного соотношения (10), с помощью которого при использовании известных установленных Регулятором рынка значений $\Pi_{TЭС}(t_i)$, $\Pi_{TЭЦ}(t_i)$ и средневзвешенных цен $\Pi_y^{um}(t_i)$, $\Pi_z^{um}(t_i)$, $\Pi_m^{um}(t_i)$ текущего месяца, а также рассчитанных прогнозных значений $K_{TЭС}^э(t_{i+1})$, $K_{TЭЦ}^э(t_{i+1})$, $\Pi_y^{um}(t_{i+1})$, $\Pi_z^{um}(t_{i+1})$, $\Pi_m^{um}(t_{i+1})$

можно определить значение прогнозной величины оптовой цены покупки э/э на последующий месяц.

2.3. Модель конкурентного равновесия. Важнейшим показателем динамики энергорынка является прибыль, действующих на нем энергокомпаний. Поэтому одним из определяющих требований регулирования $\Pi_{ок}(t)$ при нахождении ее равновесных значений, является требование соблюдение равных возможностей для получения прибыли всеми субъектами рынка в условиях изменения цен на энергоносители, несмотря на различную себестоимость производимой э/э. Различие себестоимости э/э генерирующих энергокомпаний обусловлено не только технологическими особенностями производства, но и использованием разных видов энергоносителей и изменениями цен на них. Поэтому при формировании $\Pi_{ок}^{npoз}(t)$ необходимо учитывать и влияние изменения цен на энергоносители на динамику прибыли генерирующих компаний.

Рассмотрим задачу поиска конкурентной равновесной цены для действующей по настоящее время модели рынка э/э “Единого покупателя и продавца”. Отличительной особенностью этой модели является наличие одного посредника (перекупщика) между производителями и оптовыми поставщиками э/э – Администратора торговой системы. Учитывая то обстоятельство, что производители АЭС, ГЭС, ВЭС, СЭС работают на ОРЭ по договорным ценам, утвержденным Регулятором рынка, можно считать, что реально в формировании конкурентной $\Pi_{ок}(t)$ участвуют генкомпании ТЭС, а также ТЭЦ, которые работают на рынке по регулируемым ценам.

В работе [13] предложено использование для разработки модели конкурентных процессов в экономической системе “производитель– перекупщик” системы обыкновенных дифференциальных уравнений, связывающей логистическое уравнение Ферхюльста для производителя и уравнение Лотки–Вольтерра для перекупщика. В нашем случае экономическая система состоит из двух производителей и единого покупателя – Администратора торговой системы, который хотя и не является получателем прибыли, но заинтересован в ее повышении и имеет возможность путем применения регуляторных воздействий влиять на процессы изменения прибыли производителей.

Обозначим через $P_j(t)$ – прибыль производителей - генкомпаний ТЭС и ТЭЦ, $Y(t)$ – прибыль покупателя, $a_j(t)$ – коэффициенты прироста прибыли производителей, $b_j(t)$ – удельные издержки производителей на единицу продукции, $c(t)$ – коэффициент прироста прибыли покупателя, $e_j(t)$ – удельная прибыль на покупке у производителей. Известно, что планируемая прибыль генкомпаний связана с $\Pi_{ок}^{npoз}(t)$ соотношением $P_j(t) = (\Pi_{ок}^{npoз}(t) - \Pi_j(t))\mathcal{E}_j(t)$, $j \in \{ТЭС, ТЭЦ\}$.

Применяя подход [13,14], получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dP_j(t)}{dt} = P_j(t)(a_j(t) - b_j(t)P_j(t)), j \in \{TЭС, TЭЦ\} \\ \frac{dY(t)}{dt} = Y(t)(-c(t) + e_{TЭС}(t)P_{TЭС}(t) + e_{TЭЦ}(t)P_{TЭЦ}(t)) \end{cases} \quad (11)$$

Для ее решения необходимо задать начальные условия для всех неизвестных функций $P_j(t)$, $Y(t)$, а также зависимости $a_j(t)$, $b_j(t)$, $c(t)$, $e_j(t)$.

Система обыкновенных дифференциальных уравнений (11) является обобщенной динамической моделью для решения задачи определения равновесной прогнозной оптовой цены покупки на ОРЭ.

Выводы

В работе получены математические модели для решения задачи определения прогнозной оптовой цены покупки э/э на ОРЭ в зависимости от изменений цен на основные энергоносители. Вопросы сравнительных расчетно-экспериментальных исследований моделей, их адекватности, а также сходимости и устойчивости вычислительных алгоритмов реализации этих моделей, разработки прогностических алгоритмов будут рассмотрены в последующих работах.

Список использованных источников

1. Борукаев З.Х. Моделирование динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Часть 1. Общая формулировка задачи/Борукаев З.Х., Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И.//Модельювання та інформаційні технології/Збірник наукових прац/ПІМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України.- Київ, 2014.- Вип.73. – С.139–146.
2. Борукаев З.Х. Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей/Борукаев З.Х., Остапченко К.Б., Лисовиченко О.И.//Міжвідомчий науково-технічний збірник “Адаптивні системи автоматичного управління”.- 2015.- №1(26). – С.85–101.
3. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики України № 921 від 12.09.2003р. “Про затвердження Правил Оптового ринку електричної енергії України в редакції, затвердженій Радою ринку від 4 вересня 2003 р.”
4. Порядок складання прогнозного фізичного балансу електричної енергії Об'єднаної енергетичної системи України та прогнозного балансу її купівлі–продажу в Оптовому ринку електричної енергії України на наступний розрахунковий місяць. Наказ Міністерства палива та енергетики України № 246 від 13.05.2009р.
5. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2011 г. – dtek.com/library/file/annual-report-2011-ru.pdf.

6. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2012 г. – dtek.com/library/file/annual-report-2012-ru.pdf.
7. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2013 г. – dtek.com/library/file/annual-report-2013-ru.pdf.
8. ПАО “Донбассэнерго”. Годовой отчет 2012 г. – de.com.ua
9. ПАТ “Центренерго”. Річний звіт за 2011 р. – centrenergo.com
10. ПАТ “Центренерго”. Річний звіт за 2012 р. – centrenergo.com
11. Отчет о результатах деятельности НКРЭ в 2013 г., Постановление НКРЭ №348, от 27.03.2014г.- nerc.gov.ua
12. Данилов Н.Н., Иноземцева Л.П. Основы математической экономики: Учебное пособие. – Кемерово: КемГУ. - 1999. - 321 с. – www.math.kemsu.ru
13. Аль-Рефаи В.А., Наумейко И.В. Разработка математической модели конкурентных процессов. – www.academia.edu
14. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование/ Вольтерра В.– М.: Наука, 1976. – 248 с.

Отримано 11.10.2015 р.