

Прикладная эконометрика, 2020, т. 58, с. 76–95.
Applied Econometrics, 2020, v. 58, pp. 76–95.
DOI: 10.22394/1993-7601-2020-58-76-95

Е. А. Гайворонская¹

Эластичность спроса на электроэнергию и региональные эффекты: пространственно-эконометрический подход

В работе представлена оценка регионального спроса на электроэнергию в регионах России с учетом пространственных эффектов. Оцениваются пространственно-эконометрические модели на панельных данных для 78 регионов за период 2005–2017 гг. Показано, что спрос зависит не только от факторов, которые выделяют в теории потребительского выбора, но у него также существует пространственная зависимость. Спрос на электроэнергию в России не чувствителен к доходу, но более чувствителен к цене по сравнению с другими странами.

Ключевые слова: оценка спроса; рынок электроэнергии; пространственная эконометрика; регионы России.

JEL classification: Q41; L94; C23; R12.

1. Введение

Россия является четвертым энергетическим рынком в мире по объему производства и потребления электроэнергии после Китая, США и Индии. По объему генерирующих мощностей она занимает пятое место, уступая, кроме вышеупомянутых стран, еще и Японии. С каждым годом объем потребления электроэнергии в России растет, чего, однако, нельзя сказать о реальном ВВП. Все это наталкивает на мысль об огромном неиспользованном потенциале энергосбережения в стране.

Создание свободного рынка электроэнергии в 2011 г. являлось в том числе попыткой стимулирования сокращения неэффективного потребления. Другой целью либерализации рынка являлось привлечение частных инвестиций в создание и модернизацию генерирующих мощностей. Обычно потребители не играют важной роли в моделях рынка электроэнергии. Их поведение характеризуется функцией спроса с низкой эластичностью по цене. Однако решения о частных инвестициях, и особенно инвестициях в возобновляемые источники энергии, напрямую зависят от характера потребления электроэнергии и поведения экономических агентов, предъявляющих спрос на электричество. Например, в случае низкой эластичности спроса по цене проведение политики по сокращению выбросов углерода, которая существует в развитых странах, может быть неэффективной, так как рост цен не приведет к более осознанному потреблению электричества.

¹ Гайворонская Елизавета Андреевна — Новосибирский национальный исследовательский государственный университет; e.gaivoronskaia@ng.nsu.ru.

Если говорить о населении страны, то согласно опросам ВЦИОМ больше половины людей считают затраты на электроэнергию существенными, хотя согласно данным Фонда «Общественное мнение» только 16% населения знают о многотарифной системе расчетов за электроэнергию. Этот факт указывает на нерациональность населения, которое, несмотря на утверждения об относительной дороговизне одного из основных товаров повседневного спроса, почему-то не ищет способов экономить на нем.

Если говорить об агентах на оптовом рынке электроэнергии, то совокупный спрос со стороны сбытовых компаний, гарантирующих поставщиков и крупных промышленных предприятий абсолютно неэластичен, что видно из подаваемых ими заявок на рынке на сутки вперед (на который приходится около 70% продаваемой электроэнергии). Абсолютно неэластичный спрос на оптовом рынке электроэнергии может приводить к завышенным оптовым ценам на электроэнергию, которые составляют около 70% тарифа на электроэнергию для конечного потребителя.

Итак, неэластичный спрос на социально значимый товар, в совокупности с повсеместной проблемой неплатежей со стороны потребителей, становится значительным сдерживающим фактором, влияющим на развитие отрасли в целом. По вышеуказанным причинам чувствительность спроса на электроэнергию становится важным вопросом при принятии решений о создании дополнительных условий, способных привлекать инвестиции в эту отрасль, а также сокращать неэффективное потребление.

Целью данной работы является оценка эластичности конечного спроса на электроэнергию по доходу, цене и другим факторам. В работе оценивается региональный спрос на электроэнергию и выявляется роль межрегионального взаимодействия при его формировании. Статья построена следующим образом. В разделе 2 дается обзор работ, посвященных оценке спроса на электроэнергию с акцентом на эмпирические модели и оценку пространственных эффектов. В разделе 3 представлена модель спроса на электроэнергию в регионах России и описаны используемые данные. Раздел 4 содержит результаты расчетов. В разделе 5 анализируются характеристики полученной модели спроса, а завершает статью итоговый раздел 6.

2. Подходы к оценке спроса на электроэнергию

В связи с созданием свободных рынков в развитых и развивающихся странах в последние два десятилетия значительно возрос интерес к оценке спроса на электроэнергию и способам его моделирования. Все многообразие подходов для предсказания спроса за последнее десятилетие можно найти в работе (Ghalehkhondabi et al., 2017). Одним из распространенных подходов стала оценка спроса с использованием эконометрических моделей, в том числе оценивание его зависимости от цен и дохода. Однако в большинстве исследований игнорировался факт наличия пространственных взаимосвязей. Обзор основных работ с использованием эконометрики для оценки спроса представлен в (Heshmati, 2012). В статье (Labandeira et al., 2012) перечислены подходы к оценке спроса домохозяйств на электроэнергию в регионах, провинциях или штатах, а также приведено сравнение полученных оценок эластичности спроса по цене и по доходу (см. табл. 1).

Ниже дано краткое описание работ по оценке эластичности спроса домашних хозяйств, упоминаемых в (Labandeira et al., 2012) и приведенных в табл. 1.

Таблица 1. Эластичность спроса на электроэнергию домашних хозяйств

Статья	Страна	Годы	Эластичность по цене	Эластичность по доходу	Пространственные эффекты
Houthakker, 1951	Великобритания	1938	-0.89	1.17	-
Houthakker, Taylor, 1970	США	1929–1970	-0.13 (краткосрочная) -1.89 (долгосрочная)	0.13 (краткосрочная) 1.94 (долгосрочная)	-
Anderson, 1973	США	1970	-1.12 (долгосрочная)	0.80 (долгосрочная)	-
Houthakker et al., 1974	США	1961–1971	-0.09	0.14	-
Halvorsen, 1975	США	1961–1969	-1.52	0.72	-
Baker et al., 1989	Великобритания	1972–1983	-0.76	0.13	-
Beenstock et al., 1999	Израиль	1973–1994	-0.58 (долгосрочная)		-
Bose, Shukla, 1999	Индия	1986–1994	-0.65	0.88	-
Filippini, 1999	Швейцария	1987–1990	-0.30	0.33	-
Leth-Petersen, 2002	Дания	1996		0.29	-
Filippini, Pachauri, 2004	Индия	1994	-0.42 (зима) -0.29 (лето)	0.64 (зима) 0.63 (лето)	-
Hondroyiannis, 2004	Греция	1986–1999	0.00 (краткосрочная) -0.41 (долгосрочная)	0.20 (краткосрочная) 1.56 (долгосрочная)	-
Holtedahl, Joutz, 2004	Тайвань	1957–1995	-0.15	0.23	-
Kamerschen, Porter, 2004	США	1973–1998	-0.93		-
Narayan, Smyth, 2005	Австралия	1969–2000	-0.26 (краткосрочная) -0.54 (долгосрочная)	0.01 (краткосрочная) 0.40 (долгосрочная)	-
Labandeira et al., 2006	Испания	1973–1995	-0.80	0.80	-
Bernstein, Griffin, 2006	США	1977–2004	-0.24 (краткосрочная) -0.32 (долгосрочная)		-
Paul et al., 2009	США	1990–2006	-0.13 (краткосрочная) -0.40 (долгосрочная)		-
Alberini, Filippini, 2011	США	1995–2007	-0.14 (краткосрочная) -0.44 (долгосрочная)	0.06	-
Labandeira et al., 2012	Испания	2005–2007	-0.25 (краткосрочная)		-

Окончание табл. 1

Статья	Страна	Годы	Эластичность по цене	Эластичность по доходу	Пространственные эффекты
Blázquez Gómez et al., 2013	Испания	2001–2010	–0.04	0.27	+
Cho et al., 2015	Республика Корея	2004–2012	–0.13		+
Akarsu, 2017	Турция	1990–2001	–0.13	0.24	+
			(краткосрочная)	(краткосрочная)	
			–0.51	0.93	
			(долгосрочная)	(долгосрочная)	
Куковеров, 2019	Россия	2012–2016	–0.19	0.04	–
			(краткосрочная)	(краткосрочная)	
			–0.65	0.42	
			(долгосрочная)	(долгосрочная)	

По мере изменения популярности тех или иных эконометрических моделей менялись и подходы к оценке спроса на электроэнергию. Работы можно сгруппировать по видам используемых эконометрических моделей и характеру данных. Одной из первых работ, где оценивается модель спроса на кросс-секционных региональных данных Великобритании, стала (Houthakker, 1951). Подобное исследование позже было проведено в США (Anderson, 1973). Первые модели, где учитывается влияние времени и цен за предыдущие годы, появляются в работах (Houthakker, Taylor, 1970; Houthakker et al., 1974; Halvorsen, 1975). Статья (Baker et al., 1989) стала одной из первых, где оценка проводилась не на агрегированных, а на микроданных. Модели, учитывающие панельную структуру данных, оцениваются в работе (Filippini, 1999), где впервые появляется теоретическая модель спроса на электроэнергию, базирующаяся на теории потребительского поведения, которая используется в эмпирических работах и в настоящее время. В (Beenstock et al., 1999) продолжена оценка динамических моделей спроса. Расширяется и география исследований. В работе (Bose, Shukla, 1999) для Индии оценивается модель спроса с учетом влияния цен за предыдущие годы. Исследования на панельных микроданных проводятся для Дании (Leth-Petersen, 2002) и Индии (Filippini, Pachauri, 2004). Следующим шагом стало оценивание спроса в системе одновременных уравнений (Kamerschen, Porter, 2004; Hondroyannis, 2004; Holtedahl, Joutz, 2004). Далее все больше работ посвящены одномерным динамическим моделям временных рядов и получению краткосрочной и долгосрочной оценок эластичности спроса по цене или по доходу (Narayan, Smyth, 2005; Bernstein, Griffin, 2006; Paul et al., 2009; Alberini, Filippini, 2011) или оценкам эластичностей в статических моделях на панельных данных (Labandeira et al., 2006, 2012).

Однако ни в одной из вышеупомянутых работ не рассматривался тот факт, что ненаблюдаемые переменные могут иметь пространственную корреляцию, а потребление в регионе может коррелировать с потреблением соседних регионов. В таком случае стандартные модели на панельных данных могут давать смещенные и неэффективные оценки (Anselin, 2010; Anselin et al., 2008; LeSage, Pace, 2009). Одно из первых исследований спроса на электроэнергию с учетом пространственной зависимости проводилось на данных Испании (Blázquez Gómez et al., 2013). Необходимость учета пространственных эффектов перелива (spillovers)

при оценке спроса на электроэнергию обусловлена тем, что параметры, характеризующие жизнь в одном регионе, могут влиять на потребление электроэнергии в соседнем регионе. Необходимость использования пространственных эконометрических моделей возникает еще из-за того, что на потребление электроэнергии в одном регионе могут влиять и некоторые ненаблюдаемые характеристики соседнего региона. Кроме того, очень вероятно, что оценка эластичности спроса в разных регионах различна, так что необходимо учитывать индивидуальные эффекты регионов. В результате авторы показали, что цена влияет на спрос в меньшей степени, чем доход. Была установлена тесная связь между регионами, в том числе положительная связь спроса с уровнем доходов соседних регионов, что, по мнению авторов, особенно важно в период кризиса. Расчеты, учитывающие пространственную зависимость, были проведены для моделирования спроса на электроэнергию других стран: Японии (Ohtsuka, Kakamu, 2013), Южной Кореи (Cho et al., 2015), Турции (Akarsu, 2017), Бразилии (Cabral et al., 2017), и отдельных городов, например Лондона (Tian et al., 2014).

Что касается теоретической модели спроса на электроэнергию, то ее базовый вариант представлен в работе (Filippini, 1999). В соответствии с теорией потребительского поведения домашние хозяйства покупают электроэнергию как инструмент для получения благ, которые влияют на полезность домашнего хозяйства (например, освещение, отопление, горячая вода). Таким образом, факторами, влияющими на спрос, являются средний доход на душу населения, цена электроэнергии, цена на газ (как на субститут электроэнергии), размер домашнего хозяйства, число теплых/холодных дней. В других работах этот список факторов дополняется ценами на другие товары-заменители, площадью жилых помещений и другими характеристиками, например, численностью населения провинции (Blázquez Gómez et al., 2013). В одной из эмпирических российских работ по оценке спроса на электроэнергию (Ожегов, Попова, 2017) в качестве факторов учитывалась температура, а также скорость ветра и относительная влажность воздуха. В статье (Мишура, 2011) была проведена оценка эластичности спроса населения по цене и доходу, однако исследование было сделано для кросс-секции (усредненные по нескольким годам данные), что могло привести к потере информации и смещенным оценкам. В работе (Кукуверов, 2019) эластичность спроса населения на электроэнергию оценивалась на панельных данных за 2012–2016 гг., но в качестве факторов, влияющих на потребление, рассматривались только цены и доходы. В существующих работах, выполненных на российских региональных данных, игнорируется пространственная взаимосвязь регионов, т. е. не учитывается, что потребление электроэнергии или цена и доход в одном регионе может влиять на потребление в соседнем регионе. В данной статье сделана попытка заполнить «пространственную» нишу в эмпирических исследованиях спроса на электроэнергию в регионах России.

3. Данные и модель

Основываясь на упомянутых выше исследованиях и доступных для России данных, в работе оценивается, как спрос на электроэнергию в регионе зависит от цены на электроэнергию, доходов населения, площади жилых помещений, температуры.

В качестве зависимой переменной выступает среднедушевой объем потребления электроэнергии домашними хозяйствами в регионе (*consump*). В качестве объясняющих факторов используются следующие переменные:

- *price* — средняя цена электроэнергии для населения в регионе, ожидаемое влияние которой является отрицательным (согласно закону спроса);
- *income* — среднедушевой доход в регионе, который указывает на благосостояние людей в регионе; предполагается, что он положительно влияет на потребление, т. к. электроэнергия является нормальным товаром;
- *dwell* — средняя (на человека) площадь жилых помещений в регионе, которая предположительно имеет положительное влияние, т. к. большая площадь требует больше освещения и бытовых приборов для ее содержания;
- *weather* — разность средних температур в январе и в июле, которая характеризует суровость климата в регионе и, как правило, влияет положительно.

Данные (панель) для определения факторов, влияющих на спрос на электроэнергию, взяты из ежегодных сборников «Регионы России» Федеральной службы государственной статистики. Используются данные для 78 регионов (Чеченская Республика, Крым и Севастополь исключены, т. к. для этих регионов официальных данных за отдельные годы не существует, Тюменская и Архангельская области рассматриваются как единые регионы). Сахалин и Калининград не участвуют при расчете модели, где используется матрица границ.

Описательная статистика переменных приведена в табл. 2.

Таблица 2. Определение переменных и описательная статистика 2005–2017 гг.

Показатель	Обозначение	Определение	Единицы измерения	Среднее	Станд. откл.	Мин.	Макс.
Среднедушевое потребление	<i>consump</i>	Потребление электроэнергии населением (в год на человека)	тыс. кВт·ч	0.87	0.40	0.12	5.63
Цена	<i>price</i>	Средние потребительские цены (тарифы) на электроэнергию для населения	руб./кВт·ч	2.12	0.88	0.32	5.64
Среднедушевой доход	<i>income</i>	Среднедушевые денежные доходы населения (в месяц на человека)	руб.	17949	9613	2405	70904
Средняя на человека площадь жилых помещений	<i>dwell</i>	Жилищный фонд (общая площадь жилых помещений), деленный на среднегодовую численность населения	м ²	23.30	3.49	10.08	39.45
Температура	<i>weather</i>	Разность средних температур воздуха в июле и январе	°С	31.56	7.24	17.30	54.50

В дальнейшем анализе и оценке моделей используются логарифмы всех переменных. Также доход и цена были разделены на стоимость фиксированного потребительского набора в регионе (для учета инфляции и разного уровня цен по регионам).

На рисунке 1 представлено пространственное распределение среднедушевого потребления электроэнергии за 2017 г. Визуальный анализ позволяет выдвинуть гипотезу о наличии пространственной автокорреляции потребления в российских регионах. Аналогичную ситуацию можно наблюдать и за другие годы.

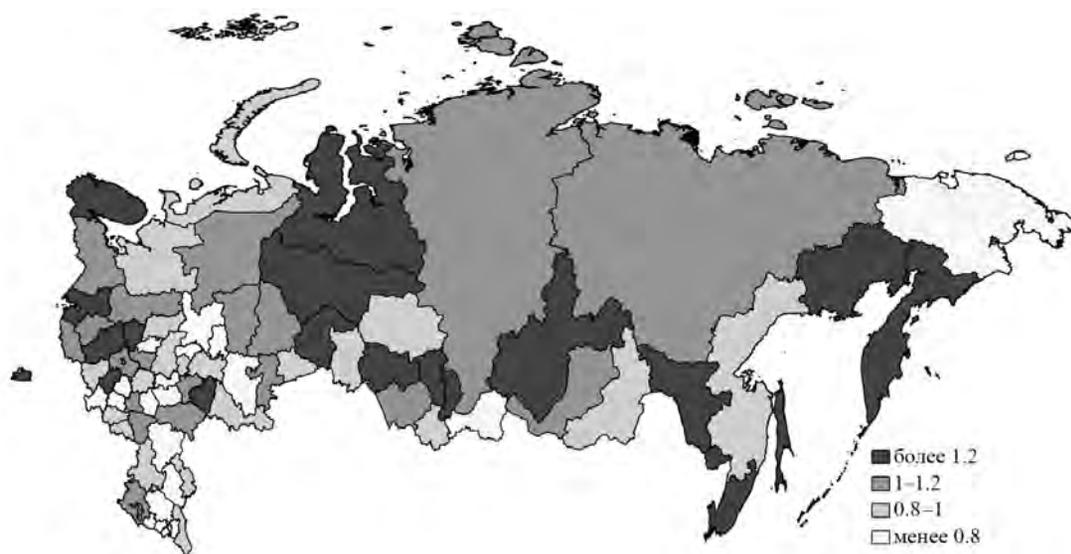


Рис. 1. Потребление электроэнергии населением по субъектам РФ в 2017 г. (тыс. кВт·ч)

Для проверки наличия пространственной зависимости между регионами России были рассчитаны индексы Морана (Moran) и Гири (Geary) для среднедушевого потребления электроэнергии в каждом году, которые представлены в табл. 3.

В работе в качестве матрицы пространственной взаимосвязи регионов W используется как матрица границ, так и матрица обратных расстояний. Для расчета индексов каждая из матриц была нормирована по строкам, т. е. сумма элементов в строке равна 1.

Матрица границ $W^{(c)}$ — это матрица, элементы которой равны единице, если регионы имеют общую границу, и нулю иначе.

Матрица обратных расстояний $W^{(d)}$ — это матрица, элементы которой w_{ij} равны $1/d_{ij}$, где d_{ij} — расстояние по автодороге между административными центрами регионов i и j ($i \neq j$), и нулю, если $i = j$.

Статистически подтверждено, что между потреблением электроэнергии в разных регионах наблюдается значимая положительная пространственная корреляция. Положительный индекс Морана указывает на то, что регионы окружены регионами с похожими значениями потребления электроэнергии. Индекс Гири, значение которого не превышает 1, указывает на наличие кластеризации. Все сказанное указывает на необходимость оценки спроса на электроэнергию с учетом пространственно автокоррелированной структуры данных.

На панельных данных для разных временных отрезков была построена модель с фиксированными эффектами регионов и пространственным лагом объясняемой переменной — SLM (Spatial Lag Model):

$$Y = \rho WY + X\beta + \varepsilon,$$

$$\varepsilon_{it} = \mu_i + v_{it},$$

где Y — логарифм среднедушевого потребления электроэнергии ($\ln(\text{consump})$), W — матрица пространственных весов, X — матрица объясняющих факторов ($\ln(\text{price})$, $\ln(\text{income})$, $\ln(\text{dwell})$, $\ln(\text{weather})$), ρ — пространственный коэффициент корреляции, μ_i — индивидуальные эффекты регионов с дисперсией σ_μ^2 , v_{it} — независимые одинаково распределенные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_v^2 .

Таблица 3. Индексы Морана и Гири и их стандартные ошибки для 2005–2017 гг.

Год	Индекс Морана		Индекс Гири	
	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$
2005	0.37*** (0.01)	0.09*** (0.0004)	0.51*** (0.01)	0.76*** (0.003)
2006	0.33*** (0.01)	0.10*** (0.0004)	0.57*** (0.01)	0.78*** (0.002)
2007	0.11*** (0.01)	0.08*** (0.0004)	0.87* (0.01)	0.86*** (0.002)
2008	0.23*** (0.01)	0.13*** (0.0004)	0.75*** (0.01)	0.80*** (0.001)
2009	0.19** (0.01)	0.12*** (0.0004)	0.77** (0.01)	0.79*** (0.001)
2010	0.26*** (0.01)	0.15*** (0.0004)	0.68*** (0.01)	0.78*** (0.001)
2011	0.26*** (0.01)	0.15*** (0.0004)	0.69*** (0.01)	0.76*** (0.001)
2012	0.17** (0.01)	0.11*** (0.0004)	0.78** (0.01)	0.81*** (0.001)
2013	0.15** (0.01)	0.11*** (0.0004)	0.76** (0.01)	0.83*** (0.001)
2014	0.10* (0.01)	0.09*** (0.0004)	0.80** (0.01)	0.86*** (0.001)
2015	0.14*** (0.01)	0.11*** (0.0004)	0.76*** (0.01)	0.85*** (0.001)
2016	0.09* (0.01)	0.08*** (0.0004)	0.85** (0.01)	0.88*** (0.001)
2017	0.07 (0.01)	0.09*** (0.0004)	0.86* (0.01)	0.87*** (0.001)

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

4. Результаты оценивания

Расчеты в данной работе проводились в программной среде R с помощью пакетов *plm* и *splm*. Все основные пространственные эконометрические модели оценены методом максимального правдоподобия. Оценки модели были найдены для данных за 2005–2017 гг., затем панель была разбита на две части: 2005–2010 гг. и 2011–2017 гг., т. е. до и после либерализации

оптового рынка электроэнергии. Далее представлено обоснование выбора модели и интерпретация полученных результатов.

Во всех моделях отвергнута гипотеза об одновременном равенстве коэффициентов нулю. Было проведено пять LM-тестов для пространственных панельных данных (Baltagi et al., 2003), где λ — пространственный коэффициент корреляции ошибок ($\varepsilon = \lambda W\varepsilon + u$, а $u_{it} = \mu_i + v_{it}$). Тесты подтвердили пространственную автокорреляцию ошибок в моделях с фиксированными и в моделях со случайными эффектами (табл. 4), за исключением временного промежутка 2011–2017 гг., где не была принята гипотеза об отсутствии пространственной автокорреляции ошибок в модели со случайными эффектами. Однако, согласно тесту Хаусмана, использование фиксированных эффектов является предпочтительным (гипотеза об отсутствии корреляции между индивидуальными эффектами и регрессорами отвергается на уровне 5% для всех временных промежутков). Далее будут оцениваться только модели с фиксированными эффектами.

Таблица 4. LM-тесты и их p -значения

LM-тесты	P-значения					
	2005–2017		2005–2010		2011–2017	
	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$
$H_0: \lambda = \sigma_\mu^2 = 0$ при альтернативной гипотезе, что хотя бы один параметр не равен нулю	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
$H_0: \sigma_\mu^2 = 0$ (предполагая $\lambda = 0$) при альтернативе, что дисперсия больше нуля	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
$H_0: \lambda = 0$ (предполагая отсутствие случайных эффектов, $\sigma_\mu^2 = 0$) при альтернативе, что пространственная автокорреляция ошибок отлична от нуля	< 0.001	< 0.001	0.019	0.009	0.003	< 0.001
$H_0: \lambda = 0$ (предполагая возможное существование случайных эффектов, $\sigma_\mu^2 \geq 0$) при альтернативе, что пространственная автокорреляция ошибок отлична от нуля	< 0.001	< 0.001	0.022	0.006	0.432	< 0.001
$H_0: \sigma_\mu^2 = 0$ (предполагая возможное существование пространственной автокорреляции, λ — любое) при альтернативе, что дисперсия больше нуля	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

Были найдены оценки для широкого набора спецификаций пространственно-эконометрических моделей с фиксированными эффектами. Результаты представлены в Приложении. Для выбора наиболее подходящей модели использовался подход Elhorst (2014), т. е. переход от общей модели GNS к частным случаям, если какой-либо из пространственных лагов незначим. Так как пространственная автокорреляция ошибок присутствует не всегда, и лаги цен и доходов также не всегда значимы, то для дальнейшего содержательного анализа делается выбор в пользу модели с пространственным лагом зависимой переменной (SLM). Оценки модели SLM с фиксированными эффектами регионов для двух пространственных матриц представлены в табл. 5. Зависимая переменная — логарифм среднедушевого потребления электроэнергии в регионе.

Таблица 5. Оценки модели SLM

	2005–2017		2005–2010		2011–2017	
	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$	$W^{(c)}$	$W^{(d)}$
ρ	0.058*** (0.008)	0.700*** (0.052)	0.034** (0.014)	0.458*** (0.122)	0.042*** (0.012)	0.578*** (0.085)
$\ln(price)$	0.042 (0.090)	0.092 (0.087)	0.420** (0.180)	0.378** (0.178)	-0.525*** (0.081)	-0.356*** (0.083)
$\ln(income)$	0.317*** (0.056)	0.161*** (0.056)	0.583*** (0.104)	0.465*** (0.109)	-0.071 (0.077)	0.018 (0.073)
$\ln(dwel)$	0.689*** (0.101)	0.290*** (0.097)	-0.780*** (0.273)	-0.829*** (0.267)	0.267*** (0.085)	0.135* (0.082)
$\ln(weather)$	0.040 (0.048)	0.022 (0.046)	0.059 (0.067)	0.044 (0.066)	-0.012 (0.046)	-0.008 (0.044)
N	988	1014	456	468	532	546
log-likelihood	-1824	-1851	-708	-729	-412	-412
AIC	3659	3712	1425	1468	835	834
BIC	3683	3737	1446	1489	856	855

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

Положительный и значимый коэффициент при пространственном лаге зависимой переменной (ρ) может свидетельствовать о том, что регион с высоким потреблением электроэнергии окружен подобными себе регионами, что подтверждает гипотезу о кластеризации регионов в некоторых частях страны. Коэффициенты при переменной разности температур являются незначимыми. Попытки учесть температуру в январе и в июле отдельно также не приводят к значимости этих факторов.

5. Особенности спроса на электроэнергию в России

Цена на электроэнергию оказалась незначима в модели за период 2005–2017 гг. Это происходит из-за того, что коэффициенты при цене имеют разный знак за периоды 2005–2010 и 2011–2017 гг. Положительные коэффициенты при цене в период 2005–2010 гг. означают, что в этот период потребление электроэнергии реагировало на цену, как товар Гиффена. Это соответствует определению такого вида товара, поскольку в те годы расходы на электроэнергию, действительно, занимали значительное место в потребительской корзине, при этом не было товаров-заменителей. С каждым годом у населения увеличивалось количество бытовых приборов, соответственно, росло потребление электроэнергии. Это вынуждало продавцов электроэнергии поднимать цены, но ввиду неэластичности спроса население не сокращало потребление. Создание оптового рынка в 2011 г. привело к росту эластичности спроса по цене (сначала на оптовом рынке, а затем и на розничном). Влияние дохода населения в модели незначимо за период 2011–2017 гг., что может свидетельствовать о том, что расходы на потребление электроэнергии перестали занимать значительное место в потребительской корзине. Однако для содержательной интерпретации величины коэффициентов необходимо учитывать пространственные эффекты, т. к. коэффициенты не являются предельными эффектами и не могут интерпретироваться как эластичности спроса.

В моделях с пространственным лагом зависимой переменной изменение объясняющих переменных в регионе приведет к изменению объясняемой переменной (потребления) как в самом регионе, так и в соседних регионах. Поэтому в литературе по пространственной эконометрике рассчитывают прямые, косвенные и общие эффекты (LeSage, Pace, 2009). Прямой эффект — это среднее (по всем регионам) изменение уровня потребления в регионе при изменении фактора в том же регионе. Косвенный эффект — это среднее изменение потребления электроэнергии в регионе при изменении фактора во всех других регионах. Совокупный эффект — это сумма прямого и косвенного эффектов или, по-другому, среднее изменение уровня потребления в данном регионе при изменении фактора во всех регионах, что может интерпретироваться как эластичность спроса в полученных моделях, т. к. все переменные взяты в логарифмах. В таблице 6 приведены прямые, косвенные и совокупные эффекты объясняющих переменных. Зависимая переменная здесь — логарифм среднедушевого потребления электроэнергии в регионе.

Таблица 6. Прямой, косвенный и совокупный эффекты переменных модели SLM

	$W^{(c)}$			$W^{(d)}$		
	Прямой	Косвенный	Совокупный	Прямой	Косвенный	Совокупный
<i>2005–2017</i>						
$\ln(price)$	0.042	0.003	0.044	0.092	0.213	0.305
$\ln(income)$	0.317***	0.020***	0.336***	0.161***	0.375**	0.536**
$\ln(dwell)$	0.689***	0.042***	0.731***	0.290***	0.677**	0.967***
$\ln(weather)$	0.040	0.002	0.042	0.022	0.051	0.072
<i>2005–2010</i>						
$\ln(price)$	0.420**	0.015	0.435**	0.378**	0.320	0.698**
$\ln(income)$	0.583***	0.021**	0.603***	0.465***	0.393	0.858***
$\ln(dwell)$	-0.780***	-0.028*	-0.808***	-0.829***	-0.702	-1.531**
$\ln(weather)$	0.059	0.002	0.061	0.044	0.037	0.081
<i>2011–2017</i>						
$\ln(price)$	-0.525***	-0.023***	-0.549***	-0.356***	-0.488**	-0.843***
$\ln(income)$	-0.071	-0.003	-0.075	0.018	0.025	0.043
$\ln(dwell)$	0.267***	0.012**	0.278***	0.135	0.186	0.321
$\ln(weather)$	-0.012	-0.001	-0.013	-0.008	-0.011	-0.019

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

В модели за период 2011–2017 гг. прямые эффекты для разных пространственных матриц отличаются незначительно, однако при использовании матрицы обратных расстояний косвенные эффекты по модулю больше прямых эффектов, что свидетельствует о том, что общегосударственные программы регулирования спроса могут оказывать больший эффект, чем проведение местной (локальной) политики региона. Это также означает, что влияние цены на изменение потребления электроэнергии намного больше, если учитывать пространственные взаимодействия регионов, т. е. так называемые эффекты перелива (spillover).

Оценка эластичности регионального спроса по цене за период 2011–2017 гг. равна -0.843 , что по модулю превышает оценку эластичности спроса по цене в регионах России, полученную в работе (Куковеров, 2019). Если же не учитывать пространственные взаимодействия регионов, то эластичность оказывается равной -0.6 (спецификация FE в табл. ПЗ из Приложения), что сопоставимо с результатами, полученными в статье (Куковеров, 2019). Наиболее низкими (по абсолютной величине) являются эластичности спроса в Испании (Blázquez Gomez et al., 2013) и Южной Корее (Cho et al., 2015): -0.04 и -0.13 соответственно, что может быть связано как с экономикой стран, так и с использованием пространственных моделей. Отсутствие зависимости спроса от дохода не было выявлено ни в одной из рассматриваемых работ, кроме работы (Куковеров, 2019) для регионов России, но в некоторых исследованиях доход не был включен в качестве контрольной переменной.

6. Выводы

В работе осуществлена попытка продвинуться в понимании особенностей спроса на электроэнергию в регионах России. Получена оценка функции спроса на электроэнергию с учетом пространственных эффектов, в частности, построена модель с пространственным лагом объясняемой переменной. Были использованы данные по 78 регионам России за 2005–2017 гг., и рассчитаны эластичности спроса по цене и по доходу. Эластичность спроса на электроэнергию по цене в России за период 2011–2017 гг. (за время существования свободного рынка электроэнергии) является самой высокой по сравнению с другими странами. При этом чувствительность спроса к доходу отсутствует. Была продемонстрирована положительная пространственная корреляция и кластеризация регионов.

Полученная оценка эластичности по цене имеет тот же порядок, что и в развитых странах, где свободные рынки электроэнергии функционируют уже не один десяток лет. Однако спрос по-прежнему остается неэластичным. Неэластичность спроса по цене на электроэнергию негативно сказывается на выигрыше покупателей (Гайворонская, Цыплаков, 2018), что порождает социальную проблему для населения страны. В связи с этим на рынке необходимы благоприятные условия, способствующие увеличению независимости потребителей и стимулирующие их к осознанному потреблению электроэнергии. Примером уже реализуемых необходимых изменений может быть двухтарифная система расчетов за электроэнергию во всех регионах или утвержденный план мероприятий по стимулированию развитию микрогенерации. Данный план предусматривает внесение в законодательство поправок, позволяющих домохозяйствам продавать излишки электроэнергии. При этом региональные поставщики будут обязаны покупать эту электроэнергию по регулируемым ценам. Стоит отметить, что доход от продажи излишков энергии не будет облагаться налогом. Качественная реализация этих мер может оказать значимое позитивное влияние на рынок.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-010-00728).

Список литературы

Гайворонская Е. А., Цыплаков А. А. (2018). Использование модифицированного алгоритма Эрева–Рота в агент-ориентированной модели рынка электроэнергии. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 39 (3), 55–83.

Куковеров М. В. (2019). О ценовой эластичности спроса на электроэнергию. *Журнал Новой экономической ассоциации*, 42 (2), 70–92.

Ожегов Е. М., Попова Е. А. (2017). Спрос на электроэнергию и погода в регионе: непараметрический подход. *Прикладная эконометрика*, 46, 55–73.

Мишура А. В. (2011). Оценка эластичности спроса на электроэнергию со стороны населения в России. *Вестник НГУ. Серия: социально-экономические науки*, 11 (2), 92–101.

Akarsu G. (2017). Analysis of regional electricity demand for Turkey. *Regional Studies, Regional Science*, 4 (1), 32–41.

Alberini A., Filippini M. (2011). Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error. *Energy Economics*, 33 (5), 889–895.

Anderson K. P. (1973). Residential energy use: An econometric analysis. Report R-1297-NSF. The Rand Corporation. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2007/R1297.pdf>.

Anselin L. (2010). Thirty years of spatial econometrics. *Papers in Regional Science*, 89 (1), 3–25.

Anselin L., Gallo J. L., Jayet H. (2008). Spatial panel econometrics. In: *The Econometrics of Panel Data. Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics*, vol. 46, 625–660.

Baker P., Blundell R., Micklewright J. (1989). Modelling household energy expenditures using micro-data. *The Economic Journal*, 99, 720–738.

Baltagi B. H., Song S. H., Koh W. (2003). Testing panel data regression models with spatial error correlation. *Journal of Econometrics*, 117 (1), 123–150.

Beenstock K. M., Goldin E., Nabot D. (1999). The demand for electricity in Israel. *Energy Economics*, 21 (2), 168–183.

Bernstein M. A., Griffin J. M. (2006). Regional differences in the price-elasticity of demand for energy. The Rand Corporation Technical Report. https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR292.html.

Blázquez Gomez L. M., Filippini M., Heimsch F. (2013). Regional impact of changes in disposable income on Spanish electricity demand: A spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 40 (1), 58–66.

Bose R. K., Shukla M. (1999). Elasticities of electricity demand in India. *Energy Policy*, 27 (3), 137–146.

Cabral J., Legey L., Cabral M. F. (2017). Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. *Energy*, 126, 124–131.

Cho S., Kimb T., Kim H. J., Park K., Roberts R. K. (2015). Regionally-varying and regionally-uniform electricity pricing policies compared across four usage categories. *Energy Economics*, 49, 182–191.

Elhorst P. (2014). *From cross-sectional data to spatial panels*. New York: Springer.

Filippini M. (1999). Swiss residential demand for electricity. *Applied Economics Letters*, 6, 533–538.

Filippini M., Pachauri S. (2004). Elasticities of electricity demand in urban Indian households. *Energy Policy*, 32 (3), 429–436.

Ghalekhondabi I., Ardjmand E., Weckman G. R., Young W. A. (2017). An overview of energy demand forecasting methods published in 2005–2015. *Energy Systems*, 8 (2), 411–447.

Halvorsen R. (1975). Residential demand for electric energy. *The Review of Economics and Statistics*, 57 (1), 12–18.

Heshmati A. (2012). Survey of models on demand, customer base-line and demand response and their relationships in the power market. *IZA Discussion Paper* No. 6637.

Holtedahl P., Joutz F. L. (2004). Residential electricity demand in Taiwan. *Energy Economics*, 26 (3), 201–224.

Hondroyannis G. (2004). Estimating residential demand for electricity in Greece. *Energy Economics*, 26 (3), 319–334.

Houthakker H. S. (1951). Some calculations of electricity consumption in Great Britain. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 114 (3), 359–371.

Houthakker H. S., Taylor L. D. (1970). *Consumer demand in the United States: Analyses and projections*. Harvard University Press, Cambridge.

Houthakker H. S., Verleger P. K., Sheehan D. P. (1974). Dynamic demand analyses for gasoline and residential electricity. *American Journal of Agricultural Economics*, 56 (2), 412–418.

Kamerschen D. R., Porter D. V. (2004). The demand for residential, industrial and total electricity, 1973–1998. *Energy Economics*, 26 (1), 87–100.

Labandeira X., Labeaga J. M., López-Otero X. (2012). Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information. *Energy Economics*, 34 (3), 627–633.

Labandeira X., Labeaga J. M., Rodríguez M. (2006). A residential energy demand system for Spain. *The Energy Journal*, 27 (2), 87–112.

LeSage J. P., Pace R. K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. CRC Press.

Leth-Petersen S. (2002). Micro econometric modelling of household energy use: Testing for dependence between demand for electricity and natural gas. *The Energy Journal*, 23 (4), 57–84.

Narayan P. K., Smyth R. (2005). The residential demand for electricity in Australia: An application of the bounds testing approach to cointegration. *Energy Policy*, 33 (4), 467–474.

Ohtsuka Y., Kakamu K. (2013). Space-time model versus VAR model: Forecasting electricity demand in Japan. *Journal of Forecasting*, 32 (1), 75–85.

Paul A., Myers E., Palmer K. (2009). A partial adjustment model of U.S. electricity demand by region, season and sector. *RFF Discussion Paper* 08–50. Washington.

Tian W., Song J., Li Z. (2014). Spatial regression analysis of domestic energy in urban areas. *Energy*, 76, 629–640.

Поступила в редакцию 14.11.2019;
принята в печать 28.03.2020.

Приложение

В приводимых ниже таблицах зависимой переменной является логарифм среднедушевого потребления электроэнергии в регионе.

Наиболее общей из исследуемых моделей является пространственная модель с фиксированными эффектами регионов, пространственным лагом объясняемой переменной, пространственной ошибкой и пространственным лагом объясняющих переменных — GNS (General Nesting Spatial model):

$$Y = \rho WY + X\beta + WX\theta + \varepsilon,$$

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + u, \quad u_{it} = \mu_i + v_{it},$$

где Y — логарифм среднедушевого потребления электроэнергии ($\ln(\text{consump})$), W — матрица пространственных весов, X — матрица объясняющих факторов ($\ln(\text{price})$, $\ln(\text{income})$, $\ln(\text{dwel})$, $\ln(\text{weather})$), ρ — пространственный коэффициент корреляции, λ — пространственный коэффициент корреляции ошибок, μ_i — индивидуальные эффекты регионов с дисперсией σ_μ^2 , v_{it} — независимые одинаково распределенные случайные величины с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_v^2 . В оцениваемых ниже регрессиях включены только два произведения матрицы с факторами ($W\ln(\text{price})$ и $W\ln(\text{income})$), поскольку произведения матрицы остальных факторов оказались незначимы.

Оценивались также отдельные спецификации модели GNS с фиксированными эффектами регионов:

- SDEM (Spatial Durbin Error Model) — модель с фиксированными эффектами регионов, пространственной ошибкой и пространственным лагом объясняющих переменных;
- SAC (Spatial AutoCorrelation model) — модель с фиксированными эффектами регионов и пространственным лагом объясняемой переменной;
- SDM (Spatial Durbin Model) — модель с фиксированными эффектами регионов, пространственным лагом объясняемой переменной и пространственным лагом объясняющих переменных;
- SLX (Spatial Lag of X model) — модель с фиксированными эффектами регионов и пространственным лагом объясняющих переменных;
- SEM (Spatial Error Model) — модель с фиксированными эффектами регионов и пространственной ошибкой;
- SLM (Spatial Lag Model) — модель с фиксированными эффектами регионов и пространственным лагом объясняемой переменной;
- FE (Fixed Effects) — модель с фиксированными эффектами регионов без пространственных лагов.

Таблица П1. Результаты оценивания различных спецификаций модели, 2005–2017 гг.

	Спецификации							
	FE	SLM	SEM	SLX	SDM	SAC	SDEM	GNS
	<i>Весовая матрица W^(c)</i>							
ρ		0.058*** (0.008)			0.058*** (0.009)	0.069*** (0.016)		0.077*** (0.021)
λ			0.053*** (0.009)			-0.019 (0.023)	0.056*** (0.009)	-0.028 (0.029)
$\ln(\text{price})$	0.070 (0.097)	0.042 (0.090)	0.078 (0.097)	0.104 (0.109)	0.095 (0.102)	0.032 (0.088)	0.075 (0.100)	0.096 (0.102)
$\ln(\text{income})$	0.388*** (0.058)	0.317*** (0.056)	0.414*** (0.061)	0.295*** (0.077)	0.317*** (0.072)	0.290*** (0.059)	0.316*** (0.072)	0.330*** (0.073)
$\ln(\text{dwell})$	0.981*** (0.104)	0.689*** (0.101)	0.759*** (0.110)	0.925*** (0.108)	0.683*** (0.102)	0.672*** (0.112)	0.665*** (0.113)	0.666*** (0.115)
$\ln(\text{weather})$	0.059 (0.052)	0.040 (0.048)	0.067 (0.062)	0.065 (0.053)	0.053 (0.050)	0.034 (0.045)	0.072 (0.064)	0.045 (0.045)
$W\ln(\text{price})$				-0.043 (0.036)	-0.040 (0.033)		-0.054 (0.039)	-0.033 (0.032)
$W\ln(\text{income})$				0.038** (0.019)	0.004 (0.019)		0.058*** (0.020)	-0.015 (0.023)
	<i>Весовая матрица W^(d)</i>							
ρ		0.700*** (0.052)			0.670*** (0.061)	0.646*** (0.117)		0.524* (0.317)
λ			0.829*** (0.038)			0.259 (0.218)	0.726*** (0.055)	0.382 (0.389)
$\ln(\text{price})$	0.080 (0.096)	0.092 (0.087)	0.186* (0.101)	0.217* (0.110)	0.194* (0.101)	0.125 (0.093)	0.189* (0.101)	0.196* (0.101)
$\ln(\text{income})$	0.377*** (0.057)	0.161*** (0.056)	0.210*** (0.076)	0.122 (0.085)	0.142* (0.078)	0.188*** (0.071)	0.178** (0.076)	0.142* (0.077)
$\ln(\text{dwell})$	0.977*** (0.102)	0.290*** (0.097)	0.118 (0.124)	0.766*** (0.108)	0.262*** (0.101)	0.259** (0.113)	0.158 (0.122)	0.205* (0.122)
$\ln(\text{weather})$	0.073 (0.051)	0.022 (0.046)	0.042 (0.086)	0.105** (0.052)	0.050 (0.048)	0.028 (0.056)	0.056 (0.081)	0.059 (0.066)
$W\ln(\text{price})$				-0.720*** (0.212)	-0.410** (0.198)		-0.799* (0.454)	-0.547* (0.322)
$W\ln(\text{income})$				0.518*** (0.111)	0.097 (0.114)		0.717*** (0.167)	0.265 (0.295)

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

Таблица П2. Результаты оценивания различных спецификаций модели, 2005–2010 гг.

	Спецификации							
	FE	SLM	SEM	SLX	SDM	SAC	SDEM	GNS
<i>Весовая матрица W^(c)</i>								
ρ		0.034** (0.014)			0.038*** (0.014)	0.002 (0.050)		0.009 (0.129)
λ			0.043*** (0.014)			0.042 (0.047)	0.043*** (0.014)	0.035 (0.122)
$\ln(\text{price})$	0.453** (0.199)	0.420** (0.180)	0.456** (0.193)	0.439* (0.241)	0.459** (0.216)	0.455** (0.196)	0.476** (0.210)	0.476** (0.212)
$\ln(\text{income})$	0.619*** (0.112)	0.583*** (0.104)	0.661*** (0.111)	0.693*** (0.157)	0.694*** (0.141)	0.658*** (0.127)	0.685*** (0.139)	0.686*** (0.141)
$\ln(\text{dwell})$	-0.708** (0.303)	-0.780*** (0.273)	-0.840*** (0.273)	-0.698** (0.307)	-0.760*** (0.275)	-0.840*** (0.276)	-0.830*** (0.276)	-0.820*** (0.276)
$\ln(\text{weather})$	0.081 (0.074)	0.059 (0.067)	0.076 (0.081)	0.085 (0.076)	0.071 (0.069)	0.075 (0.085)	0.083 (0.084)	0.080 (0.089)
$W\ln(\text{price})$				0.013 (0.069)	-0.012 (0.062)		-0.012 (0.068)	-0.013 (0.081)
$W\ln(\text{income})$				-0.024 (0.035)	-0.036 (0.032)		-0.009 (0.034)	-0.015 (0.072)
<i>Весовая матрица W^(d)</i>								
ρ		0.458*** (0.122)			0.499*** (0.125)	0.296 (0.356)		0.313 (1.271)
λ			0.538*** (0.119)			0.389 (0.355)	0.523*** (0.122)	0.376 (1.204)
$\ln(\text{price})$	0.463** (0.196)	0.378** (0.178)	0.434** (0.209)	0.346 (0.252)	0.360 (0.226)	0.411** (0.205)	0.382* (0.223)	0.378* (0.223)
$\ln(\text{income})$	0.593*** (0.110)	0.465*** (0.109)	0.634*** (0.133)	0.549*** (0.183)	0.563*** (0.163)	0.559*** (0.157)	0.589*** (0.159)	0.584*** (0.16)
$\ln(\text{dwell})$	-0.639** (0.296)	-0.830*** (0.267)	-0.850*** (0.274)	-0.710** (0.310)	-0.810*** (0.277)	-0.870*** (0.278)	-0.890*** (0.281)	-0.880*** (0.280)
$\ln(\text{weather})$	0.098 (0.072)	0.044 (0.066)	0.024 (0.102)	0.083 (0.075)	0.043 (0.067)	0.024 (0.092)	0.006 (0.104)	0.020 (0.093)
$W\ln(\text{price})$				0.289 (0.410)	0.057 (0.374)		0.330 (0.571)	0.178 (0.866)
$W\ln(\text{income})$				0.053 (0.213)	-0.161 (0.199)		0.082 (0.234)	-0.075 (0.620)

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

Таблица ПЗ. Результаты оценивания различных спецификаций модели, 2011–2017 гг.

	Спецификации							
	FE	SLM	SEM	SLX	SDM	SAC	SDEM	GNS
	<i>Весовая матрица W^(c)</i>							
ρ		0.042*** (0.012)			0.017 (0.014)	0.109*** (0.012)		0.094*** (0.019)
λ			0.024* (0.014)			-0.130*** (0.022)	0.013 (0.014)	-0.110*** (0.029)
$\ln(\text{price})$	-0.610*** (0.088)	-0.530*** (0.081)	-0.560*** (0.083)	-0.400*** (0.095)	-0.390*** (0.087)	-0.440*** (0.071)	-0.400*** (0.086)	-0.370*** (0.089)
$\ln(\text{income})$	-0.071 (0.085)	-0.071 (0.077)	-0.088 (0.082)	-0.060 (0.106)	-0.071 (0.097)	-0.023 (0.055)	-0.072 (0.096)	-0.037 (0.101)
$\ln(\text{dwell})$	0.358*** (0.092)	0.267*** (0.085)	0.309*** (0.086)	0.193** (0.096)	0.176** (0.088)	0.170** (0.076)	0.180** (0.088)	0.149* (0.082)
$\ln(\text{weather})$	-0.022 (0.050)	-0.012 (0.046)	-0.026 (0.050)	0.021 (0.051)	0.021 (0.047)	0.013 (0.029)	0.021 (0.049)	0.018 (0.032)
$W\ln(\text{price})$				-0.150*** (0.003)	-0.140*** (0.030)		-0.150*** (0.028)	-0.045 (0.034)
$W\ln(\text{income})$				-0.007 (0.028)	-0.002 (0.026)		-0.003 (0.027)	-0.001 (0.024)
	<i>Весовая матрица W^(d)</i>							
ρ		0.578*** (0.085)			0.383*** (0.131)	0.721*** (0.075)		-0.970*** (0.220)
λ			0.699*** (0.080)			-0.680*** (0.252)	0.399*** (0.132)	0.890*** (0.043)
$\ln(\text{price})$	-0.600*** (0.087)	-0.360*** (0.083)	-0.350*** (0.093)	-0.290*** (0.105)	-0.290*** (0.096)	-0.290*** (0.078)	-0.280*** (0.095)	-0.330*** (0.093)
$\ln(\text{income})$	-0.064 (0.083)	0.018 (0.073)	0.053 (0.091)	0.122 (0.103)	0.100 (0.093)	0.023 (0.059)	0.085 (0.093)	0.127 (0.091)
$\ln(\text{dwell})$	0.356*** (0.090)	0.135* (0.082)	0.087 (0.087)	0.111 (0.097)	0.082 (0.088)	0.127 (0.079)	0.064 (0.088)	0.043 (0.085)
$\ln(\text{weather})$	-0.025 (0.049)	-0.008 (0.044)	-0.054 (0.062)	0.000 (0.051)	-0.005 (0.046)	0.015 (0.032)	-0.017 (0.055)	-0.057 (0.064)
$W\ln(\text{price})$				-0.780*** (0.172)	-0.378* (0.214)		-0.840*** (0.202)	-2.230*** (0.586)
$W\ln(\text{income})$				-0.450*** (0.171)	-0.270* (0.161)		-0.303 (0.204)	0.898* (0.465)

Примечание. Уровни значимости: ***, **, * — 1, 5, 10% соответственно. В скобках представлены стандартные ошибки.

Gaivoronskaia E. Electricity demand elasticity and regional effects: Spatial econometric approach. *Applied Econometrics*, 2020, v. 58, pp. 76–95.

DOI: 10.22394/1993-7601-2020-58-76-95

Elizaveta Gaivoronskaia

Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; e.gaivoronskaia@g.nsu.ru

Electricity demand elasticity and regional effects: Spatial econometric approach

This paper presents an empirical analysis of residential electricity demand in the regions of Russia. The purpose of the study is to estimate regional electricity demand considering the existence of spatial effects. Spatial econometrics models are estimated for 78 regions of Russia for the period 2005–2017. The results show that demand depends not only on factors that stressed out in the theory of consumer choice, but also there are spatial spillovers. Furthermore, the results show absence of income elasticity, but rather high price elasticity compared to other countries.

Keywords: demand estimation; electricity market; spatial econometrics; Russian regions.

JEL classification: Q41; L94; C23; R12.

References

Gaivoronskaia E. A., Tsyplakov A. A. (2018). Using a modified Erev–Roth algorithm in an agent-based electricity market model. *Journal of the New Economic Association*, 39 (3), 55–83 (in Russian).

Kukoverov M. V. (2019). On price elasticity of electricity demand. *Journal of the New Economic Association*, 42 (2), 70–92 (in Russian).

Ozhegov E., Popova E. (2017). Demand for electricity and weather conditions: Nonparametric analysis. *Applied Econometrics*, 46, 55–73 (in Russian).

Mishura A. V. (2011). Estimation of households' electricity demand elasticity in Russia. *Vestnik NSU. Series: Social and Economic Sciences*, 11 (2), 92–101 (in Russian).

Akarsu G. (2017). Analysis of regional electricity demand for Turkey. *Regional Studies, Regional Science*, 4 (1), 32–41.

Alberini A., Filippini M. (2011). Response of residential electricity demand to price: The effect of measurement error. *Energy Economics*, 33 (5), 889–895.

Anderson K. P. (1973). Residential energy use: An econometric analysis. Report R-1297-NSF. The Rand Corporation. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/reports/2007/R1297.pdf>.

Anselin L. (2010). Thirty years of spatial econometrics. *Papers in Regional Science*, 89 (1), 3–25.

Anselin L., Gallo J. L., Jayet H. (2008). Spatial panel econometrics. In: *The Econometrics of Panel Data. Advanced Studies in Theoretical and Applied Econometrics*, vol. 46, 625–660.

Baker P., Blundell R., Micklewright J. (1989). Modelling household energy expenditures using microdata. *The Economic Journal*, 99, 720–738.

Baltagi B. H., Song S. H., Koh W. (2003). Testing panel data regression models with spatial error correlation. *Journal of Econometrics*, 117 (1), 123–150.

Beenstock K. M., Goldin E., Nabot D. (1999). The demand for electricity in Israel. *Energy Economics*, 21 (2), 168–183.

Bernstein M. A., Griffin J. M. (2006). Regional differences in the price-elasticity of demand for energy. The Rand Corporation Technical Report. https://www.rand.org/pubs/technical_reports/TR292.html.

- Blázquez Gomez L. M., Filippini M., Heimsch F. (2013). Regional impact of changes in disposable income on Spanish electricity demand: A spatial econometric analysis. *Energy Economics*, 40 (1), 58–66.
- Bose R. K., Shukla M. (1999). Elasticities of electricity demand in India. *Energy Policy*, 27 (3), 137–146.
- Cabral J., Legey L., Cabral M. F. (2017). Electricity consumption forecasting in Brazil: A spatial econometrics approach. *Energy*, 126, 124–131.
- Cho S., Kimb T., Kimc H. J., Park K., Roberts R. K. (2015). Regionally-varying and regionally-uniform electricity pricing policies compared across four usage categories. *Energy Economics*, 49, 182–191.
- Elhorst P. (2014). *From cross-sectional data to spatial panels*. New York: Springer.
- Filippini M. (1999). Swiss residential demand for electricity. *Applied Economics Letters*, 6, 533–538.
- Filippini M., Pachauri S. (2004). Elasticities of electricity demand in urban Indian households. *Energy Policy*, 32 (3), 429–436.
- Ghalekhondabi I., Ardjmand E., Weckman G. R., Young W. A. (2017). An overview of energy demand forecasting methods published in 2005–2015. *Energy Systems*, 8 (2), 411–447.
- Halvorsen R. (1975). Residential demand for electric energy. *The Review of Economics and Statistics*, 57 (1), 12–18.
- Heshmati A. (2012). Survey of models on demand, customer base-line and demand response and their relationships in the power market. *IZA Discussion Paper No. 6637*.
- Holtedahl P., Joutz F. L. (2004). Residential electricity demand in Taiwan. *Energy Economics*, 26 (3), 201–224.
- Hondroyannis G. (2004). Estimating residential demand for electricity in Greece. *Energy Economics*, 26 (3), 319–334.
- Houthakker H. S. (1951). Some calculations of electricity consumption in Great Britain. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A*, 114 (3), 359–371.
- Houthakker H. S., Taylor L. D. (1970). *Consumer demand in the United States: Analyses and projections*. Harvard University Press, Cambridge.
- Houthakker H. S., Verleger P. K., Sheehan D. P. (1974). Dynamic demand analyses for gasoline and residential electricity. *American Journal of Agricultural Economics*, 56 (2), 412–418.
- Kamerschen D. R., Porter D. V. (2004). The demand for residential, industrial and total electricity, 1973–1998. *Energy Economics*, 26 (1), 87–100.
- Labandeira X., Labeaga J. M., López-Otero X. (2012). Estimation of elasticity price of electricity with incomplete information. *Energy Economics*, 34 (3), 627–633.
- Labandeira X., Labeaga J. M., Rodríguez M. (2006). A residential energy demand system for Spain. *The Energy Journal*, 27 (2), 87–112.
- LeSage J. P., Pace R. K. (2009). *Introduction to spatial econometrics*. CRC Press.
- Leth-Petersen S. (2002). Micro econometric modelling of household energy use: Testing for dependence between demand for electricity and natural gas. *The Energy Journal*, 23 (4), 57–84.
- Narayan P. K., Smyth R. (2005). The residential demand for electricity in Australia: An application of the bounds testing approach to cointegration. *Energy Policy*, 33 (4), 467–474.
- Ohtsuka Y., Kakamu K. (2013). Space-time model versus VAR model: Forecasting electricity demand in Japan. *Journal of Forecasting*, 32 (1), 75–85.
- Paul A., Myers E., Palmer K. (2009). A partial adjustment model of U.S. electricity demand by region, season and sector. *RFF Discussion Paper 08–50*. Washington.
- Tian W., Song J., Li Z. (2014). Spatial regression analysis of domestic energy in urban areas. *Energy*, 76, 629–640.

Received 14.11.2019; accepted 28.03.2020.