

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 338.912.13

В. М. Ковальчук

ВЕРОЯТНОСТНО-МАРЖИНАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТА ПРЕДПРИЯТИЯ

UDC 338.912.13

V. M. Kovalchuk

PROBABILISTIC MARGINAL TOOLS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF ENTERPRISE ENERGY MANAGEMENT

Аннотация

Подчеркивается, что существующий инструментарий оценки эффективности энергетического менеджмента не учитывает стохастический характер энергетических потоков и противоречит основным экономическим целям предприятий: максимизации прибыли, в том числе и за счет роста конкурентоспособности. Показано, что экономическая эффективность использования ресурсов предприятия зависит как от технологического уровня производства, так и от уровня цен и конкуренции на рынках ресурсов и продукции производства. На основе маргинально-вероятностного подхода предлагается увязывать существующий инструментарий оценки эффективности энергоменеджмента с долей затрат на энергетический ресурс в рыночной цене единицы продукции, сложившихся на рынках конкурентной экономики.

Ключевые слова:

энергоменеджмент, энергосбережение, вероятностные методы, максимизация прибыли, маргинальные показатели, удельный расход ресурсов, целевой показатель энергосбережения, эффективность энергопотребления.

Abstract

The paper highlights that the existing tools for assessing the efficiency of energy management do not take into account the stochastic nature of energy flows and contradict the main economic goals of enterprises — profit maximization, including the one achieved through the growth of competitiveness. It is shown that the economic efficiency of the use of enterprise resources depends both on the technological level of production and the level of prices and competition in the markets of resources and products. Based on the marginal probabilistic approach it is proposed to link the available tools for assessing the efficiency of energy management with the share of energy costs in the market price of a unit of product prevailing in the competitive markets.

Keywords:

energy management, energy saving, probabilistic methods, profit maximization, marginal indicators, specific consumption of resources, target indicator of energy saving, energy consumption efficiency.

Введение

Энергетический менеджмент промышленных предприятий имеет цель бесперебойного снабжения энергией производственных процессов с наи-

большей эффективностью. Для эффективного управления энергетическими ресурсами необходимо обеспечить предприятия соответствующим инструментарием и руководством по энергоменеджменту. В Республике Беларусь



действует государственный стандарт на системы управления энергопотреблением СТБ ISO 50001–2013, который соответствует международному стандарту ISO 50001:2011 *Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению* [1]. Большинство требований ISO 50001 относятся к энергетической результативности. Энергетическая результативность – это измеримые результаты, относящиеся к эффективности энергопотребления.

Основная часть

Эффективность энергоменеджмента предприятий в Республике Беларусь оценивается по выполнению утвержденных в органах государственного управления нормативных удельных расходов энергоресурсов ρ_i как отношение количества энергии x_i , приходящегося на единицу выпускаемой продукции в натуральных единицах q (штуки, тонны и т. п.):

$$\rho_i = \frac{q}{x_i} \quad (1)$$

и целевого показателя (ЦП) энергосбережения в целом по предприятию, который до 2011 г. рассчитывался как отношение обобщенных энергозатрат отчетного периода W_O к базисному (прошлому году) W_B за минусом темпов изменения объемов производства продукции (услуг) $J_{ПП}$ в процентах в сопоставимых ценах:

$$\text{ЦП} = \frac{W_O}{W_B} \cdot 100 \% - J_{ПП} \quad (2)$$

и на сегодняшний день как отношение

$$\text{ЦП} = \left(\frac{W_O}{W_B} - 1 \right) \cdot 100 \% \quad (3)$$

Для объективности оценки ЦП обобщенные энергозатраты базисного

периода приводятся к сопоставимым условиям по формуле

$$W_B^{CV} = W_B + \sum \Delta W_B,$$

где ΔW_B – величина изменений обобщенных энергозатрат в базисном периоде, зависящая для предприятий от изменений объемов производства продукции, работ и услуг, температуры наружного воздуха, продолжительности отопительного сезона и т. п. В [2] показано, что при объемах q_k и номенклатуре $k = 1, 2, \dots, n$ промышленного производства при удельных расходах энергии в базисном ρ_k^B и отчетном ρ_k^O периодах ЦП по формуле (3) принимает вид:

$$\text{ЦП} = \left(\frac{\sum_{k=1}^n q_k \rho_k^O}{\sum_{k=1}^n q_k \rho_k^B} - 1 \right) \cdot 100 \%$$

и по существу оценивает относительное изменение энергоемкости объемных показателей производства продукции.

Однако при выполнении всеми министерствами Республики Беларусь целевого показателя по энергосбережению не наблюдается относительно снижения прогнозного показателя, задаваемого в рамках системы государственного энергоменеджмента и используемого при международных сопоставлениях для оценки уровня энергетической безопасности и конкурентоспособности экономик, энергоемкости ВВП [3],

$$\mathcal{E}_{ВВП} = \frac{W_{\mathcal{E}}}{P_{\mathcal{S}}}$$

как количества энергии $W_{\mathcal{E}}$ (выражаемой в эквивалентном количестве нефти или условного топлива), затраченного на 1 долл. ВВП $P_{\mathcal{S}}$ (оцененного по паритету покупательской способности):



$$\Delta \mathcal{E}_{\text{ВВП}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{П}} - \mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{Б}}}{\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{Б}}} \cdot 100 \%,$$

где $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{П}}$, $\mathcal{E}_{\text{ВВП}}^{\text{Б}}$ – энергоемкость экономики в планируемом и базисном периодах соответственно.

Причин такой ситуации несколько. Первая причина, как свидетельствует опыт и практика работы системы энергоменеджмента БМЗ [4], заключается в том, что действующий в Республике Беларусь инструментарий оценки эффективности энергоменеджмента предприятий противоречит основным экономическим целям государства и предприятий: максимизации добавленной стоимости продукции и ВВП, в том числе и за счет роста конкурентоспособности. Здесь справедливо замечание к [5], что спрашивать с предприятий надо результат – наличие прибыли и устойчивый рост, а не выполнение отдельных объемных показателей эффективности, в том числе и энергоменеджмента.

Вторая причина в том, что энергосбережение в Республике Беларусь базируется на методологии удельных норм потребления энергетических ресурсов, определяемых по полезной работе отдельных технологических операций. По технологическим показателям отдельного промышленного оборудования планируется определенный объем выпуска продукции и рассчитывается общий и удельный расход ресурсов на всех уровнях производства, который и принимается за норму. При этом особо подчеркивается, что «научно обоснованные» нормы должны базироваться на аналитических расчетах и экспериментальной основе с учетом не достигнутого, а планируемого уровня организации производства и отбрасываются, как «порочные» статистические методы.

Практика современного энергоменеджмента показывает, что такой подход определения теоретических (или

паспортных) расходов энергоресурсов на единицу продукции оправдан только на стадии конструирования отдельных агрегатов. При установке этого агрегата на конкретном производстве данный подход не может быть применен из-за влияния на режим его работы случайных факторов внешней среды. Иными словами, произошедшие за последнее время качественные и количественные изменения в экономике сделали неизбежным отказ от расчетов, основанных на единичном, и переход к вероятностным (эконометрическим) подходам.

В настоящее время стало очевидным, что первая (детерминированная) научная картина мира неприменима для практически бесконечного количества электроприемников (а это и есть 150...300 электроприемников), для всего количества режимов и связей. Изменение сущностной основы электрического хозяйства сделало неизбежными необходимость отказа от расчетов, основанных на исследовании единичного, и переход к вероятностным (статистическим) представлениям. Принципиально то, что в данном случае говорят не о точном, однозначном решении, а лишь о наличии математического ожидания (наличие среднего) и приемлемой для практики (инженерной) ошибке (конечная дисперсия). Математически же это означает, что существуют первые моменты, используемые теорией вероятностей, действуют центральная предельная теорема и закон больших чисел, то есть в пределе имеем дело с нормальным (гауссовым) распределением.

Переход к вероятностным методам в методологии оценки эффективности энергоменеджмента нашел отражение в появлении новых направлений исследования, к которым можно отнести применение эконометрического и математического моделирования для решения проблемы нормирования и управления электропотреблением для целей энергосбережения [6–8].



В современной экономической теории выделяют техническую и экономическую эффективность использования ресурсов. Технически эффективной считается такая организация производства, когда при заданном векторе расхода ресурсов $\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_i$ объем производства q максимален:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_i) = q \rightarrow \max \quad (4)$$

при условии, что

$$x_i \leq \hat{x}_i, \quad i = \overline{1, n},$$

где $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – производственная функция от вектора расхода ресурсов x_1, x_2, \dots, x_n . Известно, что условие (4) выполняется, если удельная (средняя) ресурсоемкость x_i/q , обратная ресурсоотдаче q/x_i , минимальна.

Производство считается экономически эффективным, если оптимальные объем производства q^* и вектор расхода ресурсов $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$ обеспечивают максимальную прибыль $\Pi(x_1, x_2, \dots, x_i; q)$:

$$\begin{aligned} \Pi(x_1, x_2, \dots, x_i; q) &= \\ &= D(q) - I(x_1, x_2, \dots, x_i) \rightarrow \max; \\ f(x_1, x_2, \dots, x_n) &\geq q; \\ x_i &\geq 0, \quad i = \overline{1, n}; \\ q &\geq 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где $I(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – функция издержек; $D(q)$ – функция дохода; $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – производственная функция от вектора расхода ресурсов x_1, x_2, \dots, x_n ; q – объем производства.

Известно [9], что максимума (5) достигает, если

$$\begin{aligned} \frac{\partial [I(x_1, x_2, \dots, x_n)]}{\partial x_i} &= \\ &= \frac{\partial [D(q)]}{\partial q} \cdot \frac{\partial [f(x_1, x_2, \dots, x_n)]}{\partial x_i} \\ &\text{при } i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (6)$$

или

$$\begin{aligned} \frac{\partial [I(x_1, x_2, \dots, x_n)]}{\partial x_i} &= \frac{\partial \{D[f(x_1, x_2, \dots, x_n)]\}}{\partial x_i} \\ &\text{при } i = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

То же самое в терминах экономической теории

$$ПСП(x_i) = ПВ(q) \cdot ПФП(x_i),$$

или

$$ПСП(x_i) = ПВП(x_i) \quad \text{при } i = \overline{1, n},$$

где $ПСП(x_i)$ – предельная стоимость i -го ресурса; $ПВ(q)$ – предельная выручка; $ПФП(x_i)$ – предельный физический продукт i -го ресурса; $ПВП(x_i)$ – предельная выручка i -го ресурса.

Определим, от каких экономических факторов зависит эффективность использования ресурса. Для этого представим функцию издержек $I(x_1, x_2, \dots, x_n)$ как

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_{xi},$$

где p_{xi} – цена единицы i -го ресурса.

При условии, что p_{xi} не зависит от объема потребления ресурса, выражение (6) примет вид:

$$p_{xi} = \frac{\partial [D(q)]}{\partial q} \cdot \frac{\partial [f(x_1, x_2, \dots, x_n)]}{\partial x_i}. \quad (7)$$



В этом выражении $\frac{\partial[D(q)]}{\partial q}$ – предельная доходность производства, которая, согласно экономической теории, зависит от положения предприятия на рынке товаров (т. е. от эластичности спроса E_{qp} по цене p_q продукции предприятия):

$$\frac{\partial[D(q)]}{\partial q} = p_q \cdot \left(1 - \frac{1}{|E_{qp}|}\right).$$

Например, на рынке с совершенной конкуренцией изменение выпуска продукции любой фирмой не изменяет равновесную цену на данную продукцию, т. е.

$$\frac{\partial[D(q)]}{\partial q} = p_q.$$

В этом случае выражение (7) принимает вид:

$$\frac{\partial[f(x_1, x_2, \dots, x_n)]}{\partial x_i} = \frac{p_{xi}}{p_q}. \quad (8)$$

Анализ формул (6) и (7) показывает, что экономическая эффективность потребления энергоресурсов определяется двумя группами факторов:

1) соотношением цен на продукцию и ресурсы, эластичностью спроса E_{qp} по цене p_q продукции предприятия;

2) предельным физическим продуктом, который определяется технической эффективностью технологии производства.

Таким образом, уровень экономической эффективности использования ресурсов в первую очередь задается внешними экономическими условиями, в которых работает данное предприятие. В рыночной экономике – это конкуренция на рынках ресурсов и продук-

ции производства. В переходной экономике, когда цены можно устанавливать по затратному принципу, возникает необходимость государственного регулирования эффективности использования ресурсов через нормирование и задание на объемы ресурсосбережения. Но в любом случае производитель должен иметь инструментарий оценки эффективности энергоменеджмента, позволяющий выбирать в краткосрочном периоде такой объем производства (масштаб), а в долгосрочном периоде такую производственную функцию (технологии), которые были бы экономически оптимальными. Для решения этой задачи предлагается удельный расход p_i i -го ресурса x_i (т. е. энергоёмкость продукции) выразить через соотношение (8):

$$\begin{aligned} \frac{x_i}{q} &= \frac{x_i \cdot p_{xi}}{q \cdot p_{xi}} = \\ &= \frac{x_i \cdot p_q \cdot \partial[f(x_1, x_2, \dots, x_i)]}{q \cdot p_{xi} \cdot \partial x_i} = \frac{p_q}{p_{xi}} \cdot E_{qx}, \end{aligned}$$

где E_{qx} – частный коэффициент эластичности объема выпуска продукции q от расхода i -го ресурса x_i , т. к. $f(x_1, x_2, \dots, x_i) = q$, а E_{qx} , как известно,

$$E_{qx} = \frac{x_i \cdot \partial q}{q \cdot \partial x_i}.$$

Но поскольку

$$\frac{x_i \cdot p_{xi}}{q \cdot p_q} = DX_i$$

есть доля затрат на i -й ресурс x_i в цене единицы продукции, то частный коэффициент эластичности объема выпуска продукции q от расхода i -го ресурса x_i будет равен этой доли:



$$E_{qx} = DX_i.$$

Предприятию необходимо применять такую производственную функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (т. е. технологию) или объем выпуска продукции q , которые бы обеспечивали частные коэффициенты эластичности E_{qx} , равные или ниже сложившейся в конкурентной экономике доле DX_{is} затрат на i -й ресурс x_i в рыночной цене единицы продукции. При этом экономически оптимальный удельный расход ресурса $\rho_{ЭО}$ и целевой показатель энергосбережения $ЦП_{ЭО}$ при фактических удельных расходах ρ_{Φ} и темпах изменения объемов производства продукции (услуг) J_{III}^0

$$\rho_{ЭО} = \frac{p_q}{p_{xi}} DX_{is};$$

$$ЦП_{ЭО} = \frac{\rho_{ЭО} - \rho_{\Phi}}{\rho_{ЭО}} \cdot J_{III}^0. \quad (9)$$

Вместе с тем практическое применение маргинальных показателей встречает ряд методических трудностей.

1. Для оценки анализируемого фактора производства (например, электроэнергии) по наблюдаемым данным другие факторы производства (трудовые, финансовые и т. п. ресурсы) должны быть в неизменном состоянии, что практически невыполнимо.

2. Теория предельных измерений базируется на законе убывающей предельной производительности факторов производства. При наблюдаемом на практике диапазоне изменений факторов производства и зависящего от них объема доходов предприятий этот закон практически не выявляется. Опыт показывает, что производственные функции $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ конкретного производства лучше всего аппроксимируются линейными зависимостями. Это не про-

тиворечит и закону «больших чисел» теории вероятностей, поскольку одновременное воздействие всех факторов производства нормализует закон распределения $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Методические трудности применения на практике маргинальных показателей преодолеваются, если:

1) в рамках экономической теории факторы производства x_1, x_2, \dots, x_n , объем производства q и цены на продукцию и ресурсы p_q, p_{xi} и связанные с ними производственную функцию $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, функции дохода $D(x_1, x_2, \dots, x_n, q, p_q)$ и издержек $I(x_1, x_2, \dots, x_n, p_x)$ представить в виде системы случайных n -мерных величин с нормальным законом распределения;

2) средние и предельные показатели этих функций находить методами теории вероятностей и эконометрики через детерминированные эквиваленты – уравнения регрессии (условные математические ожидания) и области практически достоверных значений.

Например, зависимость объема выпуска продукции q от объема потребления электроэнергии x , т. е. производственную функцию $q = f(x)$, можно представить как случайную величину с нормальным законом распределения, которая описывается совместной плотностью распределения $f(q, x)$, математическими ожиданиями m_x, m_q , дисперсиями σ_x^2, σ_q^2 и коэффициентом корреляции r_{xq} . Тогда детерминированный эквивалент зависимости $q = f(x)$ в виде регрессионной зависимости (условного математического ожидания) будет

$$M [q | x = x] = m_q + r_{xq} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_x} \cdot (x - m_x).$$



В этом случае предельная производительность ресурса

$$\frac{\partial M[q|x=x]}{\partial x} = r_{xq} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_x},$$

а условие (8) экономичного использования ресурса в конкурентной среде примет вид:

$$r_{xq} \cdot \frac{\sigma_q}{\sigma_x} = M \left[\frac{p_x}{p_q} \right].$$

Оптимальное при этом среднее значение удельного расхода ресурса x , согласно (9), должно быть

$$M[\rho_{ОПТ}] = M \left[DX_{iЭ} \cdot \frac{p_q}{p_x} \right].$$

В целом все режимы потребления электроэнергии будут эффективными, если

$$\rho_{ОПТ} \geq \rho_{\max} | q = q_{\min},$$

где $\rho_{\max} | q = q_{\min}$ – условный максимальный фактический удельный расход энергоресурса при минимальном объеме выпуска продукции,

$$\rho_{\max} | q = q_{\min} = \frac{m_x}{q_{\min}} + r_{xq} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_q} \left(1 - \frac{m_q}{q_{\min}} \right) + \frac{\beta}{q_{\min}} \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r_{xq}^2}.$$

В условиях, когда $\rho_{\min} | q = q_{\max} \leq \rho_{ОПТ} < \rho_{\max} | q = q_{\min}$, взяв за основу помесячные наблюдаемые объемы производства q_i , находим допустимые месячные расходы энергоносителя $x_{iD} = \rho_{ОПТ} \cdot q_i$ и, сравнивая эти значе-

ния с фактическими расходами x_i , определяем месяцы, в которых перерасход и экономия электроэнергии

$$\Pi_{ii}(t) = \int_0^t [x_i(t) - x_{iD}] dt \quad \text{при } x_i > x_{iD};$$

$$\Xi_{ii}(t) = \int_0^t [x_{iD} - x_i(t)] dt \quad \text{при } x_i < x_{iD}.$$

При условии, когда

$$\rho_{ОПТ} < \rho_{\min} | q = q_{\max} = \frac{m_x}{q_{\max}} + r_{xq} \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_q} \times \left(1 - \frac{m_q}{q_{\max}} \right) - \frac{\beta}{q_{\max}} \sigma_x \cdot \sqrt{1 - r_{xq}^2},$$

в целом на предприятии расход энергоносителя является экономически неэффективным.

Заключение

1. Существующий инструментальный оценки эффективности энергетического менеджмента предприятий в Республике Беларусь, который базируется на методологии удельных норм потребления энергетических ресурсов, определяемых по полезной работе отдельных технологических операций, не учитывает стохастический характер энергетических потоков и противоречит основным экономическим целям предприятий: максимизации прибыли, в том числе и за счет роста конкурентоспособности.

2. Уровень экономической эффективности использования ресурсов в первую очередь задается внешними экономическими условиями, в которых работает данное предприятие. В рыночной экономике – это конкуренция на рынках ресурсов и продукции производства. В переходной экономике, когда цены можно устанавливать по затратному принципу, возникает необходи-



мость государственного регулирования эффективности использования ресурсов через нормирование и задание на объемы ресурсосбережения. Но в любом случае предприятие должно иметь инструментарий оценки эффективности энергоменеджмента, позволяющий выбирать в краткосрочном периоде такой объем производства (масштаб), а в долгосрочном периоде такую производственную функцию (технология), которые были бы экономически оптимальными.

3. Экономически оптимальный удельный расход энергоресурса и целевой показатель энергосбережения должны определяться при условии, когда предприятие применяет такую

технология и такой объем выпуска продукции, которые бы обеспечивали частные коэффициенты эластичности производственной функции, равные или ниже сложившейся в конкурентной экономике доле затрат на энергетический ресурс в рыночной цене единицы продукции.

4. Оценка эффективности энергоменеджмента предприятия должна производиться методами эконометрики через детерминированные эквиваленты – уравнения регрессии (условные математические ожидания) и области практически достоверных значений с использованием современных информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубенчик, Б. И. О стимулировании внедрения в Беларуси стандарта СТБ ISO 50001–2013 / Б. И. Рубенчик // Энергия и менеджмент. – 2015. – № 4–5. – С. 10–12.
2. Ковальчук, В. М. Экономика предприятия и эффективность энергоменеджмента / В. М. Ковальчук // Инновационные процессы в социально-экономическом развитии: материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Бобруйск, 17 нояб. 2015 г. – Минск: РИВШ, 2015. – 218 с.
3. Данилов, К. По отчетам – экономия. В действительности – разбазаривание средств / К. Данилов, В. Кудин // Государственный контроль. – 2013. – № 3.
4. Андрианов, А. Как совместить экономические цели предприятия с выполнением Директивы Президента Республики Беларусь № 3 / Н. Андрианов // Директор. – 2008. – № 7.
5. Шенец, Л. В. Как считать экономию энергии? / Л. В. Шенец // Директор. – 2008. – № 11.
6. Желудкевич, М. Е. Моделирование ресурсосбережения: учебное пособие / М. Е. Желудкевич. – Минск: БГЭУ, 2002. – 66 с.
7. Шенец, Е. Л. Анализ показателей эффективности энергоресурсов и методов оценки эффективности внедрения мероприятий по энергосбережению на промышленных предприятиях / Е. Л. Шенец, А. А. Капанский // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 2. – С. 6–11.
8. Использование методов математического моделирования для решения практических задач оценки энергоэффективности / Н. В. Грунтович, А. А. Капанский, С. Г. Жуковец, Е. Л. Шенец // Энергия и менеджмент. – 2017. – № 3. – С. 21–25.
9. Аксель, Э. М. Математические методы в микроэкономике. Теория фирмы: учебное пособие / Э. Б. Аксель. – Минск: БГЭУ, 2000. – 54 с.

Статья сдана в редакцию 14 апреля 2019 года

Владимир Михайлович Ковальчук, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: vladmix@tut.by.

Vladimir Mikhailovich Kovalchuk, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: vladmix@tut.by.

