
ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОДНОСТАВОЧНОГО ТАРИФА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

Зайцева Юлия Владимировна,

кандидат экономических наук, доцент кафедры математических методов и информатики в экономике Волгоградского государственного университета; zaytseva_julia@rambler.ru

Предложенная модель позволяет рассчитывать одноставочный тариф на электроэнергию для населения, обеспечивающий заданный уровень прибыли с заданной вероятностью. Модель предполагает предварительную оценку плотности распределения среднедушевого объема потребления электроэнергии. Плотность оценивалась методом максимального правдоподобия по данным Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения.

Ключевые слова: тариф на электроэнергию, среднедушевой объем потребления электроэнергии, плотность распределения, метод максимального правдоподобия, интервальный прогноз.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года в качестве одной из задач ставит обеспечение надежного энергоснабжения населения страны по социально доступным ценам. В то же время ценовая политика должна отвечать интересам производителей энергоресурсов и обеспечивать окупаемость инвестиций в электроэнергетику [7]. Реализация этого направления предусматривает совершенствование регулирования розничных цен на электроэнергию. Разработка моделей ценообразования, учитывающих интересы, как населения, так и энергокомпаний, предполагает изучение спроса населения на электроэнергию.

Одним из подходов в этом направлении может быть эконометрическое моделирование функций спроса населения на электроэнергию. Эконометрические модели спроса на электроэнергию исследовались многими авторами [2-5]. При построении таких моделей исследователь сталкивается с серьезной проблемой. В качестве предикторов в моделях среднедушевого спроса на электроэнергию обычно используются среднедушевой доход и цена на электроэнергию, как наиболее значимые и, в то же время, доступные для измерения факторы. Однако потребление электроэнергии домохозяйством зависит и от ряда других факторов, в том числе и не всегда поддающихся измерению и учету. В силу этого,

эконометрическая модель спроса на электроэнергию, учитывающая только два фактора (цену и среднедушевой доход) имеет невысокий коэффициент детерминации и низкую прогностическую способность. В результате использование построенной модели спроса для расчета тарифов на электроэнергию может привести к неудовлетворительным результатам. Например, предположим, что тарифные ставки разрабатывались таким образом, чтобы обеспечить безубыточность энергокомпании. Но оказалось, что население потребило электроэнергии меньше, чем прогнозировалось по построенной модели спроса. В результате энергокомпания потерпела убытки.

Более перспективным представляется моделирование распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии. При этом параметры распределения должны зависеть от цены на электроэнергию и среднедушевого дохода. При таком подходе становится возможным прогнозировать вероятность того, что среднедушевой объем потребления электроэнергии домохозяйства принадлежит заданному интервалу. Для этого достаточно знать среднедушевой доход данного домохозяйства и цену на электроэнергию. Например, можно вычислить с какой вероятностью среднедушевое потребление электроэнергии домохозяйством со среднедушевым доходом 7 тысяч рублей и ценой на электроэнергию 2.50 руб./кВтч составит не меньше 70 кВтч.

Вероятностный подход в оценке спроса дает возможность строить тарифы на электроэнергию, обеспечивающие заданный уровень прибыли с заданной вероятностью.

Цель данной работы заключалась в разработке модели одноставочного тарифа на электроэнергию для населения на основе оценки распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии домохозяйствами РФ. При этом параметры распределения предполагались зависящими от цены на электроэнергию и среднедушевого дохода.

Среднедушевой доход будем рассматривать как случайную величину с известной плотностью распределения $f_I(x)$. Предположим также, что нам известна условная плотность распределения среднедушевого объема потребления электроэнергии домохозяйством при фиксированном среднедушевом доходе $f_{Q|I=x}(q)$. Параметры плотности распределения предполагаем зависящими от цены 1 кВт-ч электроэнергии P . Поэтому в дальнейшем будем использовать обозначение $f_{Q|I=x}(q|P)$.

Предположим, что функция издержек энергокомпании линейна $F(Q)=cQ+F$, где c – предельные издержки, F – постоянные издержки. Вычислим вероятность того, что прибыль Π энергокомпании при одноставочном тарифе P не превзойдет величины A :

$$P(\Pi \leq A) = P((P - c)Q - F \leq A) = P\left(Q \leq \frac{A + F}{P - c}\right).$$

Используя плотности распределения $f_I(x)$ и $f_{Q|I=x}(q|P)$, получим

$$P\left(Q \leq \frac{A+F}{P-c}\right) = \int_0^{+\infty} \int_0^{\frac{A+F}{P-c}} f_{Q|I=x}(q|P) f_I(x) dq dx,$$

или

$$P\left(Q \leq \frac{A+F}{P-c}\right) = \int_0^{+\infty} \left(f_I(x) \int_0^{\frac{A+F}{P-c}} f_{Q|I=x}(q|P) dq \right) dx.$$

Будем выбирать размер ставки P таким образом, чтобы вероятность недостижения заданного уровня прибыли составила α :

$$\int_0^{+\infty} \left(f_I(x) \int_0^{\frac{A+F}{P-c}} f_{Q|I=x}(q|P) dq \right) dx = \alpha. \quad (1)$$

Для практической реализации построенной модели необходимы оценки плотностей распределения среднедушевого дохода и среднедушевого объема электроэнергии, потребляемой домохозяйством.

Будем предполагать, что распределение среднедушевого денежного дохода потребителей I описывается логнормальным распределением [1] с плотностью

$$f_I(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_I x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \ln m_I)^2}{2\sigma_I^2}\right).$$

Параметры распределения m_I и σ_I^2 были оценены на основе данных о распределении населения Волгоградской области по величине среднедушевого денежного дохода за 2010 год [6]. Оценка среднего составила $\bar{I} = 12945$ руб., среднеквадратичного отклонения – $s_I = 6896$ руб. Используя формулы, связывающие параметры распределения с его математическим ожиданием и дисперсией [1], получим оценки параметров

$$\sigma_I^2 = \ln\left(1 + \frac{s_I^2}{\bar{I}^2}\right) = 0.25, \quad m_I = \bar{I} \exp\left(-\frac{\sigma_I^2}{2}\right) = 11425.$$

Параметр m_I является медианой распределения. Таким образом, половина населения Волгоградской области в 2010 году имело среднедушевой доход ниже 11425 рублей.

Для оценки плотности распределения среднедушевого объема электроэнергии, потребляемой домохозяйством, были использованы

данные Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения НИУ-ВШЭ (RLMS-HSE), проводимого Национальным исследовательским университетом - Высшей школой экономики и ЗАО «Демоскоп» при участии Центра народонаселения Университета Северной Каролины в Чапел Хилле и Института социологии РАН [8]. Мониторинг представляет собой серию ежегодных общенациональных репрезентативных опросов на базе вероятностной стратифицированной многоступенчатой территориальной выборки, разработанной при участии ведущих мировых экспертов в этой области. Начиная с 2010 года, данные мониторинга стали общедоступными для исследователей в России и за рубежом.

Для исследования использовались данные 19 волны (опрос проводился в октябре 2010 года). Производилась выборка по показателям, представленным в табл. 1.

Таблица 1

Показатели, используемые для моделирования распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии. Источник данных: Российский мониторинг экономического положения и здоровья населения НИУ-ВШЭ [8]

<i>Region</i>	Регион, в котором проживает домохозяйство
<i>ND</i>	Размер домохозяйства (число человек)
<i>I</i>	Денежный доход всего домохозяйства в течение сентября 2010 года. Сюда включены все денежные поступления всех членов семьи: заработная плата, пенсия, стипендия, любые другие денежные поступления (руб.)
<i>Q</i>	Объем электроэнергии, потребленной домохозяйством, в течение сентября 2010 года (кВт-ч)

Для построения модели использовались данные только по тем домохозяйствам, для которых имелись наблюдения по всем четырем показателям. Таких домохозяйств в выборке оказалось 6262.

Для регионов, представленных в выборке, на сайте Федеральной службы государственной статистики [9] были взяты данные по показателям, описанным в табл. 2.

Таблица 2

Показатели, используемые для моделирования распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии. Источник данных: сайт Федеральной службы государственной статистики [9]

<i>P</i>	Цена на электроэнергию для населения в сентябре 2010 года (руб./кВт-ч)
<i>Pm</i>	Прожиточный минимум в сентябре 2010 года (руб.)

Потребление электроэнергии и денежный доход были пересчитаны в расчете на одного человека:

$$Qn = \frac{Q}{ND}, \quad In = \frac{I}{ND}.$$

Для учета разной покупательной способности рубля в различных регионах, среднедушевой денежный доход и цена на электроэнергию были скорректированы на прожиточный минимум соответствующего региона:

$$Pcor = \frac{P}{Pm}, \quad Icor = \frac{In}{Pm}.$$

Таким образом, переменная $Pcor$ представляет собой долю цены на 1 кВт-ч электроэнергии в прожиточном минимуме, переменная $Icor$ – среднедушевой доход, измеренный в прожиточных минимумах.

На первоначальном этапе были построены гистограммы частот для среднедушевого объема электроэнергии Qn и логарифма этого показателя. Гистограммы приведены на рис. 1 и рис. 2.

Гистограммы показывают, что более адекватным для моделирования распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии является логнормальное распределение с плотностью

$$f_Q(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_Q q} \exp\left(-\frac{(\ln q - \ln m_Q)^2}{2\sigma_Q^2}\right).$$

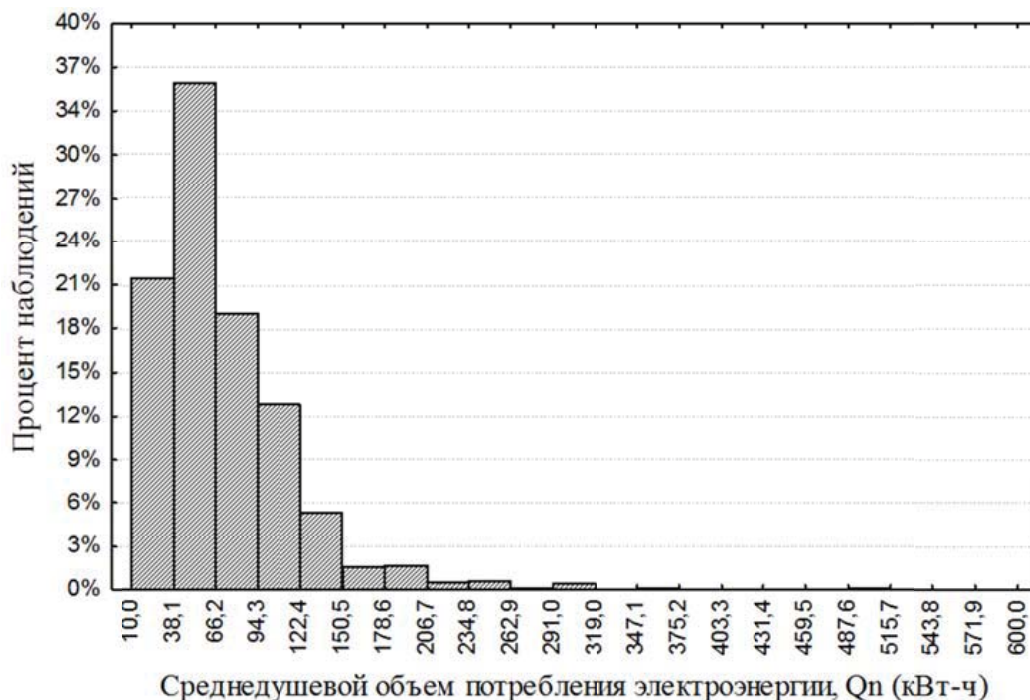


Рис. 1. Гистограмма распределения домохозяйств по среднедушевому объему потребленной электроэнергии

Гистограмма распределения домохозяйств по логарифму среднедушевого объема потребленной электроэнергии

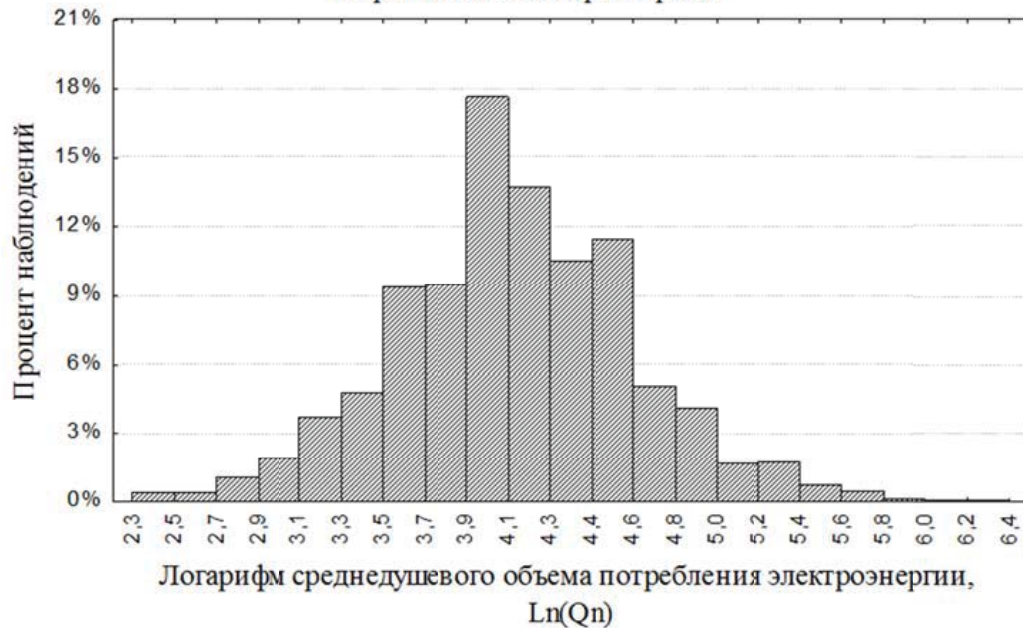


Рис. 2. Гистограмма распределения домохозяйств по логарифму среднедушевого объема потребленной электроэнергии

Будем предполагать, что величина параметра m_Q зависит от среднедушевого дохода и цены на электроэнергию, а именно $\ln m_Q$ является линейной функцией от логарифмов скорректированных цены и среднедушевого дохода

$$\ln m_Q = a \ln P_{cor} + b \ln I_{cor} + c.$$

Тогда плотность распределения среднедушевого объема потребляемой электроэнергии будет задаваться формулой

$$f_Q(q|P_{cor}, I_{cor}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_Q q} \exp\left(-\frac{(\ln q - a \ln P_{cor} - b \ln I_{cor} - c)^2}{2\sigma_Q^2}\right)$$

Параметры плотности распределения оценивались методом максимального правдоподобия [1] по выборке $(Q_{n_i}, P_{cor_i}, I_{cor_i}, i = \overline{1, n})$, где $n=6262$ – число домохозяйств в выборке. В результате получена оценка плотности

$$f_Q(q|P_{cor}, I_{cor}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0.545q} \exp\left(-\frac{(\ln q + 0.596 \ln P_{cor} - 0.248 \ln I_{cor} + 0.643)^2}{2 \cdot 0.297}\right).$$

Согласно модели, медиана распределения является степенной функцией от среднедушевого дохода и цены на электроэнергию:

$$m_Q = e^{-0.643} P_{cor}^{-0.596} I_{cor}^{0.248}.$$

Увеличение цены на электроэнергию на один процент уменьшает медиану распределения на 0.596%, а рост среднедушевого дохода на один процент увеличивает медиану распределения на 0.248%.

Подставим оценки плотностей распределения среднедушевого дохода и среднедушевого объема потребления электроэнергии в уравнение (1). Заметим, что вычисление внутреннего интеграла в этой формуле можно свести к вычислению функции стандартного нормального распределения:

$$\int_0^{\frac{A+F}{P-c}} f_{Q/I=x}(q|P) dq = \int_0^{\frac{A+F}{P-c}} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_Q q} \exp\left(-\frac{(\ln q - \ln m_Q(P, x))^2}{2\sigma_Q^2}\right) dq =$$

$$= F_{N(0,1)}\left(\frac{\ln \frac{A+F}{P-c} - \ln m_Q(P, x)}{\sigma_Q}\right).$$

Здесь $\ln m_Q(P, x) = a \ln \frac{P}{Pm} + b \ln \frac{x}{Pm} + c$ – медиана

среднедушевого потребления электроэнергии при цене P и среднедушевом доходе x . Таким образом, уравнение (1) преобразуется к виду:

$$\int_0^{+\infty} \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_I x} \exp\left(-\frac{(\ln x - \ln m_I)^2}{2\sigma_I^2}\right) F_{N(0,1)}\left(\frac{\ln \frac{A+F}{P-c} - \ln m_Q(P, x)}{\sigma_Q}\right) \right) dx = \alpha. \quad (2)$$

Для решения уравнения (2) была написана программа на языке Delphi, позволяющая по заданным параметрам распределений $a, b, c, \sigma_Q^2, \sigma_I^2, m_I$, а также предельным (c) и постоянным (F) издержкам, рассчитать одноставочный тариф P , обеспечивающий заданный уровень прибыли A с заданной вероятностью $1 - \alpha$. Результаты расчетов для случая нулевой прибыли ($A=0$) и различных α приведены в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость одноставочного тарифа на электроэнергию для населения от допустимой вероятности убыточности энергокомпании

Допустимая вероятность убыточности α	0.01	0.03	0.05	0.07	0.1
Одноставочный тариф	5.28	3.11	2.39	2.00	1.64

Для сравнения влияния цены на электроэнергию на распределение среднедушевого объема потребления электроэнергии сравним оценку плотностей распределения при ценах 5.28 руб. за 1 кВт-ч и 1.64 руб. за 1 кВт-ч. Среднедушевой доход возьмем равный среднему по выборке – 12945 рублей. Прожиточный минимум установим на уровне этого показателя для Волгоградской области в 2010 году – 6068 рублей. Соответствующие плотности распределения представлены на рис. 3.

Плотность распределения среднедушевого объема
потребления электроэнергии

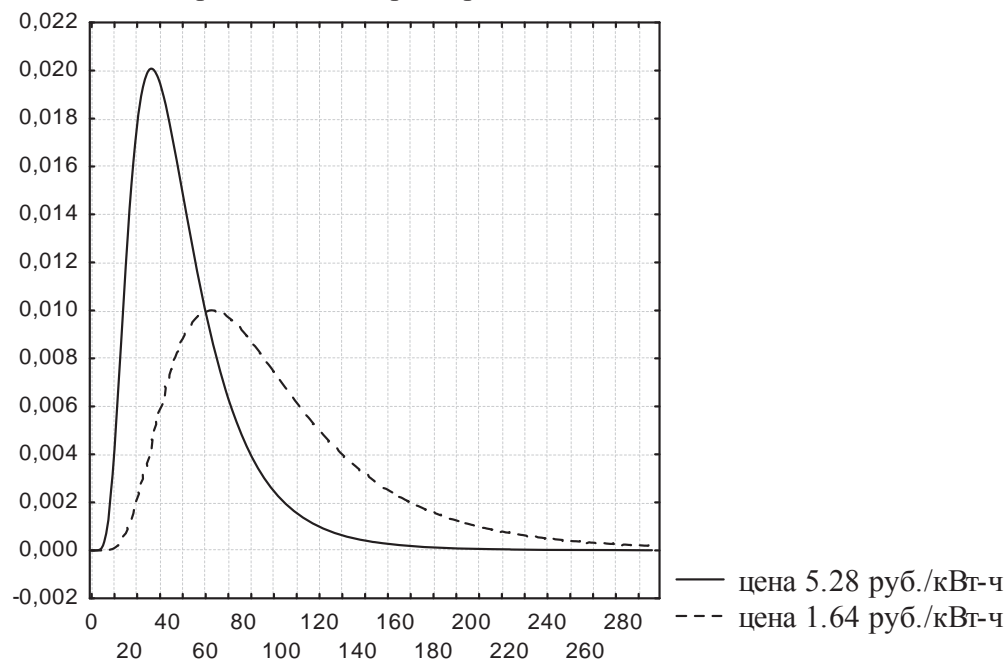


Рис. 3. Плотности распределения среднедушевого объема потребления электроэнергии для домохозяйств со среднедушевым доходом 12945 руб. при цене 5.28 руб. и 1.64 руб. за 1 кВт*ч

Медиана среднедушевого объема потребления электроэнергии при цене 5.28 руб. за кВт*ч составит 42 кВт*ч, а мода – 31 кВт*ч. При цене 1.64 руб. за кВт*ч оба показателя увеличиваются, медиана до 85 кВт*ч, а мода до 63 кВт*ч. Модель позволяет вычислить вероятность того, что среднедушевое потребление электроэнергии домохозяйством не превзойдет заданную величину. Например, вероятность того, что среднедушевое потребление электроэнергии при цене 5.28 руб. за кВт*ч не превзойдет 70 кВт*ч, составит 0.82, а при цене 1.64 руб. за кВт*ч – 0.36.

Для сравнения влияния среднедушевого денежного дохода на распределение среднедушевого объема потребления электроэнергии сравним оценку плотностей распределения для домохозяйств со среднедушевым доходом, равным прожиточному минимуму 6068 рублей и равным среднему по выборке 12945 рублей. При этом будем считать, что цена на электроэнергию для обоих типов домохозяйств одинакова – 3.11 руб. за 1 кВт*ч электроэнергии. Соответствующие плотности распределения представлены на рис. 4.

Плотность распределения среднедушевого объема
потребления электроэнергии

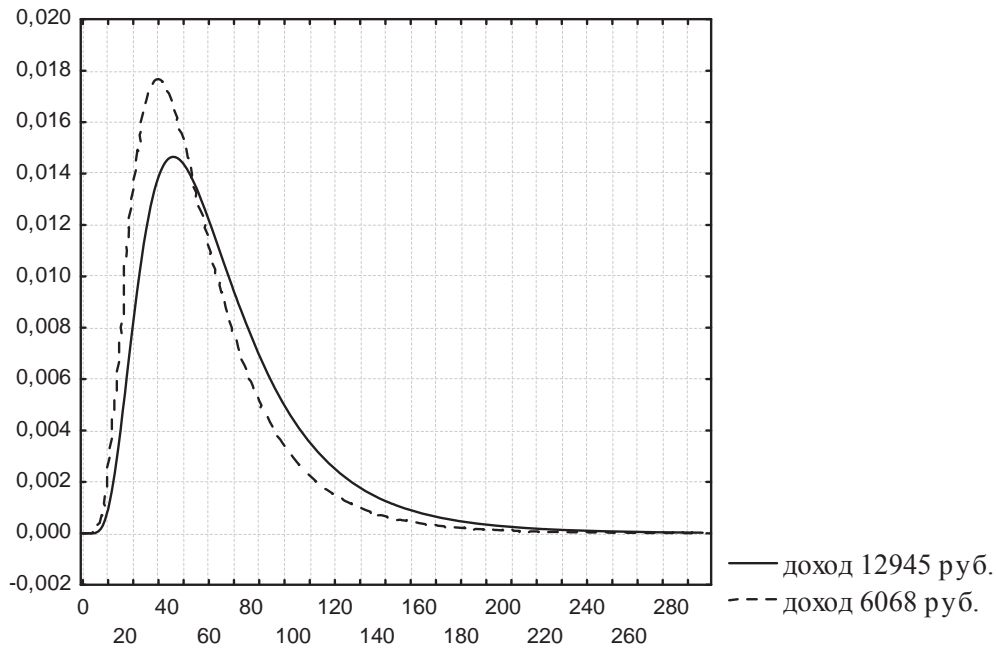


Рис. 4. Плотности распределения среднедушевого объема потребления электроэнергии для домохозяйств со среднедушевым доходом 6068 руб. и 12945 руб. и цене 3.11 руб. за 1 кВт-ч

Медиана среднедушевого объема потребления электроэнергии домохозяйствами со среднедушевым доходом 12945 руб. составит 58 кВт-ч, а мода – 43 кВт-ч. Для домохозяйств со среднедушевым доходом 6068 руб. оба показателя уменьшаются, медиана до 48 кВт-ч, а мода до 36 кВт-ч. С вероятностью 0.9 среднедушевое потребление электроэнергии в домохозяйствах со среднедушевым доходом 12945 руб. не превысит 117 кВт-ч, а в домохозяйствах со среднедушевым доходом 6068 руб. – 96 кВт-ч.

Предложенная вероятностная модель одноставочного тарифа на электроэнергию для населения позволяет строить интервальные прогнозы объема потребления электроэнергии в зависимости от цены и среднедушевого дохода и, таким образом, разрабатывать тарифы, обеспечивающие энергокомпаниям заданный уровень прибыли с заданной вероятностью.

Список источников

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики [текст] / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1988. – 1022 с.
2. Башмаков, И.А. Оценка параметров ценовой эластичности спроса на электроэнергию по отдельным группам потребителей и по субъектам РФ [текст] / И.А. Башмаков. – М.: ООО «ЦЕНЭФ», 2007. – Т. 1. – 82 с.
3. Берндт, Э.Р. Практика эконометрики: классика и современность [текст] / Берндт Э.Р.; перевод с англ. под ред. проф. С.А. Айвазяна. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 863 с.

4. Буянов, М.И. О прогнозировании спроса на электроэнергию с использованием математических моделей [текст] / Буянов М.И., Кузовкин А.И // Тарифы и тарифное регулирование. – 2006. – №4. – С. 74 – 83.
5. Зайцева Ю.В. Математические модели ценообразования в естественной монополии [текст] / Ю.В.Зайцева. – Волгоград: Волгоград. гос. ун-т, 2006. – 117 с.
6. Волгоградская область в цифрах. Статистический сборник [текст] / Волгоградстат. – Волгоград, 2011. – 384 с.
7. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. [текст]: [Распоряжение № 1715-р: утверждена распоряжением Правительства РФ от 30 ноября 2009 г.] / Собрание законодательства РФ № 48 2009 – М. : Юридическая литература Администрации президента РФ, 2009.
8. Официальный сайт Российского мониторинга экономического положения и здоровья населения НИУ-ВШЭ (RLMS-HSE) [электронный ресурс]. – URL: <http://www.hse.ru/rlms/>.
9. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/>.

PROBABILITY MODEL OF ONE-RATE TARIFF ON ELECTRIC POWER FOR POPULATION

Zaytseva Julia Vladimirovna,

Ph. D. of Economy, Associate Professor of the Chair of Mathematical
Methods and Informatics of Volgograd State University;

zaytseva_julia@rambler.ru

The offered model allows constructing one-rate tariff on electric power for population, that provides given profit level with the given probability. The model assumes a prior estimation of probability density function of the electric power consumption per capita. It was estimated by a method of the maximum likelihood according to the Russian Longitudinal Monitoring Survey.

Keywords: tariff on electric power, electric power consumption per capita, probability, density function, a method of the maximum likelihood, interval forecast.