

Анализ долгосрочных и краткосрочных взаимосвязей между электропотреблением и экономическим ростом в промышленно развитых регионах России

М. Б. Петров , Л. А. Серков  

Институт экономики Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия

 serkov.la@uiec.ru

Аннотация. Целью исследования является выявление причинно-следственных долгосрочных и краткосрочных взаимосвязей между промышленным электропотреблением и экономическим ростом путем сравнительного анализа двух соседних регионов с примерно одинаковым промышленным потенциалом — Свердловской и Челябинской областей. Для решения данной задачи используется эконометрический подход, основанный на методе тестирования границ моделей авторегрессии и распределенного лага (ARDL), определяющий наличие коинтеграции между рядами. Применение этого метода является незаменимым при исследовании региональных проблем ввиду недостаточной длины временных рядов экономических показателей региона. В качестве показателей при сравнительном анализе использовались временные ряды промышленного электропотребления, темпа экономического роста, объема промышленного производства, среднедушевого дохода и среднегодовой численности занятых. При анализе данных было выявлено, что существенными коинтегрированными переменными для Свердловской области являются темп экономического роста и электропотребление. Для Челябинской области этими переменными являются объем промышленного производства, электропотребление и среднегодовая численность занятых. Таким образом электропотребление Свердловской области в долгосрочном периоде не зависит от объема промышленного производства и численности занятых, а зависит лишь от темпов экономического роста. В Челябинской области, соответственно, в долгосрочном периоде электропотребление зависит от объема промышленного производства, численности занятых и не зависит от темпов роста. Схожие, на первый взгляд, по промышленному потенциалу регионы отличаются причинно-следственными связями между экономическим ростом и промышленным электропотреблением. Применение тестов на причинность позволило выявить долгосрочные и краткосрочные причинно-следственные взаимосвязи между переменными. Полученные результаты иллюстрируют объясняющие и прогностические возможности эконометрического подхода в контексте анализа причинно-следственных отношений в экономике двух соседних областей и ее энергетической системы. Эти результаты могут иметь важное значение при анализе электропотребления и энергосбережения в промышленном секторе экономики этих областей.

Ключевые слова: тестирование границ; коинтеграция; модель коррекции ошибок; тест причинности; электропотребление; экономический рост.

1. Введение

Энергия играет уникальную роль в экономике, так как она является одновременно конечным товаром для

конечных пользователей и вкладом в производственные процессы многих предприятий. Кроме того, энергия является незаменимым звеном в цепочке

поставок. Решения, которые промышленные предприятия и домашние хозяйства должны принимать в отношении использования энергии, зависят от краткосрочных изменений в экономической деятельности, а также долгосрочных тенденций, и имеют последствия для них. По этой причине значительное внимание в целом ряде публикаций уделяется оценке взаимосвязи между потреблением энергии и экономическим ростом.

Моделирование взаимосвязи между потреблением энергии и экономическим ростом является важной и всегда интересной областью исследований. Большое количество исследований проведено в контексте связи между потреблением энергии и экономическим ростом путем изучения долгосрочных и краткосрочных динамических взаимосвязей, а также установления причинно-следственных связей (даже с помощью моделей эндогенного роста). Исследования проводились на территории развитых, развивающихся и новых индустриальных стран.

Таким образом, существующая литература констатирует, что потребление угля, бензина, тепловой энергии, нефти, природного газа и электроэнергии имеет прямое влияние на экономическое развитие стран в целом и каждого сегмента экономики в частности. Как указывают различные исследования [1, 2], потребление энергии является фундаментальным и незаменимым фактором производства. Используя этот инструмент, страна может увеличить производство товаров и услуг, тем самым увеличивая доходы и экономический рост.

Особую роль в промышленном энергопотреблении играет электроэнергетика, определяющая характер пространственного развития территорий. Следует отметить, что за последние 10 лет суммарное электропотребление,

по данным Росстата¹, выросло незначительно, примерно на 10 %. Причем основной рост наблюдался и продолжается в постковидный период, и при этом более 60 % использования электроэнергии приходится именно на реальный сектор экономики.

Электроэнергетика определяет характер пространственного регионального развития. Поэтому представляет интерес анализ взаимосвязи между региональным промышленным электропотреблением и экономическим ростом путем изучения долгосрочных и краткосрочных динамических зависимостей, а также установления причинно-следственных связей между этими переменными.

Целью исследования является выявление причинно-следственных долгосрочных и краткосрочных взаимосвязей между промышленным электропотреблением и экономическим ростом путем сравнительного анализа двух соседних регионов с примерно одинаковым промышленным потенциалом — Свердловской и Челябинской областей.

Как будет показано ниже, связь между электропотреблением и экономическим ростом очень чувствительна к региональным различиям: уровням доходов населения областей, темпам урбанизации, относительной доли сектора услуг и так далее. Таким образом, несмотря на схожий промышленный потенциал этих двух областей, анализируемая причинно-следственная связь между Свердловской и Челябинской областями может различаться.

Рабочей гипотезой исследования является доказательство различий в причинно-следственных связях между электропотреблением и экономическим ростом в Свердловской и Челябинской

¹ Росстат России. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial

области ввиду некоторого различия в описанных выше региональных факторах.

2. Обзор литературы

Вывод об отсутствии причинно-следственной связи между потреблением энергии и экономической динамикой можно встретить в работах [3, 4]. Однако широкого распространения эта гипотеза не получила, скорее породив в научном сообществе дискуссию о выборе эконометрических методов.

Druzhinin et al. [5], а также Григорьев и Курдин [6] подтверждают высокую зависимость электропотребления в России от динамики ВВП.

Куренкова и Любимова [7] показывают, что в некоторых регионах эластичность электропотребления по показателям экономического роста может быть значительно выше единицы.

Kraft & Kraft [8] выявили однонаправленную причинно-следственную связь, предполагающую влияние экономического роста на потребление энергии.

В более поздних исследованиях авторы отмечают, что на характер связи оказывают влияние различные факторы, например уровень экономического развития.

Sadorsky [9] обосновал, что однопроцентный рост реального среднедушевого дохода в долгосрочной перспективе увеличивает потребление возобновляемой энергии на душу населения в странах с развивающейся экономикой примерно на 3,5 %.

Adhikari & Chen [10] обнаружили сильную связь между потреблением энергии и экономическим ростом для стран с доходом выше среднего и стран с доходом ниже среднего, а также сильная связь, которая простирается от экономического роста к потреблению энергии для стран с низким доходом. Эти результаты ясно показывают, что по-

требление энергии оказало положительное и статистически значимое влияние на экономический рост в долгосрочной перспективе в этих странах.

Karanfil [11] подчеркивает, что связь между ростом электропотребления и экономическим ростом очень чувствительна к региональным различиям, уровням доходов стран, темпам урбанизации и объему поставок электроэнергии.

Kilinc-Ata [12] обосновывает преимущество государственной политики, поощряющей использование возобновляемых источников энергии путем создания рынков возобновляемой энергии, чтобы не только повысить безопасность и экологические проблемы, но и обеспечить стабильный экономический рост.

Apergis & Payne [13] исследуют взаимосвязь между потреблением электроэнергии и экономическим ростом для 88 стран, разделенных на четыре панели на основе классификации доходов Всемирного банка. Результаты панельных векторных моделей коррекции ошибок показывают двунаправленную причинно-следственную связь между потреблением электроэнергии и экономическим ростом как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе для панелей стран с высоким доходом и доходом выше среднего. Для панели стран с доходом ниже среднего обнаружена двунаправленная причинно-следственная связь в долгосрочной перспективе и однонаправленная причинно-следственная связь от потребления электроэнергии к экономическому росту в краткосрочной перспективе.

Ряд ученых провели исследование на примере отдельной страны, чтобы найти причинную связь между потреблением энергии и экономическим ростом.

Azlina et al. [14] рассматривают динамическую взаимосвязь между доходом, потреблением энергии и выбросами углекислого газа (CO_2) в Малайзии с ис-

пользованием данных временных рядов в период с 1975 по 2011 г. Результаты теста на причинно-следственную связь по Грейнджеру показывают, что связь между объемом ВВП и выбросами CO₂ однонаправленная.

Paune [15] использует годовые данные США за период с 1949 по 2006 г. для сравнения причинно-следственной связи между потреблением возобновляемой и невозобновляемой энергии и реальным ВВП соответственно. Учитывая размер выборки исследования, тесты причинности Тода — Ямамото показывают отсутствие причинно-следственной связи между потреблением возобновляемой или невозобновляемой энергии и реальным ВВП, что подтверждает гипотезу нейтральности.

Paune [16] анализирует различные гипотезы, связанные с причинно-следственной связью между потреблением электроэнергии и экономическим ростом и приводит подробный обзор эмпирической литературы, связанный с проведением опросов. Результаты по конкретным опрошенным странам показывают, что 31,15 % из них поддержали гипотезу нейтральности.

Wang et al. [17] обнаружена причинно-следственная связь, связанная с потреблением энергии и ростом экономики в Китае. При этом использовался относительно новый метод многомерной коинтеграции.

Ohlan [18] анализирует влияние использования возобновляемых и невозобновляемых источников энергии на экономический рост в Индии в рамках структуры потребления энергии и роста за период 1971–2012 гг. с использованием многомерной модели, в которой открытость торговли и финансовое развитие включены в качестве дополнительных переменных. Эмпирические данные подтверждают существование долгосрочных равновесных отношений

между конкурирующими переменными. Результаты показывают, что потребление невозобновляемых источников энергии в долгосрочной перспективе оказывает существенное положительное влияние на экономический рост Индии.

Caraiani et al. [19] исследуют причинно-следственные связи между потреблением энергии и ВВП в контексте развивающихся европейских стран, охватывающие период 1980–2013 гг. Эмпирическое исследование показывает неоднозначные результаты. Существует баланс в подтверждении гипотез сохранения, роста и нейтральности.

В развитых странах было предпринято довольно значительное количество эмпирических исследований для демонстрации связи между потреблением энергии и экономическим ростом.

Belke et al. [20] рассматривают долгосрочную взаимосвязь между потреблением энергии и реальным ВВП, включая цены на энергоносители, для 25 стран ОЭСР с 1981 по 2007 г. Полученные результаты показали, что потребление энергии неэластично по цене. Тесты на причинно-следственную связь указали на наличие двунаправленной причинно-следственной связи между потреблением энергии и экономическим ростом.

Magazzino [21] анализирует взаимосвязь между экономическим ростом, использованием энергии и выбросами углекислого газа (CO₂) в Израиле за период 1971–2006 гг. Результаты причинно-следственной связи показывают, что реальный валовой внутренний продукт (ВВП) влияет как на потребление энергии, так и на выбросы CO₂. Разложение дисперсии ошибок прогноза свидетельствует о том, что ошибки реального ВВП на душу населения в основном связаны с неопределенностью самого ВВП, тогда как ошибки в прогнозировании энергопотребления и вы-

бросов CO₂ чувствительны к нарушениям в двух других уравнениях.

Narayan & Smyth [22] для стран Большой семерки обнаружили, что односторонняя причинно-следственная связь существовала в период с 1972 по 2002 г. между потреблением энергии и ростом валового внутреннего продукта (ВВП).

Apergis & Payne [23] провели комплексное исследование на показателях шести стран Центральной Америки за период с 1971 по 2004 г. Авторы пришли к выводу, что ощутимая однонаправленная причинно-следственная связь существует между потреблением энергии и реальным объемом производства.

Mohammad & Parvaresh [24] доказали существование как долгосрочной, так и краткосрочной динамики между потреблением энергии и производством в 14 странах — экспортерах нефти. Их результат подтвердил наличие причинно-следственной связи между потреблением энергии и экономическим ростом за период исследования с 1980 по 2007 г.

Ряд публикаций посвящен влиянию электропотребления в обрабатывающей промышленности на объем производства или на валовой внутренний продукт (ВВП).

Ugwoke et al. [25] рассматривают влияние потребления электроэнергии на объем производства в Нигерии с 1980 по 2021 г. Были проведены различные диагностические тесты, включающие описательную статистику, корреляцию, тест на единичный корень. Процедура анализа модели с распределенными лагами (ARDL) показала, что в долгосрочной перспективе труд, капитал и потребление электроэнергии являются единственными переменными, определяющими объем производства в Нигерии. Кроме того, в краткосроч-

ной перспективе переменными, определяющими выпуск продукции в обрабатывающей промышленности, являются потребление электроэнергии, труд, валовое накопление основного капитала и производство электроэнергии.

Разнообразие гипотез и противоречивость результатов эмпирических исследований объясняются сложностью и многогранностью факторов, влияющих на динамику электропотребления и экономической рост.

Среди основных факторов можно выделить уровень развития экономики исследуемого региона и качество жизни его населения, географическое положение, темпы инвестиционной деятельности, общая энергоемкость производств, характер проводимой экономической политики, острота экологических проблем.

Именно поэтому схожие, на первый взгляд, по промышленному потенциалу страны и регионы могут отличаться причинно-следственными связями между экономическим ростом и промышленным электропотреблением. Именно подобное различие рассмотрено в предлагаемой работе на примере Свердловской и Челябинской областей.

3. Метод и данные исследования

Для выявления причинно-следственных долгосрочных и краткосрочных взаимосвязей между промышленным электропотреблением и экономическим ростом в Свердловской и Челябинской областях используется эконометрический подход, основанный на использовании моделей авторегрессии и распределенного лага (ARDL), предложенный Pesaran et al. [26].

Основное достоинство этого метода, называемого методом тестирования границ (*Bounds testing approaches*), заключается в том, что этот подход, опреде-

ляющий наличие коинтеграции между рядами, можно применять к временным рядам независимо от того, являются ли они стационарными (интегрированность нулевого порядка $I(0)$), нестационарными (интегрированность первого порядка $I(1)$) или взаимно коинтегрированными.

Дело в том, что все ранее применяемые методы в предыдущих исследованиях в основном были сосредоточены на случаях, когда основные переменные являлись интегрированными переменными первого порядка. Выявление данного вида нестационарности временных рядов проводится с использованием тестов на наличие в рядах единичного корня. При исследовании региональных временных рядов данные тесты обладают малой мощностью ввиду того, что эти ряды, как правило, очень короткие из-за отсутствия квартальных региональных показателей. Поэтому использование метода тестирования границ является незаменимым именно при исследовании региональных проблем.

Предлагаемый тест базируется на стандартных методах статистической проверки гипотез, основанных на распределении Фишера и Стьюдента и используемых для проверки значимости лагированных уровней переменных в од-

номерном равновесном механизме коррекции.

Имеется два набора асимптотических критических значений: один, когда все регрессоры являются чисто нестационарными $I(1)$, и другой, если все они чисто стационарные $I(0)$. Эти два набора критических значений образуют диапазон, охватывающий все возможные классификации регрессоров на чисто стационарные $I(0)$, чисто нестационарные $I(1)$ или взаимно коинтегрированные. Соответственно, предлагаются различные процедуры проверки границ этого диапазона.

Исследование причинности между исследуемыми показателями в краткосрочном периоде анализировалось с помощью стандартного теста Грейнджера. Выявление долгосрочной причинности проводилось посредством теста Toda & Yamamoto [27].

Анализируемые показатели (табл. 1) получены на официальном сайте Росстата. Исследовались временные ряды годовых данных за период с 2000 по 2020 г. для Свердловской и Челябинской областей. Использование годовых данных обусловлено отсутствием официальной квартальной статистики для исследуемых показателей.

Таблица 1. Перечень показателей, используемых для сравнительного анализа для Свердловской и Челябинской областей

Table 1. List of indicators used for comparative analysis for the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions

Показатель	Обозначение
Объем промышленного производства, млн. руб.	pr_pr
Темп экономического роста, %	lrost
Среднегодовые денежные доходы на душу населения, тыс. руб.	dox
Среднегодовая численность занятых, тыс. чел.	Zan
Потребление электроэнергии в промышленности, тыс. кВт-час	elektr

Источник: составлено авторами.

Анализ описательной статистики временных рядов показал достаточно большие стандартные отклонения переменных. Поэтому временные ряды показателей преобразовывались в естественную логарифмическую форму (с помощью натурального логарифма). Денежные доходы на душу населения и объем промышленного производства рассчитывались в постоянных ценах 2000 г. Темп экономического роста определялся как темп роста реального валового регионального продукта (ВРП).

4. Результаты исследования

Для выбора соответствующих спецификаций эконометрических моделей долгосрочной зависимости промышленного электропотребления от соответствующих регрессоров необходимо провести корреляционный анализ исследуемых переменных для сравниваемых регионов.

В табл. 2 и 3 приведены матрицы корреляций между исследуемыми переменными для Свердловской и Челябинской областей.

Таблица 2. Матрица корреляций между анализируемыми переменными Свердловской области

Table 2. Matrix of correlations between the analyzed variables of the Sverdlovsk region

	elektr	lrost	zan	dox	pr_pr
elektr	1.0000				
lrost	0.6945	1.0000			
zan	0.1228	-0.0366	1.0000		
dox	-0.2993	-0.1979	0.5215	1.0000	
pr_pr	-0.0881	-0.0745	0.2500	0.8170	1.0000

Источник: составлено авторами.

Таблица 3. Матрица корреляций между анализируемыми переменными Челябинской области

Table 3. Correlation matrix between analyzed variables Chelyabinsk region

	elektr	lrost	zan	dox	pr_pr
elektr	1.0000				
lrost	-0.0845	1.0000			
zan	0.9030	-0.2041	1.0000		
dox	0.7393	-0.3467	0.7948	1.0000	
pr_pr	0.8666	-0.0306	0.4771	0.7081	1.0000

Источник: составлено авторами.

Анализ таблиц показывает достаточно сильную корреляцию между электропотреблением и темпом экономического роста и очень слабую корреляцию между электропотреблением, объемом промышленного производства, численностью занятых и среднедушевым денежным доходом населения в Свердловской области. Напротив, для Челябинской области наблюдается сильная корреляция между электропотреблением, объемом промышленного производства, численностью занятых и среднедушевым денежным доходом населения.

Исходя из тестов на мультиколлинеарность, автокорреляцию остатков и гетероскедастичность, выбраны соответствующие спецификации эконометрических моделей долгосрочной зависимости промышленного электропотребления от соответствующих регрессоров. Особенно важен в контексте использования ARDL-моделей тест на автокорреляцию остатков, так как среди регрессоров присутствуют лаги зависимой переменной. При наличии автокорреляции остатков это приводит к несостоятельным оценкам параметров вследствие эндогенности.

Для Свердловской области уравнение модели долгосрочной зависимости выглядит следующим образом:

$$elektr_t = const + \beta_1 lrost_t + \varepsilon_t, \quad (1)$$

где остатки ε_t нормальны и удовлетворяют условиям классической линейной регрессии.

Для Челябинской области аналогичное уравнение модели долгосрочной зависимости записывается в виде:

$$elektr_t = const + \alpha_1 pr_{t-1} + \alpha_2 zan_t + \varepsilon_t^1. \quad (2)$$

Для перехода от уравнений (1) и (2) к уравнениям соответствующих ARDL-

моделей необходимо определить длину лага регрессоров. Длина лага регрессоров оценивалась с помощью стандартных общепринятых информационных критериев Akaike (AIC) и Schwartz Bayesian Criteria (SBC). В результате для Свердловской области выбрана модель ARDL (1,1) (уравнение 3), а для Челябинской области — модель ARDL(2,2,2) (уравнение 4).

$$elektr_t = const + \gamma_1 elektr_{t-1} + \delta_2 \sum_{i=0}^1 lrost_{t-i} + \varepsilon_t^2, \quad (3)$$

$$elektr_t = const + \gamma_2 \sum_{i=1}^2 elektr_{t-i} + \delta_3 \sum_{i=0}^2 pr_{t-i} + \delta_4 \sum_{i=0}^2 zan_{t-i} + \varepsilon_t^3. \quad (4)$$

После выбора соответствующих спецификаций для ARDL-моделей двух областей применялся эконометрический подход, основанный на методе тестирования границ моделей авторегрессии и распределенного лага (ARDL), определяющий наличие коинтеграции между исследуемыми временными рядами (уравнения (1) и (2)).

Соответствующая F -статистика коинтеграционного анализа (табл. 4) находится выше верхней критической границы, следовательно, нулевая гипотеза об отсутствии коинтеграции отвергается.

Таблица 4. Результаты граничного теста Pesaran [26]

Table 4. Pesaran boundary test results [26]

Область	Свердловская	Челябинская
F -статистика	13,23***	14,34***

Примечание: *** соответствует уровню значимости 0,01.

Источник: составлено авторами.

Таким образом между временными рядами в уравнениях (1) и (2) существует коинтеграция, то есть долгосрочная взаимосвязь. Важным фактом является также то, что в оценках обоих уравнений (3) и (4) отсутствует автокорреляция остатков, что подтверждено посредством тестов Дарбина — Уотсона и Бойша — Годфри. Тестирование оценок этих уравнений на наличие гетероскедастичности с помощью теста Уайта также показало ее отсутствие.

Наличие обнаруженной коинтеграции позволяет конвертировать уравнения (3), (4) в уравнения модели коррекции ошибок (ЕСМ), позволяющие оценить краткосрочные и долгосрочные эффекты между переменными [28, 29]. Для Свердловской области модель ЕСМ имеет вид:

$$\Delta elektr_t = const_2 + \delta_2 \Delta lrost_t + \lambda EC_{t-1} + \varepsilon_t^2, \quad (5)$$

а для Челябинской области аналогичная модель выглядит так:

$$\Delta elektr_t = const_3 + \gamma_2 \Delta elektr_{t-1} + \delta_3 \sum_{i=0}^1 pr_pr_{t-i} + \delta_4 \sum_{i=0}^1 zan_{t-i} + \lambda_1 EC_{t-1} + \varepsilon_t^3. \quad (6)$$

В уравнениях (5), (6) оператор Δ характеризует разность переменных первого порядка, параметры λ, λ_1 характеризуют скорость коррекции зависимой переменной к долгосрочному равновесному состоянию. Чем больше эти параметры, тем сильнее отклик зависимой переменной (в данном случае электропотребления) на отклонение от долгосрочного равновесия в предыдущем периоде. Эти параметры ожидаются значимыми и отрицательными.

Переменная EC_{t-1} характеризует долгосрочное равновесное состояние для Свердловской области: $EC_{t-1} = elektr_{t-1} - const - \beta lrost_{t-1}$. Соответственно, EC_{t-1}^1 характеризует долгосрочное равновесное состояние для Челябинской области: $EC_{t-1}^1 = elektr_{t-1} - const_1 - \alpha_1 pr_pr_{t-1} - \alpha_2 zan_{t-1}$.

Результаты оценки параметров уравнения коррекции ошибок (ЕСМ) методом максимального правдоподобия для Свердловской области приведены в табл. 5.

Результаты оценки (табл. 5) позволяют сделать вывод о наличии долгосрочной связи между темпом экономического роста и электропотреблением в Свердловской области. Уравнение долгосрочной связи записывается в виде:

$$elektr_t = 7.368 + 1.303 lrost_t + \varepsilon_t. \quad (7)$$

Таблица 5. Результаты оценки параметров уравнения коррекции ошибок (5) для Свердловской области

Table 5. Results of estimating the parameters of the error correction equation (5) for the Sverdlovsk region

D.elektr	Coef.	Std. Err.	t	$P> t $	[95 % Conf.	Interval]
ADJ						
elektr						
L1.	-0.4061	0.1304	-3.1100	0.007	-0.6827	-0.1295
LR						
lrost						

Окончание табл. 5

D.elekt	Coef.	Std. Err.	t	$P> t $	[95 % Conf.	Interval]
L1.	1.3033	0.4428	2.9400	0.010	0.3645	2.2421
_cons	7.3680	0.0208	354.19	0.000	7.3239	7.4121
SR						
lrost						
D1.	0.2900	0.0776	3.73	0.002	0.1254	0.4546

Источник: составлено авторами.

Таким образом, в долгосрочном периоде увеличение темпов роста экономики Свердловской области на 1 % должно увеличивать промышленное электропотребление на 1,3 %. Параметр λ , характеризующий скорость коррекции электропотребления к долгосрочному равновесному состоянию, отрицателен и равен $-0,406$. Параметр δ_2 в уравнении (5), характеризующий краткосрочную связь между изменением темпа роста в текущем периоде и изменением электропотребления в этом же периоде, равен $0,29$. Все параметры являются существенными при уровне значимости $0,01$.

Механизм коррекции ошибок на примере модели Свердловской области выглядит следующим образом. Исходя из уравнения (7), при допуще-

нии повышения темпа экономического роста в момент времени $(t - 1)$ на 1 %, а электропотребления в промышленном секторе более чем на 1,303 % возникает положительный шок.

Согласно уравнению (5) модели коррекции ошибок переменная электропотребление подвергается корректировке в нужном направлении со скоростью, характеризуемой коэффициентом корректировки $\lambda = 0,406$ перед коинтеграционным соотношением в модели EC_{t-1} . При этом чем больше значение этого коэффициента, тем больше скорость корректировки. В результате механизма коррекции положительный шок будет скорректирован.

Результаты оценки параметров уравнения коррекции ошибок (6) для Челябинской области приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты оценки параметров уравнения коррекции ошибок (6) для Челябинской области

Table 6. Results of estimating the parameters of the equation error correction (6) for the Chelyabinsk region

D.lelekt	Coef.	Std. Err.	t	$P> t $	[95 % Conf.	Interval]
ADJ						
lelekt						
L1.	-1.0020	0.2068	-4.84	0.001	-1.4629	-0.5411
LR						

Окончание табл. 6

D.lelektr	Coef.	Std. Err.	t	$P> t $	[95 % Conf.	Interval]
pr_pr_def						
L1.	0.1549	0.0688	2.25	0.048	0.0014	0.3084
zan						
L1.	1.4505	0.3056	4.75	0.001	0.7695	2.1314
_cons	1.8464	0.7288	2.53	0.030	0.2225	3.4704
SR						
lelektr						
LD.	0.7246	0.2231	3.25	0.009	0.2274	1.2218
pr_pr_def						
D1.	0.1222	0.0725	1.68	0.123	-0.0394	0.2838
LD.	-0.1995	0.0773	-2.58	0.027	-0.3718	-0.0272
zan						
D1.	0.8626	0.4702	1.83	0.096	-0.1852	1.9104
LD.	-0.8887	0.5835	-1.52	0.159	-2.1889	0.4115

Источник: составлено авторами.

Параметр λ_1 , характеризующий скорость коррекции электропотребления к долгосрочному равновесному состоянию, отрицателен и равен $-1,002$, то есть скорость коррекции для Челябинской области превышает аналогичный показатель для Свердловской области. Уравнение долгосрочной связи для Челябинской области записывается в виде:

$$\begin{aligned} elektr_t = & 1.84 + 0.155 pr_pr_t + \\ & + 1.45 zan_t + \varepsilon_t^1. \end{aligned} \quad (8)$$

Все параметры в этом уравнении являются существенными при уровне значимости $0,05$. Из анализа уравнения (8)

следует, что влияние занятости на электропотребление намного превышает влияние объема промышленного производства.

В краткосрочном плане изменение электропотребления в текущем периоде зависит от аналогичного изменения в предыдущем периоде (при уровне значимости $0,01$), от изменения объема производства (при уровне значимости $0,05$) также в предыдущем периоде и от численности занятых (при уровне значимости $0,1$) в текущем периоде. Изменение объема производства в текущем периоде и численности занятых в предыдущем периоде не влияет на изменение электропотребления в текущем периоде.

Как уже отмечалось выше, особенно важен для моделей ARDL и коррекции ошибок тест на автокорреляцию остатков. В табл. 7 приведены результаты тестов Breusch — Godfrey [30, 31] на автокорреляцию остатков для двух исследуемых регионов. Результаты тестов свидетельствуют об отсутствии автокорреляции для максимального порядка лага, равным единице и двум (для Челябинской области). Аналогично результаты тестов Уайта [32] свидетельствуют об отсутствии гетероскедастичности остатков.

Проверка стабильности оцененных коэффициентов уравнений долгосрочной связи (7) — (8) рассматриваемых моделей проводилась с помощью теста CUSUM (кумулятивная сумма квадратов рекурсивных остатков). При этом если кумулятивная сумма квадратов остатков находится вне площади, ограниченной двумя критическими линиями, соответствующими 5 %-му уровню значимости, то оцениваемые параметры являются нестабильными.

Результаты теста для уравнений модели (7) — (8) приведены на рис. 1 и 2. Они свидетельствуют о стабильности

оцененных коэффициентов уравнений долгосрочной связи для Свердловской и Челябинской областей.

С помощью теста Грейнджера [33] установлено, что в краткосрочном периоде между изменением темпов экономического роста и изменением электропотребления в один и тот же момент времени для Свердловской области существует двухсторонняя взаимосвязь. Для Челябинской области между переменными $\Delta elektr_{t-1}$, Δpr_pr_t , Δpr_pr_{t-1} , Δzan_t , Δzan_{t-1} и изменением электропотребления в текущий период $\Delta elektr_t$ существует односторонняя связь.

Тест Годе — Ямамото показал, что для Свердловской области между электропотреблением и темпами экономического роста существует в долгосрочном периоде двухсторонняя связь (при уровне значимости 0,1). Для Челябинской области между объемом промышленного производства, численностью занятости (причина) и электропотреблением (следствие) существует односторонняя связь.

Полученные результаты причинно-следственных связей между исследуемыми переменными приведены в табл. 8.

Таблица 7. Результаты тестов Breusch — Godfrey на автокорреляцию остатков для Свердловской и Челябинской области

Table 7. Results of Breusch-Godfrey tests for autocorrelation of residuals for the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions

Тест множителей Лагранжа на автокорреляцию остатков: H0: отсутствие автокорреляции							
Свердловская область				Челябинская область			
Число лагов	Статистика	Число степеней свободы	Значимость	Число лагов	Статистика	Число степеней свободы	Значимость
lags(p)	chi2	df	Prob>chi2	lags(p)	chi2	df	Prob>chi2
1	0.023	1	0.879	1	0.564	1	0.453
				2	0.626	2	0.731

Источник: составлено авторами.

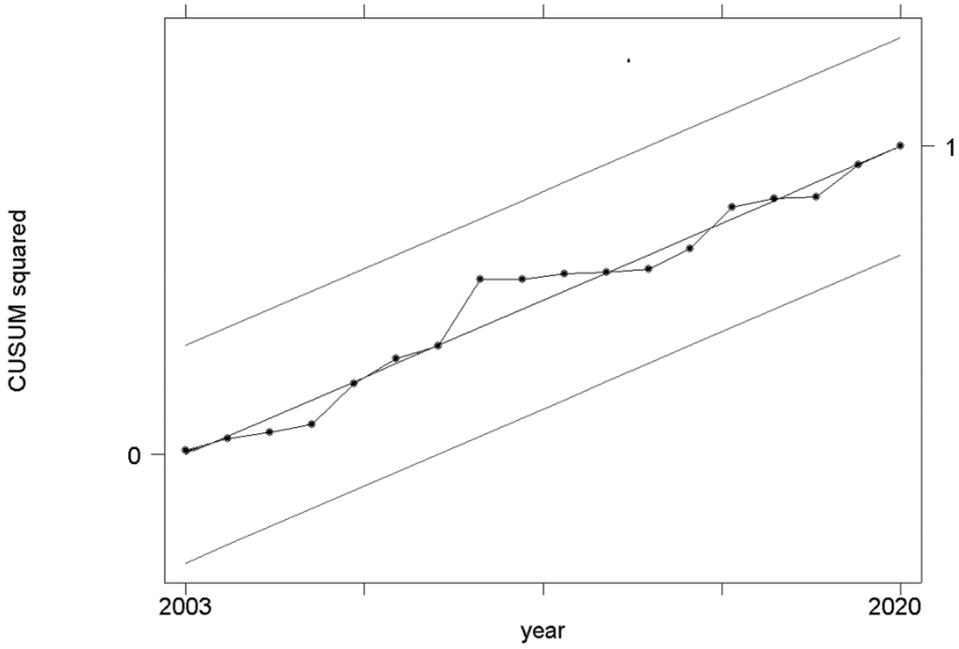


Рис. 1. Тест CUSUM на стабильность параметров модели (уравнение (7))

Figure 1. CUSUM test for stability of model parameters (Equation (7))

Источник: составлено авторами.

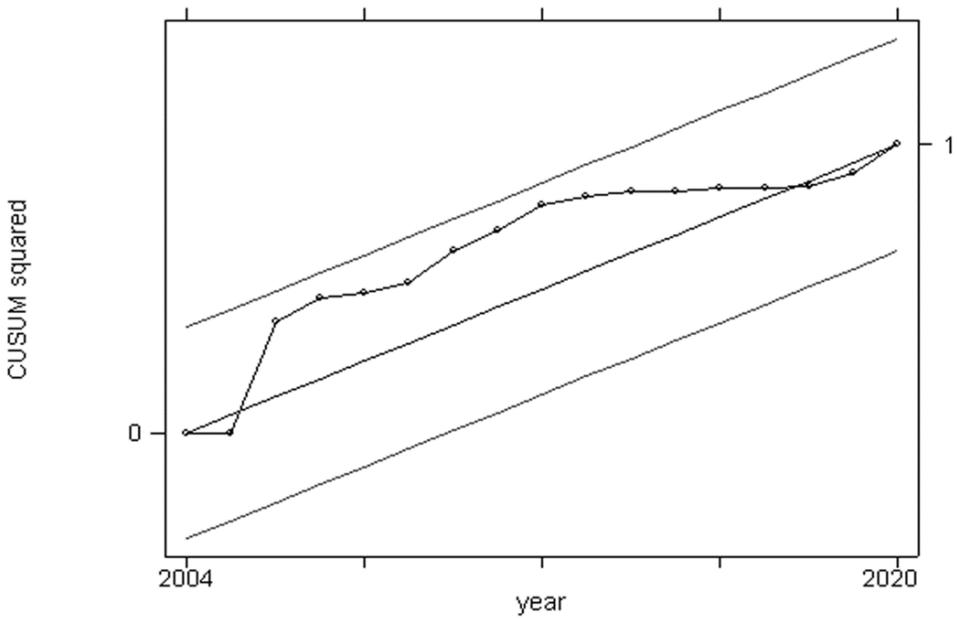


Рис. 2. Тест CUSUM на стабильность параметров модели (уравнение (8))

Figure 2. CUSUM test for stability of model parameters (Equation (8))

Источник: составлено авторами.

Таблица 8. Результаты краткосрочных и долгосрочных причинно-следственных связей для Свердловской и Челябинской областей

Table 8. Results of short-term and long-term cause-and-effect relationships for the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions

Свердловская область		Челябинская область	
Краткосрочная зависимость	Долгосрочная зависимость	Краткосрочная зависимость	Долгосрочная зависимость
$\Delta Irost_t \leftrightarrow \Delta elektr_t$	$elektr_t \leftrightarrow Irost_t$	$\Delta elektr_{t-1} \rightarrow \Delta elektr_t$	$pr_pr_t \rightarrow elektr_t$
		$\Delta pr_pr_t \rightarrow \Delta elektr_t$	$zan_t \rightarrow elektr_t$
		$\Delta pr_pr_{t-1} \rightarrow \Delta elektr_t$	
		$\Delta zan_t \rightarrow \Delta elektr_t$	
		$\Delta zan_{t-1} \rightarrow \Delta elektr_t$	

Источник: составлено авторами.

5. Обсуждение результатов

Таким образом, рабочая гипотеза исследования о различии причинно-следственных связей между промышленным электропотреблением и экономическим ростом в Свердловской и Челябинской областях ввиду некоторого отличия региональных факторов (кроме промышленного потенциала) является доказанной.

Как уже отмечалось выше, схожие, на первый взгляд, по промышленному потенциалу регионы могут отличаться причинно-следственными связями между экономическим ростом и промышленным электропотреблением. Данное различие рассмотрено в предлагаемой статье на примере Свердловской и Челябинской областей.

Схожесть промышленного потенциала этих областей рассмотрена в работах [34, 35]. В этих публикациях доказана синхронность изменения реального ВРП, реального объема промышленного производства, реальной заработной платы и среднедушевых доходов населения рассматриваемых областей и асинхронность динамики численности занятых и стоимости основных фондов. При этом

в Челябинской области по сравнению со Свердловской численность занятых более смещена в сектор промышленного производства. Поэтому эта переменная является значимой для Челябинской области и коинтегрирована с объемом промышленного производства и электропотреблением.

Но существуют еще ненаблюдаемые переменные, такие как уровень и условия жизнедеятельности населения этих областей, географическое положение, характер проводимой экономической политики, острота экологических проблем, которые могут приводить к различию причинно-следственных связей между рассматриваемыми регионами.

Несмотря на то, что прогнозирование электропотребления — исходный пункт схемного проектирования отрасли, электроэнергетика, эконометрические зависимости электропотребления долгое время находились на периферии энерго-экономических исследований. Выпадали из поля зрения и все вопросы, связанные с технологическим прогнозированием потребности в электроэнергии.

Причины такого положения связаны, с одной стороны, с многолетним плато в динамике электропотребления и отсутствием жесткой необходимости создания надежных механизмов управления развитием отрасли — с другой. Однако обе эти причины оказываются преходящими. Они требуют внимания к себе, изучения и практических решений.

Следует также отметить, что полученный результат для Свердловской области находится в тренде с результатом, полученным в статье [5] для Российской Федерации.

Дружинин и др. [5] на основе мультипликативных двухфакторных функций показали, что с 2005 г. объем промышленного производства в России не влиял на электропотребление. Продолжавшаяся модернизация в наиболее электроемких отраслях не вела к уменьшению электропотребления. При этом ускорился рост потребления электроэнергии сектором неторгуемых товаров.

В Челябинской области также не наблюдалось снижение электропотребления в промышленном секторе, но, вероятно, этот процесс смещения потребления электроэнергии из промышленного сектора в сектор домашних хозяйств и услуг проходит более медленно по сравнению со Свердловской областью.

Тем более, по данным [35], доля промышленного производства в общем объеме добавленной стоимости регионального продукта в Челябинской области (43 %) превышает аналогичную долю в Свердловской области (37 %). В этой же статье показано, что эластичность темпов роста ВРП по темпам роста промышленного производства в Свердловской области в два раза ниже, чем в Челябинской. Наконец, по данным Росстата, доля инвестиций в промышленное производство от общего

объема инвестиций в основной капитал в Челябинской области за исследуемый период превышает в среднем аналогичный показатель в Свердловской области примерно в два раза.

Важно, что настоящее исследование подтверждает доминирование разных причинно-следственных зависимостей для смежных промышленно-развитых регионов Урала. Несмотря на то, что обе области относятся к группе индустриально развитых, они несколько отличаются по степени доминирования промышленности в экономическом развитии.

На примере этих двух регионов представленное исследование демонстрирует прогностические возможности, содержательность и целесообразность применения эконометрического моделирования при прогнозировании электропотребления путем использования в качестве регрессоров разных наборов экономических переменных для агрегатов регионов, отличающихся друг от друга типом реакции на экзогенные экономические переменные.

Следует отметить в первую очередь, что приведенное в данной статье исследование является оригинальным. Поэтому результаты, полученные в этом анализе причинно-следственных связей, не имеют аналогов.

Сравнивать между собой можно лишь результаты, полученные для субъектов со схожими региональными различиями. Как уже отмечалось выше, региональные особенности Свердловской и Челябинской областей изучались в работах [34, 35]. Но в этих исследованиях не анализировались интересующие авторов причинно-следственные связи. Поэтому сравнивать результаты, полученные в предлагаемой статье, с результатами работ [34, 35] не представляется возможным.

Авторы отдают себе отчет в том, что не все региональные факторы включены

в анализ причинно-следственных связей между исследуемыми переменными сравнимых областей. Это вызвано тем, что эти дополнительные региональные факторы приводят к отсутствию коинтеграции с основными переменными и, как следствие, к отсутствию долгосрочных причинно-следственных связей. Но авторы уверены, что отсутствие этих факторов не влияет на полученные выводы.

Полученные в данном исследовании результаты иллюстрируют объясняющие и прогностические возможности эконометрического подхода в контексте анализа причинно-следственных отношений в экономике двух соседних областей и ее энергетической системы

6. Заключение

В результате исследования выявлены причинно-следственные долгосрочные и краткосрочные взаимосвязи между промышленным электропотреблением и экономическим ростом путем сравнительного анализа двух соседних регионов с примерно одинаковым промышленным потенциалом — Свердловской и Челябинской областей.

При анализе использовался эконометрический подход, основанный на методе тестирования границ моделей авторегрессии и распределенного лага (ARDL), определяющий наличие коинтеграции между временными рядами. Применение этого метода является незаменимым при исследовании региональных проблем ввиду недостаточной длины временных рядов экономических показателей региона. В качестве показателей при сравнительном анализе использовались временные ряды объема

промышленного электропотребления, темпа экономического роста, объема промышленного производства, среднедушевого дохода и среднегодовой численности занятых.

При анализе данных было выявлено, что существенными коинтегрированными переменными для Свердловской области являются темп экономического роста и электропотребление. Соответственно, для Челябинской области этими переменными являются объем промышленного производства, электропотребление и среднегодовая численность занятых.

Таким образом электропотребление Свердловской области в долгосрочном периоде не зависит от объема промышленного производства и численности занятых, а зависит лишь от темпов экономического роста. В Челябинской области, соответственно, в долгосрочном периоде электропотребление зависит от объема промышленного производства, численности занятых и не зависит от темпов роста. Применение тестов на причинность позволило выявить долгосрочные и краткосрочные причинно-следственные взаимосвязи между переменными.

Полученные результаты могут иметь важное значение при анализе электропотребления и энергосбережения в промышленном секторе экономики этих областей. Практическое применение полученных результатов связано с их учетом при разработке рекомендаций по выработке стратегии долгосрочного развития энергетической отрасли, которые позволят оценить влияние электропотребления на экономический рост и объем промышленного производства.

Список использованных источников

1. *Asafu-Adjaye J.* The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries // *Energy Economics*. 2000. Vol. 22, Issue 6. Pp. 615–625. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00050-5)

2. Lee C. C., Chang C. P. Energy consumption and economic growth in Asian economies: a more comprehensive analysis using panel data // *Resource and Energy Economics*. 2008. Vol. 30, Issue 1. Pp. 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.003>
3. Menegaki A. N. Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis // *Energy Economics*. 2011. Vol. 33, Issue 2. Pp. 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.004>
4. Aghdam R. F.Z., Ahmad N., Naveed A., Azar B. B. On the relationship between energy and development: A comprehensive note on causation and correlation // *Energy Strategy Reviews*. 2023. Vol. 46. 101034. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101034>
5. Druzhinin P. V., Shcherbak A. P., Tishkov S. V. Modeling the Interdependence of the Economy and Power Industry Based on Multiplicative Two-Factor Functions // *Studies on Russian Economic Development*. 2018. Vol. 29, Issue 3. Pp. 280–287. <https://doi.org/10.1134/S1075700718030036>
6. Григорьев Л. М., Курдин А. А. Экономический рост и спрос на энергию // *Экономический журнал ВШЭ*. 2013. Т. 17, № 3. С. 390–406. URL: <https://ej.hse.ru/2013-17-3/106450558.html>
7. Куренкова А. Ю., Любимова Н. Г. Анализ и прогноз электропотребления в Алтайском крае // *Вестник университета*. 2018. № 7. С. 97–103. <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2018-7-97-103>
8. Kraft J., Kraft A. On the relationship between energy and GNP // *Journal of Energy and Development*. 1978. Vol. 3, No. 2. Pp. 401–403. URL: <https://www.jstor.org/stable/24806805>
9. Sadorsky P. Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies // *Energy Policy*. 2009. Vol. 37, Issue 10. Pp. 4021–4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
10. Adhikari D., Chen Y. Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis for Developing Countries // *Review of Economics and Finance*. 2013. Vol. 3. Pp. 68–80. URL: <https://ideas.repec.org/a/bap/journal/130206.html>
11. Karanfil F., Li Y. Electricity Consumption and Economic Growth: Exploring Panel-specific Differences // *Energy Policy*. 2015. Vol. 82. Pp. 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.001>
12. Kilinc-Ata N. Assessing the Future of Renewable Energy Consumption for United Kingdom, Turkey and Nigeria // *Foresight and STI Governance*. 2018. Vol. 12, No. 4. Pp. 62–77. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.4.62.77>
13. Apergis N., Payne J. A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus // *Energy Economics*. 2011. Vol. 33, Issue 5. Pp. 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.12.018>
14. Azlina A., Siong H., Mustapha N. Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO2 emission in Malaysia // *Energy Policy*. 2014. Vol. 73. Pp. 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.046>
15. Payne J. On the dynamics of energy consumption and output in the USA // *Applied Energy*. 2009. Vol. 86, Issue 4. Pp. 575–577. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.003>
16. Payne J. A survey of the electricity consumption-growth literature // *Applied Energy*. 2010. Vol. 87, Issue 3. Pp. 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>
17. Wang Y., Wang Y., Zhou J., Zhu X., Lu G. Energy consumption and economic growth in China: a multivariate causality test // *Energy Policy*. 2011. Vol. 39, Issue 7. Pp. 4399–4406. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.063>
18. Ohlan R. Renewable and nonrenewable energy consumption and economic growth in India // *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*. 2016. Vol. 11, Issue 11. Pp. 1050–1054. <https://doi.org/10.1080/15567249.2016.1190801>
19. Caraiiani C., Lungu C., Dascălu C. Energy consumption and GDP causality: A three-step analysis for emerging European countries // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 44. Pp. 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.017>

20. *Belke A., Dobnik F., Dreger C.* Energy consumption and economic growth: new insights into the cointegration relationship // *Energy Economics*. 2011. Vol. 33, Issue 5. Pp.782–789. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.005>
21. *Magazzino C.* Economic growth, CO2 emissions and energy use in Israel // *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2011. Vol. 22, Issue 1. Pp. 89–97. <https://doi.org/10.1080/13504509.2014.991365>
22. *Narayan P. K., Smyth R.* Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel co integration with structural breaks // *Energy Economics*. 2008. Vol. 30, Issue 5. Pp. 2331–2341. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.10.006>
23. *Apergis N., Payne J. E.* CO2 emissions, energy usage, and output in Central America // *Energy Policy*. 2009. Vol. 37, Issue 8. Pp. 3282–3286. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.048>
24. *Mohammad H., Parvaresh, H.* Energy consumption and output: evidence from a panel of 14 oil-exporting countries // *Energy Economics*. 2014. Vol. 41. Pp. 4–46. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.002>
25. *Ugwoke T. I., Dike C. K., Elekwa P. O.* Electricity Consumption and Industrial Production in Nigeria // *Journal of Policy and Development Studies*. 2016. Vol. 10, Issue 2. Pp. 8–19. <https://doi.org/10.12816/0028342>
26. *Pesaran M. H., Shin Y., Smith R. J.* Bounds testing approaches to the analysis of level relationships // *Journal of Applied Econometrics*. 2001. Vol. 16, No. 3. Pp. 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
27. *Toda H., Yamamoto T.* Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes // *Journal of Econometrics*. 1995. Vol. 66, No. 1–2. Pp. 225–250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
28. *Engle R. F., Granger C. W.J.* Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing // *Econometrica*. 1987. Vol. 55, No. 2. Pp. 251–276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
29. *Engle R. F.* Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroscedasticity models // *Journal of Business & Economic Statistics*. 2002. Vol. 20, No. 3. Pp. 339–350. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
30. *Breusch T. S.* Testing for autocorrelation in dynamic linear models // *Australian Economic Papers*. 1978. Vol. 17, No. 31. Pp. 334–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
31. *Godfrey L. G.* Testing for Higher Order Serial Correlation in Regression Equations when the Regressors Include Lagged Dependent Variables // *Econometrica*, 1978. Vol. 46, No. 6. Pp.1303–1313. <https://doi.org/10.2307/1913830>
32. *White H., MacDonald G.* Some Large-Sample Tests for Nonnormality in the Linear Regression Model // *Journal of the American Statistical Association*. 1980. Vol. 75, No. 369. Pp. 16–28. <https://doi.org/10.2307/2287373>
33. *Granger C.* Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods // *Econometrica*. 1969. Vol. 37, No. 3. Pp. 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
34. *Бенц Д. С.* О синхронизации экономик Свердловской и Челябинской областей // *Вестник Челябинского государственного университета*. 2020. № 11 (445). С. 244–253. <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-11129>
35. *Бенц Д. С.* Моделирование факторов экономического роста регионов Урала и РФ // *Journal of New Economy*. 2020. Т. 21, № 3. С. 112–131. <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2020-21-3-6>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Михаил Борисович

Доктор технических наук, руководитель Центра развития и размещения производительных сил Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3043-6302> e-mail: petrov.mb@uiec.ru

Серков Леонид Александрович

Кандидат физико-математических наук, доцент, старший научный сотрудник Центра развития и размещения производительных сил Института экономики Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия (620014, г. Екатеринбург, ул. Московская, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3832-3978> e-mail: serkov.la@uiec.ru

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья подготовлена в соответствии с планом НИР ИЭ УрО РАН на 2023 г.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Петров М. Б., Серков Л. А. Анализ долгосрочных и краткосрочных взаимосвязей между электропотреблением и экономическим ростом в промышленно-развитых регионах России // Journal of Applied Economic Research. 2024. Т. 23, № 1. С. 136–158. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.1.006>

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 12 января 2024 г.; дата поступления после рецензирования 1 февраля 2024 г.; дата принятия к печати 9 февраля 2024 г.

Analysis of Long-Term and Short-Term Relationships between Electricity Consumption and Economic Growth in Industrialized Regions of Russia

Mikhail B. Petrov , Leonid A. Serkov  

*Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

 *serkov.la@uiec.ru*

Abstract. The purpose of the proposed study is to identify long-term and short-term cause-and-effect relationships between industrial electricity consumption and economic growth through comparative analysis of two neighboring regions with approximately the same industrial potential – the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. To solve this problem, an econometric approach is used, based on the method of testing the boundaries of autoregressive and distributed lag (ARDL) models, which determines the presence of cointegration between series. The use of this method is indispensable when studying regional problems due to the insufficient length of time series of economic indicators in the region. The variables in the comparative analysis were industrial electricity consumption, industrial production volume, economic growth rate, per capita income, and average annual number of employees. When analyzing the data, it was revealed that significant cointegrated variables for the Sverdlovsk region are the rate of economic growth and electricity consumption. Accordingly, for the Chelyabinsk region these variables are the volume of industrial production, electricity consumption and the average annual number of employees. That is, the electricity consumption of the Sverdlovsk region in the long term does not depend on the volume of industrial production and the number of employees but depends only on the rate of economic growth. In the Chelyabinsk region, accordingly, in the long term, electricity consumption depends on the volume of industrial production, the number of employees and does not depend on growth rates. Thus, the regions that, at first glance, are similar in industrial potential differ in the cause-and-effect relationships between economic growth and industrial electricity consumption. The use of causality tests made it possible to identify long-term and short-term cause-and-effect relationships between variables. The results obtained in this study illustrate the explanatory and predictive capabilities of the econometric approach in the context of analyzing cause-and-effect relationships in the economy of two neighboring regions and its energy system. These results may be important when analyzing electricity consumption and energy saving in the industrial sector of the economy of these areas.

Key words: bounds testing; cointegration; error correction model; causality test; electricity consumption; economic growth.

JEL C23, Q43, O40

References

1. Asafu-Adjaye, J. (2000). The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries. *Energy Economics*, Vol. 22, Issue 6, 615–625. [https://doi.org/10.1016/S0140-9883\(00\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0140-9883(00)00050-5)
2. Lee, C.C., Chang, C.P. (2008). Energy consumption and economic growth in Asian economies: a more comprehensive analysis using panel data. *Resource and Energy Economics*, Vol. 30, Issue 1, 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2007.03.003>

3. Menegaki, A.N. (2011). Growth and renewable energy in Europe: A random effect model with evidence for neutrality hypothesis. *Energy Economics*, Vol. 33, Issue 2, 257–263. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.10.004>
4. Aghdam, R.F.Z., Ahmad, N., Naveed, A., Azar, B.B. (2023). On the relationship between energy and development: A comprehensive note on causation and correlation. *Energy Strategy Reviews*, Vol. 46, 101034. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101034>
5. Druzhinin, P.V., Shcherbak, A.P., Tishkov, S.V. (2018). Modeling the Interdependence of the Economy and Power Industry Based on Multiplicative Two-Factor Functions. *Studies on Russian Economic Development*, Vol. 29, Issue 3, 280–287. <https://doi.org/10.1134/S1075700718030036>
6. Grigoriev, L.M., Kurdin, A.A. (2013). Economic growth and energy demand. *HSE Economic Journal*, Vol. 17, No. 3, 390–406. (In Russ). Available at: <https://ej.hse.ru/2013-17-3/106450558.html>
7. Kurenkova, A.Yu., Lyubimova, N.G. (2018). Analysis and forecast of electricity consumption in the Altai Territory. *Vestnik Universiteta*, No. 7, 97–103. (In Russ). <https://doi.org/10.26425/1816-4277-2018-7-97-103>
8. Kraft, J., Kraft, A. (1978). On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy and Development*, Vol. 3, No. 2, 401–403. Available at: <https://www.jstor.org/stable/24806805>
9. Sadorsky, P. (2009). Renewable Energy Consumption and Income in Emerging Economies. *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 10, 4021–4028. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.05.003>
10. Adhikari, D., Chen, Y. (2013). Energy Consumption and Economic Growth: A Panel Cointegration Analysis for Developing Countries. *Review of Economics and Finance*, Vol. 3, 68–80. Available at: <https://ideas.repec.org/a/bap/journal/130206.html>
11. Karanfil, F., Li, Y. (2015). Electricity Consumption and Economic Growth: Exploring Panel-specific Differences. *Energy Policy*, Vol. 82, 264–277. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.12.001>
12. Kilinc-Ata, N. (2018). Assessing the Future of Renewable Energy Consumption for United Kingdom, Turkey and Nigeria. *Foresight and STI Governance*, Vol. 12, No.4, 62–77. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.4.62.77>
13. Apergis, N., Payne, J. (2011). A dynamic panel study of economic development and the electricity consumption-growth nexus. *Energy Economics*, Vol. 33, Issue 5, 770–781. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.12.018>
14. Azlina, A., Siong, H., Mustapha, N. (2014). Dynamic linkages among transport energy consumption, income and CO2 emission in Malaysia. *Energy Policy*, Vol. 73, 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.05.046>
15. Payne, J. (2009). On the dynamics of energy consumption and output in the USA. *Applied Energy*, Vol. 86, Issue 4, 575–577. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.003>
16. Payne, J. (2010). A survey of the electricity consumption-growth literature. *Applied Energy*, Vol. 87, Issue 3, 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.034>
17. Wang, Y., Wang, Y., Zhou, J., Zhu, X., Lu, G. (2011). Energy consumption and economic growth in China: a multivariate causality test. *Energy Policy*, Vol. 39, Issue 7, 4399–4406. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.063>
18. Ohlan, R. (2016). Renewable and nonrenewable energy consumption and economic growth in India. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, Vol. 11, Issue 11, 1050–1054. <https://doi.org/10.1080/15567249.2016.1190801>
19. Caraiiani, C., Lungu, C., Dascălu, C. (2015). Energy consumption and GDP causality: A three-step analysis for emerging European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 44, 198–210. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.017>
20. Belke, A., Dobnik, F., Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: new insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, Vol. 33, Issue 5, 782–789. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.02.005>
21. Magazzino, C. (2011). Economic growth, CO2 emissions and energy use in Israel. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, Vol. 22, Issue 1, 89–97. <https://doi.org/10.1080/13504509.2014.991365>

22. Narayan, P.K., Smyth, R. (2008). Energy consumption and real GDP in G7 countries: new evidence from panel co integration with structural breaks. *Energy Economics*, Vol. 30, Issue 5, 2331–2341. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.10.006>
23. Apergis, N., Payne, J.E. (2009). CO2 emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*, Vol. 37, Issue 8, 3282–3286. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.03.048>
24. Mohammad, H., Parvaresh, H. (2014). Energy consumption and output: evidence from a panel of 14 oil-exporting countries. *Energy Economics*, Vol. 41, 4–46. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.11.002>
25. Ugwoke, T.I., Dike, C.K., Elekwa, P.O. (2016). Electricity Consumption and Industrial Production in Nigeria. *Journal of Policy and Development Studies*, Vol. 10, Issue 2, 8–19. <https://doi.org/10.12816/0028342>
26. Pesaran, M.H., Shin, Y., Smith, R.J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, Vol. 16, No. 3, 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
27. Toda, H., Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, Vol. 66, No. 1–2, 225–250. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01616-8](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01616-8)
28. Engle, R.F., Granger, C. (1987). Cointegration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica*, Vol. 55, No. 2, 251–276. <https://doi.org/10.2307/1913236>
29. Engle, R.F. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroscedasticity models. *Journal of Business & Economic Statistics*, Vol. 20, No. 3, 339–350. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
30. Breusch, T.S. (1978). Testing for autocorrelation in dynamic linear models. *Australian Economic Papers*, Vol. 17, No. 31, 334–355. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8454.1978.tb00635.x>
31. Godfrey, L.G. (1978). Testing for higher order serial correlation in regression equations when the regressors include lagged dependent variables. *Econometrica*, Vol. 46, No. 6, 1303–1313. <https://doi.org/10.2307/1913830>
32. White, H., MacDonald, G. (1980). Some large-sample tests for nonnormality in the linear regression model. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 75, No. 369, 16–28. <https://doi.org/10.2307/2287373>
33. Granger, C. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, Vol. 37, No. 3, 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
34. Benz, D.S. (2020). On the synchronization of the economies of the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. *Bulletin of Chelyabinsk State University*, No. 11, 244–253. (In Russ). <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-11129>
35. Benz, D.S. (2020). Modeling factors of economic growth in the regions of the Urals and the Russian Federation. *Journal of New Economy*, Vol. 21, No. 3, 112–131. (In Russ). <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2020-21-3-6>

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Mikhail Borisovich Petrov

Doctor of Technical Sciences, Head of the Center for the Development and Location of the Productive Forces, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia (620014, Yekaterinburg, Moskovskaya street, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3043-6302> e-mail: petrov.mb@uiec.ru

Leonid Aleksandrovich Serkov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Centre for Development and Placement of Productive Forces, Institute of Economics, The Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia (620014, Yekaterinburg, Moskovskaya street, 29); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3832-3978> e-mail: serkov.la@uiec.ru

ACKNOWLEDGMENTS

The article was prepared in accordance with the Research Plan of the Institute of Economics UB RAS for 2023.

FOR CITATION

Petrov, M.B., Serkov, L.A. (2024). Analysis of Long-Term and Short-Term Relationships between Electricity Consumption and Economic Growth in Industrialized Regions of Russia. *Journal of Applied Economic Research*, Vol. 23, No. 1, 136–158. <https://doi.org/10.15826/vestnik.2024.23.1.006>

ARTICLE INFO

Received January 12, 2024; Revised February 1, 2024; Accepted February 9, 2024.

