

УДК 338.5

## ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РОЗНИЧНЫХ ЦЕН НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ОТ ДИНАМИКИ ЭКЗОГЕННЫХ ФАКТОРОВ (ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ПРАВОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК)

*И.Ю. Золотова*

### ESTIMATION BASED ON THE CHANGES IN RETAIL ELECTRICITY PRICES DEPENDING ON THE DYNAMICS OF EXOGENOUS FACTORS (ECONOMIC AND LEGAL CHARACTERISTICS)

*I.Yu. Zolotova*

**Аннотация.** В современном обществе практически все действующие экономические агенты потребляют электроэнергию, и цена на электроэнергию является значимым фактором при оценке динамики экономики как отдельного хозяйствующего субъекта, так и страны в целом. При этом сама цена на электроэнергию и ее динамика подвержены влиянию ряда экзогенных факторов. В статье с помощью методов математического анализа найдены количественные зависимости между отдельными экономическими характеристиками, влияющими на динамику розничных цен на электроэнергию в Российской Федерации (обоснование выбора которых представлено автором), проведено сравнение полученных результатов с фактическими данными, установлены возможные причины отклонений. Автором доказана существенная значимость изменений правил функционирования рынка электроэнергии и методов ценообразования в отрасли на динамику цен на электроэнергию для конечных потребителей.

**Ключевые слова:** розничная цена на электроэнергию, регрессионная модель, математический анализ.

**Abstract.** In modern society, almost all the existing economic agents consume electricity, and electricity price is the key factor when evaluating the dynamics of economy as a separate economic entity and country. However, the price of electricity and its dynamics are affected by several exogenous factors. In the article using the methods of mathematical analysis, there is found a quantitative relationship between individual economic characteristics affecting the dynamics of retail prices for electricity in the Russian Federation (the rationale selection of which is presented by the author), the comparison of the results obtained with the actual data is being made, the possible causes of deviations are defined. The author has proved the essential significance of changes in rules of electricity market functioning and pricing methods in the industry on the dynamics of the electricity prices for end consumers.

**Keywords:** retail electricity price, regression model, mathematical analysis.

Стоимость электроэнергии в Российской Федерации для конечных потребителей формируется, исходя из четырех составляющих – стоимости генерации, стоимости услуг по передаче электроэнергии, стоимости услуг отраслевой инфраструктуры (услуги системного и коммерческого операторов рынка) и сбытовых организаций. Наибольшая доля в структуре розничной цены на электроэнергию приходится на оплату производства электрической энергии (мощности) на оптовом и розничном рынках ( $\approx 65\%$ ) [5].

Изменения каждой составляющей в совокупности образуют изменение розничной цены на электроэнергию. Очевидно, что поскольку доли составляющих различны, то различна и степень их влияния. При этом на каждую составляющую розничной цены на электроэнергию, в свою очередь, оказывают влияние определенные факторы: производственные и макроэкономические показатели, правила и методы ценообразования в электроэнергетической отрасли, поведение экономических агентов (производителей и потребителей электроэнергии), система государственного регулирования отраслью (более подробно влияние факторов на изменение розничной цены на электроэнергию рассмотрено в статье И.Ю. Золотовой «Что влияет на тариф?», опубликованной в журнале «Энергорынок» в 2011 г.).

Учитывая, что преобладающей составляющей в розничной цене на электроэнергию является стоимость производства электрической энергии (мощности), реализуемой на оптовом рынке, а основная доля производства электроэнергии приходится на тепловые (газовые и угольные) электростанции (вырабатывающие электроэнергию посредством преобразования химической энергии топлива в механическую энергию вращения вала электрогенератора) (62 %) [10], в рамках статьи приведено модельное описание количественных взаимосвязей между ценой на электроэнергию и ценой основных видов топлива, сжигаемое на электростанциях (газ, уголь). Так как рассматриваемые данные представлены в номинальных, а не реальных ценах, в качестве дополнительной экзогенной переменной принят показатель инфляции.

В качестве анализируемых переменных приняты не абсолютные показатели (например, уровень цен на электроэнергию, цены на топливо), а относительные – годовые темпы роста соответствующих характеристик. Таким образом, все переменные имеют оди-

наковую размерность (%). Выбор такого вида данных обусловлен в том числе форматом основных показателей прогноза социально-экономического развития Российской Федерации по ценам (тарифам) на продукцию (услуги) компаний инфраструктурного сектора, публикуемого Минэкономразвития России. В качестве исходной информации для построения модели использованы данные Росстата и Минэкономразвития России за 1999–2012 г. [8].

Исследование степени статистической зависимости между анализируемыми переменными – розничной ценой на электроэнергию, ценой на топливо и инфляцией – было осуществлено с помощью коэффициента корреляции. Выполненные расчеты выявили, что коэффициент корреляции темпа роста цен на электроэнергию с темпами роста цен на топливо равен 0,6, то есть имеет «промежуточное значение» (между 0 и 1). В данном случае можно говорить, что указанные величины частично связаны между собой, то есть на 60 % рост розничной цены на электроэнергию зависит от темпа роста цен на топливо, а на 40 % – от других факторов (о чем выше уже было упомянуто). Тем не менее, полученная корреляционная связь рассматриваемых показателей дает возможность продолжить анализ и определить (дать количественную оценку) влияние каждого принятого фактора в отдельности, а также совокупное их воздействие на зависимую переменную (темпа роста цен на электроэнергию).

Дополнительно, для подтверждения статистической достоверности обнаруженной связи (темпа роста цены на электроэнергию от темпа роста цен на топливо) вычислена корреляционная поправка и найдено отношение коэффициента корреляции (0,6) к корреляционной поправке, которое по модулю составило 3,38 (больше 3) – это позволяет констатировать, что найденная связь неслучайна.

Кроме того, выявлено, что связи между факторами (экзогенными переменными) слабые (отсутствует мультиколлинеарность) и не требуется их исключения из модели.

Построим регрессионную модель изменения розничной цены на электроэнергию.

Анализируя априорную информацию об исследуемых зависимостях (преобладание тепловой газовой и угольной генерации в структуре выработки электроэнергии) и исходя из наличия линейной зависимости между анализируемыми переменными, а также руководствуясь принципом минимальной сложности выбранной

функции и оптимальном соотношении числа наблюдений (в нашем случае  $n = 14$ ) и числа вычисляемых коэффициентов функции регрессии при объясняющих переменных (первое должно превышать в 6 раз последнее), в качестве функции, позволяющей найти зависимость темпа роста розничной цены на электроэнергию от темпов роста цен на основные виды топлива (газ, уголь) и инфляции, использована функция множественной линейной регрессии. Для оценки коэффициентов при объясняющих переменных применен наиболее распространенный на практике метод наименьших квадратов (МНК).

Построенное уравнение линейной множественной регрессии имеет вид (оценка (проверка) полученного уравнения регрессии показала его статистическую значимость, надежность и адекватность выбранной функции):

$$\hat{y} = -14,281 + 0,612 * x_1 + 0,188 * x_2 + 0,324 * x_3 \quad (1)$$

где:

$\hat{y}$  – темп роста розничных цен на электроэнергию;

$x_1$  – темп роста цен на газ;

$x_2$  – темп роста цен на уголь;

$x_3$  – инфляция.

Оно показывает, что при увеличении только цены на газ  $x_1$  на 1 % (при прочих равных, неизменных факторах) розничная цена на электроэнергию вырастет на 0,6 %, влияние цен на уголь и инфляции составит 0,19 % и 0,3 % соответственно.

Практическая значимость уравнения множественной регрессии определена с использованием коэффициента детерминации ( $R^2$ ), показывающего, какая часть (доля) вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющих переменных. Для полученного уравнения коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,5868. Таким образом, в 58,7 % случаев изменение рассматриваемых факторов (цен на газ, уголь и инфляции) приводит к изменению розничной цены на электроэнергию. В остальных 41,3 % случаях изменение цены на электроэнергию для конечных потребителей зависит от других параметров, не учтенных в модели.

В общем случае полученные результаты говорят о средней точности подбора уравнения регрессии. Вместе с тем стоит подчеркнуть, что данные результаты соответствуют фактическим данным о структуре розничной цены на электроэнергию и подтверждают

представленные выше аналитические предположения о зависимости изменение цены на электроэнергию от различных факторов (не только от цен на сжигаемое на электростанциях топлива).

Оценка коэффициентов уравнения при  $x_1$  и  $x_2$  показала их значимость с вероятностью 88 % (с вероятностью 93 % значимым оказывается только коэффициент при  $x_1$ ). Коэффициенты свободного члена и при переменной  $x_3$  незначимы при рассматриваемых вероятностях.

Автором ставится задача по нахождению уравнения регрессии более высокого качества ( $R^2$  должен составлять не менее 0,8), и значимость коэффициентов которого будет не ниже «желаемого» (допустимого) уровня (95 %).

Далее представлен анализ полученной модели изменения розничной цены на электроэнергию и определены направления по ее доработке с целью формирования более точных оценок.

Проанализируем полученные результаты с учетом особенностей ценообразования в отрасли.

На *рис. 1* представлены графики динамики темпов роста розничных цен на электроэнергию, построенные по фактическим данным и по полученному уравнению линейной множественной регрессии.

Из представленного графика видно, что кривая темпов роста цен на электроэнергию, построенная по уравнению множественной

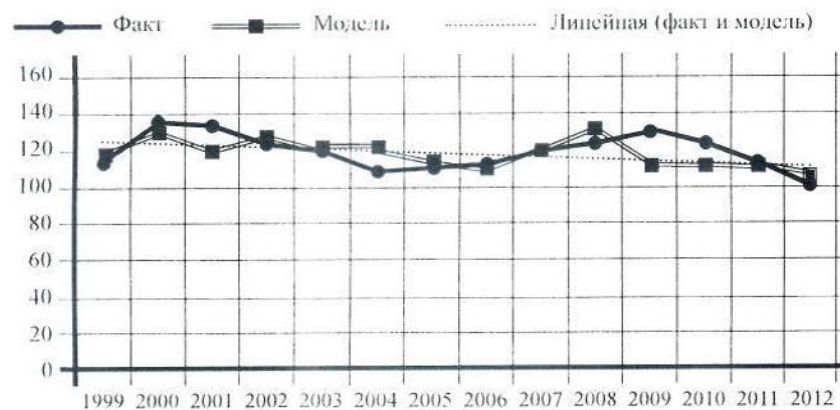


Рисунок 1. Фактическая и модельная (1) динамика темпов роста розничных цен на электроэнергию, %

линейной регрессии, существенно не отклоняется от аналогичной «линии факта», а линии тренда практически совпадают. При этом в отдельных периодах наблюдаются наибольшие отклонения результатов модельных расчетов от фактических данных: в 2001 г., 2004 г., 2009 г. и в 2012 г. Можно отметить следующие основные причины таких отклонений:

- 2001 г. – начало реформирования электроэнергетики Российской Федерации [1], дооценка стоимости активов всех участников рынка электроэнергии, раздельное ценообразование на услуги сетевых организаций и для производителей электрической энергии (мощности), формирование на оптовом рынке сектора «свободной» торговли (так называемый рынок «5–15» – 5–15 % от общего объема поставок электроэнергии реализуется по нерегулируемым ценам), введение механизмов стимулирования инвестиций в отрасль;
- 2004 г. – упорядочена процедура выхода крупных потребителей на оптовый рынок электроэнергии и мощности (ФОРЭМ – Федеральный оптовый рынок электроэнергии и мощности), что привело к снижению темпов роста цен на электроэнергию для промышленных потребителей, доля которых в общем объеме электропотребления составляет порядка 50 %;
- 2009 г. – увеличение доли либерализации цен в электроэнергетике до 50 %, частичный переход сетевых компаний на регулирование тарифов на услуги по передаче электроэнергии методом доходности инвестированного капитала, что, несмотря на экономический кризис и падение объема электропотребления, привело к росту розничных цен на электроэнергию;
- 2012 г. – изменения в ценообразовании для конечных потребителей электроэнергии в части исключения с 1 апреля 2012 г. возможности для энергосбытовых организаций получения нерегулируемого дохода от продажи мощности на розничных рынках электроэнергии [2], что фактически привело к снижению розничной цены на электроэнергию на 3,5 %.

Таким образом, все выявленные отклонения связаны с изменениями правил ценообразования в электроэнергетике, что, несмотря на несущественные отклонения модельных и фактических данных, говорит о целесообразности включения в модель дополнительной

экзогенной переменной – фактора, отражающего наличие изменений правил функционирования и ценообразования на рынке электроэнергии, для формирования более точных оценок. Далее в статье рассмотрены предложения по «донастройке» модели с учетом указанного фактора.

Одним из возможных инструментов «донастройки» модели зависимости цен в электроэнергетике может являться механизм использования так называемой фиктивной (манекенной или структурной) переменной, которая позволяет включить в регрессионную модель качественный фактор (в нашем случае правовые характеристики). Для такой переменной, как правило, используют бинарные значения («0» или «1»).

В нашем примере (построение уравнения зависимости цены на электроэнергию от определенных факторов, рассмотренных выше) с учетом сделанного вывода о влиянии правил, методов и принципов ценообразования в электроэнергетике введем в уравнение множественной линейной регрессии дополнительную фиктивную переменную ( $x_4$ ), где «1» – обозначим наличие существенного изменения принципов ценообразования, «0» – отсутствие таковых. Годами наступления существенных изменений в правилах рынка электроэнергии будем считать 2001 и 2009 гг. – периоды начала реформирования электроэнергетики и увеличение доли либерализации цен соответственно.

В результате уравнение множественной линейной регрессии будет иметь следующий вид (оценка полученного уравнения регрессии также, как и в (1), показала его статистическую значимость и надежность):

$$\hat{y} = 3,45 + 0,461 * x_1 + 0,258 * x_2 + 0,235 * x_3 + 14,992 * x_4 \quad (2)$$

Из уравнения следует, что при прочих равных (неизменных) факторах цена на электроэнергию в случае существенных изменений правил рынка может вырасти на 14,992 процентных пункта, что подтверждается фактическими данными о динамике цен на электроэнергию в 2001 и 2009 гг.

На рис. 2 представлены графики динамики темпов роста розничных цен на электроэнергию, построенные по фактическим данным и по полученным (1, 2) уравнениям линейной множественной регрессии (модель 1 и модель 2 соответственно). Из представленного графика

видно, что кривая темпов роста цен на электроэнергию, построенная по уравнению множественной линейной регрессии 2 более приближена к аналогичной «линии факта» по сравнению с кривой, построенной по модели 1, то есть можно говорить о большей точности модели 2.

Сделанный вывод также подтверждается результатами математического анализа. Коэффициент детерминации  $R^2$  составляет 0,827 – существенно выше полученного ранее (0,586), что говорит о более точном подборе уравнения в случае использования фиктивной переменной.

Анализ коэффициентов рассматриваемого уравнения (2) выявил значимость коэффициентов при переменных, характеризующих темпы роста цен на топливо ( $x_1$  и  $x_2$ ), и при манекенной переменной «наличие изменений правил ценообразования на рынке электроэнергии» ( $x_4$ ) с вероятностью 95 %. Коэффициенты при переменной  $x_3$  и при свободном члене также, как и в уравнении (1), оказались незначимыми при заданном уровне надежности.

Таким образом, использование дополнительной фиктивной переменной, отражающей наличие существенных изменений в правилах и методах ценообразования в отрасли, позволило увеличить точность построенной модели зависимостей цен на электроэнергию.

В статье предложена модель, отражающая зависимость темпов роста цен на электроэнергию для конечных потребителей от трех

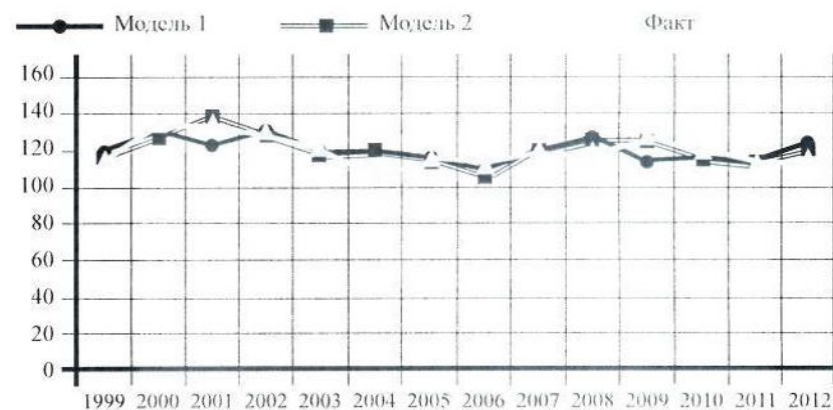


Рисунок 2. Фактическая и модельная (1, 2) динамика темпов роста розничных цен на электроэнергию, %

переменных: темпов роста цен на топливо (газ, уголь), сжигаемое на электростанциях, и от уровня инфляции.

В качестве математического аппарата использована регрессионная модель. Несмотря на то, что анализ построенного уравнения множественной линейной регрессии (статистическая надежность которого была подтверждена) выявил среднюю точность подбора данного уравнения (темпы роста розничных цен на электроэнергию на 58,7 % зависят от рассматриваемых переменных, в остальных случаях – от других параметров, не учтенных в модели), полученные результаты подтвердили аналитические выводы о зависимости изменения цены на электроэнергию от различных факторов (не только от цен на сжигаемое на электростанциях топлива), включая правила и методы ценообразования (которые необходимо включить в модель).

При этом выявлена высокая степень корреляции (связи) между эндогенной переменной и регрессорами, то есть определена высокая зависимость темпов роста цен на электроэнергию от темпов роста цен на топливо.

Дополнительно проведена «донастройка» модели с помощью использования фиктивной переменной, отражающей наличие существенных изменений в правилах ценообразования на рынке электроэнергии, что увеличило точность подбора уравнения ( $R^2$  составил 0,827) и позволило сделать вывод о влиянии трансформации подходов к формированию цен на электроэнергию на ее динамику.

#### Библиографический список

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 11 июля 2001 г. № 526 «О реформировании электроэнергетики Российской Федерации» // СПС «Гарант». URL: <http://base.garant.ru/183525/> (дата обращения: 12.11.2016).
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» // СПС «Гарант». URL: <http://base.garant.ru/70183216/> (дата обращения: 12.11.2016).
3. *Власов М.И., Шимко П.Д.* Моделирование экономических процессов. Ростов н/Д, 2005.
4. *Воскобойников Ю.Е., Воскобойникова Т.И.* Решение задач эконометрики в EXCEL. Новосибирск, 2006.
5. Годовой доклад Минэнерго России «О функционировании электроэнергетике» за 2012 год. М., 2012.
6. *Магнус Я.Р., Катшиев И.К., Пересецкий А.А.* Эконометрика. Начальный курс: учебник. М., 2000.

7. *Тихомиров И.П., Дорохина Е.Ю.* Эконометрика. М., 2003.
8. Официальный сайт Минэкономразвития России. URL: <http://www.economy.gov.ru/> (дата обращения: 12.11.2016).
9. Официальный сайт Минэнерго России. URL: <http://minenergo.gov.ru/> (дата обращения: 12.11.2016).
10. Официальный сайт ОАО «СО ЕЭС». URL: <http://so-eps.ru/> (дата обращения: 12.11.2016).

#### **И.Ю. Золотова**

*заместитель директора Института проблем ценообразования и регулирования естественных монополий  
Национально-исследовательского университета  
Высшая школа экономики (г. Москва)  
E-mail: izolotova@hse.ru*