

Математическая формулировка экономических критериев энергосистемы в условиях рыночных отношений.

The mathematical formulation of economic criteria of a power supply system in conditions the market relations

Бобоназаров Б. А.¹, Бейтуллаева Р. Х.², Норбоев А. Э.³, Имомназаров А. Б.⁴

¹Бобоназаров Бобомурод Акбарович / Bobonazarov Bobomurod Akbarovich - старший преподаватель;

²Бейтуллаева Румия Хамидуллаевна / Beytullaeva Rumia Hamidullaевна - старший преподаватель;

³Норбоев Анвар Эшмуминович / Norbaev Anvar Eshmuminovich – ассистент;

⁴Имомназаров Азиз Ботирович / Imomnazarov Aziz Botirovich – ассистент,
кафедра электрэнергетики,

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

Аннотация: в данной статье рассмотрены вопросы математического моделирования экономических критериев субъектов электроэнергетики в условиях либерализации.

Ключевые слова: критерии электроэнергетики, математическая формулировка, характеристика спроса, характеристика предложения, оптимальная генерируемая мощность.

Переход к рыночным отношениям характеризуется новыми правилами построения взаимоотношений между участниками рынка и пересмотром собственных критериев каждого из них. При этом критерии участников в разных моделях рынка электроэнергии должны основываться на общих для всех товарных рынков критериях.

Критерии участников совершенного рынка электроэнергии формируются при следующих принятых допущениях:

Участники рынка при принятии решений руководствуются только своими коммерческими интересами. Они не делают ничего, что не приносит прибыли или не предотвращает убытки.

В условиях перехода к рынку ни один участник не имеет власти на рынке. Все участники – ценополучатели, и их максимум прибыли достигается при равенстве цены и предельных затрат.

Исходя из первого условия, сформулируем критерии отдельных участников для различных моделей рынка в виде целевых функций – уравнений эффективности.

При заданной цене на рынке C_j прибыль ГК от продажи электроэнергии будет равна:

$$Z_j = C_j \cdot P_j - C_{Tj} \cdot B_j(P_j) - E_{\text{инст}} \rightarrow \max. \quad (1)$$

Компания заинтересована в продаже такой мощности, при которой ее прибыль максимальна. Это определяется соотношением:

$$\frac{\partial Z_j}{\partial P_j} = C_j - C_{Tj} \frac{\partial B_j}{\partial P_j} = 0 \quad (2)$$

т. е. оптимальная генерируемая мощность та, при которой дополнительные затраты на выработку дополнительного мегаватта мощности, называемые предельными затратами или относительным приростом:

$$\varepsilon_i = \frac{\partial B_i}{\partial P_{Gi}},$$

становятся равными его цене, сложившейся на рынке. Зависимость $\varepsilon_i(P_{Gi})$ называется характеристикой относительных приростов (ХОП). Зависимость $P_{Gi}(C_i)$, получаемая из ХОП, соответствует расходной характеристике (РХ) $B_i(P_{Gi})$ и является самой верхней из множества возможных характеристик предложения, при которых ЭЭС выгодно работать.

Если РХ представлена в виде квадратичной функции

$$B_i(P_{Gi}) = a_{0i} + a_{1i} \cdot P_{Gi} + \frac{1}{2} \cdot a_{2i} \cdot P_{Gi}^2, \quad (3)$$

то ХОП линейна

$$\varepsilon_i(P_{Gi}) = a_{1i} + a_{2i} \cdot P_{Gi}, \quad (4)$$

и ХП выглядит как

$$P_{Gi} = \frac{C_i - a_{1i}}{a_{2i}}. \quad (5)$$

Производная $\frac{\partial P_{Gi}}{\partial C_i}$ характеризует свойство производителей энергии увеличивать предложение при увеличении цены и снижать – при снижении. Для данного примера она выглядит как

$$\frac{\partial P_{Gi}}{\partial C_i} = \frac{1}{a_{2i}}. \quad (6)$$

Но поскольку эта производная имеет свои единицы измерения, зависящие от единиц измерения исходных величин, что не всегда удобно, то часто используется другая величина – эластичность предложения

$$\alpha_{Si} = \frac{\partial P_{Gi}}{\partial C_i} \cdot \frac{C_i}{P_{Gi}}, \quad (7)$$

показывающая, на сколько процентов изменится предложение при изменении цены на 1 %.

Отметим, что в приведенных выкладках цена не связывалась напрямую с себестоимостью. Эта связь появлялась лишь при введении условия оптимальности (1). Другими словами, реальная ХП может значительно отличаться от ХП, полученной из ХОП, например, если у ЭЭС нет достаточно полной информации о ХОП, или цена назначается не по условию (1), а из других соображений [1].

В этой модели между генерирующими компаниями, ЭК соседних стран и РК заключаются прямые двусторонние договора, где оговариваются условия поставки с учетом оплаты за транзит электроэнергии по сетям МЭС. Этой модели прибыль ГК от продажи электроэнергии, при заданной цене на рынке C_{gi} , будет равна

$$Z = C_{gi} P_{gi} - B(P_{gi}) - C_{ti} P_{gi} - E_{noc} \quad (6)$$

где P_{Gi} – генерируемая мощность (generation – генерация), $B_i(P_{Gi})$ – затраты на производство электроэнергии в единицу времени, C_{ti} – цена на транспортировку электроэнергии; E_{noc} – постоянные затраты.

Компания заинтересована в продаже такой мощности, при которой ее прибыль максимальна. Это определяется соотношением

$$\frac{\partial Z_i}{\partial P_{Gi}} = C_{gii} - \frac{\partial B_i}{\partial P_{Gi}} - C_{ti} = 0.$$

откуда следует, что:

$$C_{gi} = \frac{\partial B_i}{\partial P_{gi}} + C_{ti}$$

т. е. оптимальная генерируемая мощность та, при которой предельные затраты $\varepsilon_i = \frac{\partial B_i}{\partial P_{Gi}}$ плюс стоимость

транзита становятся равными его цене, сложившейся на рынке.

МЭС рассмотрена как единственный покупатель, который покупает электроэнергию от ГК и продаёт их РК и крупным потребителям.

Характеристика спроса МЭС (ХС) – зависимость покупаемой мощности в момент t , от цены этой мощности.

При заданной цене на рынке C_{gi} прибыль МЭС от продажи электроэнергии будет равна

$$Z_{TK} = \sum_i^{n_n} C_{ni}(P_{ni}) * P_{ni} - \sum_i^{n_g} C_{gi}(P_{gi}) * P_{gi} - E_{TKnoc} - E_{TKпер} \rightarrow \max \quad (7)$$

Переменные затраты в основном связаны с величиной потерь мощности в сети ТК и могут быть выражены как:

$$E_{TKпер} = C_{\Delta P} \Delta P_s = C_{\Delta P} \left(\sum_i^{n_g} P_{gi} - \sum_i^{n_n} P_{ni} \right) \quad (8)$$

где $C_{\Delta P}$ – цена потерь мощности.

С учетом это выражение (8) запишется как

$$Z_{TK} = \sum_i^{n_n} C_{ni}(P_{ni}) * P_{ni} - \sum_j^{n_g} C_{gj}(P_{gj}) * P_{gj} - C_{\Delta P} \left(\sum_j^{n_g} P_{gj} - \sum_i^{n_n} P_{ni} \right) - E_{TKnoc} \rightarrow \max \quad (9)$$

Максимум прибыли компании достигается при выполнении следующих условий:

$$\frac{\partial Z_{TK}}{\partial P_{gj}} = \sum_i^{n_n} (C_{ni} + C_{\Delta P}) \frac{\partial P_{ni}}{\partial P_{gj}} - C_{gj} - C_{\Delta P} = 0, (j = 1, \dots, n_g). \quad (10)$$

Решение последних уравнений определяет величины мощностей, закупаемых у ГК при предлагаемых ими ценах и обеспечивающие потребности все РК. Характеристики спроса ТК могут быть получены в виде зависимостей $P_{gj}(C_{gj})$, при вариации цен ГК и определении оптимальных значений мощностей по (1).

Распределительные компании, занимающиеся розничной торговлей, покупают электроэнергию по договорам непосредственно от производителей и доставляют ее через передающую сеть потребителям. Распределительные компании все еще имеют монопольное право на электроснабжение конечных потребителей. Однако имеется открытый доступ к передающей сети производителей электроэнергии, распределительных компаний и крупных потребителей.

В этой модели критерий РК определяется с помощью разности выручки от продажи мощностей, покупки мощности от ЭС и соседних энергокомпаний, затраты, связанные с оплатой транзита от ГК и собственные затраты [1].

$$Z_{RK} = \sum_i^{n_n} C_{ni}(P_{ni}) * P_{ni} - \sum_i^{n_g} C_{gi}(P_{gi}) * P_{gi} - C_{\Delta P} \Delta P_s - E_{TR} - E_{RKnoc} \rightarrow \max \quad (12)$$

Компания заинтересована в такой организации покупки–продаже, при которой ее прибыль максимальна.

Взаимоотношения с конечными потребителями непосредственно не являются предметом исследования, но оказывают существенное влияние на характеристики спроса участника рынка – РК, приведем краткие сведения о характеристиках спроса потребителей.

Характеристика спроса потребителя (ХС) – зависимость мощности, которую готов купить потребитель в момент t , от цены этой мощности.

Чем ниже цена, тем больший объем товара в общем случае потребитель сможет использовать эффективно. Под эффективностью подразумевается, что затраты на приобретение дополнительной единицы товара меньше выручки от реализации дополнительного количества продукции, для производства которой использовался этот товар. Уменьшение спроса при увеличении цены означает, что у потребителя есть возможности сократить объем потребления за счет отключения менее эффективных элементов либо за счет альтернативных источников энергии. Последнее особенно характерно, когда в качестве покупателей выступают энергосистемы, которые не имеют экономических станций, и которым до определенного значения цены выгоднее покупать электроэнергию, чем производить свою.

Критерием каждого предприятия является получение максимальной прибыли

$$L_j = \Pi \cdot K(P_{Lj}) - E(K) \quad (13)$$

где Π – рыночная цена продукции, производимой предприятием, K – количество продукции, производимой за единицу времени, P_{Lj} – потребляемая мощность (load – нагрузка), $E(K)$ – суммарные затраты на производство, равные

$$E(K) = C_j \cdot P_{Lj} + E_{np}(K), \quad (14)$$

C_j – цена электроэнергии, $E_{np}(K)$ – прочие производственные затраты.

С учетом (3.19) это выражение запишется как

$$L_j = \Pi \cdot K(P_{Lj}) - C_j \cdot P_{Lj} - E_{np}(K(P_{Lj})) \quad (15)$$

Максимум прибыли предприятия достигается при потреблении энергии

$$\frac{\partial L_j}{\partial P_{Lj}} = \Pi \cdot \frac{\partial K}{\partial P_{Lj}} - \frac{\partial E_{np}(K)}{\partial K} \cdot \frac{\partial K}{\partial P_{Lj}} - C_j = 0. \quad (16)$$

Откуда получим

$$C_j = \left(\Pi - \frac{\partial E_{np}(K)}{\partial K} \right) \cdot \frac{\partial K}{\partial P_{Lj}}. \quad (17)$$

Таким образом, если предприятие знает свои характеристики $E_{np}(K)$ и $K(P_{Lj})$, то оно знает и свою ХС на электроэнергию.

В настоящее время осуществляется покупка и продажа между энергокомпаниями государств Центральной Азии [1].

Особенностью ЭЭС является совмещение функций генерирующей и распределяющей компании. Каждая ЭЭС имеет «своих» потребителей, тарифы для которых регулируются государством. Снабжение этих потребителей является приоритетной задачей ЭЭС. Поэтому избыточные ЭЭС продают на оптовом рынке энергию, а дефицитные – покупают:

$$P_{Si} = P_{Gi} - P_{Ci},$$

где P_{Si} – продаваемая мощность (sale-продажа), P_{Ci} – мощность внутренних потребителей (consumption – потребление). При $P_{Si} < 0$ эта мощность покупается

$$P_{Bi} = -P_{Si},$$

P_{Bj} – покупаемая мощность (buy – покупка).

Принимаем, что цена электроэнергии для внутренних потребителей C_{Ci} не зависит от ситуации на рынке, а их мощность постоянна $P_{Ci} = \text{const}$. Прибыль ЭЭС будет равна

$$L_i = C_i \cdot P_{Si} + C_{Ci} \cdot P_{Ci} - B_i(P_{Si} + P_{Ci}) \quad (18)$$

Максимальную прибыль можно получить при продаже мощности P_{Si} , определяемой из соотношения

$$\frac{\partial L_i}{\partial P_{Si}} = C_i - \frac{\partial B_i}{\partial P_{Si}} = 0, \quad (19)$$

и если РХ j -й ЭЭС представлена в виде

$$B_j(P_{Sj} + P_{Cj}) = a_{0j} + a_{1j} \cdot (P_{Sj} + P_{Cj}) + \frac{1}{2} \cdot a_{2j} \cdot (P_{Sj} + P_{Cj})^2, \quad (20)$$

то ХОП ЭЭС

$$\varepsilon_i(P_{Gi}) = a_{1i} + a_{2i} \cdot (P_{Si} + P_{Ci}). \quad (21)$$

Тогда ХП имеет вид

$$P_{Sj} = \frac{C_j - a_{1j}}{a_{2j}} - P_{Cj}, \quad (22)$$

а ХС

$$P_{Bj} = -P_{Sj} = P_{Cj} - \frac{C_j - a_{1j}}{a_{2j}}, \quad (23)$$

Рассмотренная ситуация характеризует самобалансирующуюся ЭЭС, спрос которой определяется имеющимися альтернативами производства. Если в системе нет таких мощностей, то из нее необходимо выделить предприятия таким образом, чтобы она стала самобалансирующейся, а выделенные предприятия рассматривать отдельно, как описано выше.

Литература

1. Шарипов У. Б., Бобоназаров Б. А. Модели функционирования МЭС в условиях рыночных отношений, международная конференция «Проблемы энергосбережения», г. Ташкент, 2003 г.
2. Шарипов У. Б., Бобоназаров Б. А. Характеристика спроса и предложения в рынке электроэнергии, научно-практическая конференция «Развития науки и технике», г. Ташкент, 2003 г.