

## Задачи и методы анализа энергоэффективности экономики



**Лариса Викторовна  
ЧАЙКА**

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми  
научного центра УрО РАН  
Сыктывкар, Республика Коми, Российская Федерация, 167982, ГСП-2,  
ул. Коммунистическая, д. 26  
E-mail: [chayka@energy.komisc.ru](mailto:chayka@energy.komisc.ru)

**Аннотация.** Повышение энергоэффективности производства и энергосбережение входит в число приоритетных задач развития экономики России и ее регионов. Проблемам энергоэффективности уделяется немало внимания в научных исследованиях взаимосвязей развития экономики и энергетики. С целью выбора методического инструментария для региональных исследований выполнен обзор научных публикаций по тематике анализа и оценивания энергоэффективности экономики. В результате обзора выделены актуальные исследовательские задачи: 1) выяснение тенденций и факторов изменений энергоэффективности выбранных объектов; 2) сравнение энергоэффективности однотипных объектов, определение причин различий и возможного потенциала роста; 3) выявление пространственно-временных свойств энергетических переменных и причинно-следственных взаимосвязей между энергопотреблением и экономическим ростом. В соответствии с выделенными исследовательскими задачами обобщены применяемые для их решения подходы и методы статистического анализа, оценивания и эконометрического моделирования. Практические выводы исследований, проводимых для разных стран в разные временные периоды, неоднозначны. В большей части применяемый аналитический инструментарий требует наличия подробной статистической базы данных энергетических и экономических показателей, специального программного обеспечения. Не все выделенные в этом обзоре задачи являются одинаково актуальными в региональных исследованиях. В свете реализации энергосберегающей политики России к первоочередным вопросам следует отнести анализ энергоэкономических трендов регионального развития и факторов, оказывающих наибольшее влияние на их формирование, с использованием методов декомпозиционного, регрессионного и граничного анализа. Межрегиональное сравнение методами кластерного и граничного анализа применимо для целей выяснения картины пространственной дифференциации энергоэффективности

**Для цитирования:** Чайка Л.В. Задачи и методы анализа энергоэффективности экономики // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2018. Т. 11. № 2. С. 117-126. DOI: 10.15838/esc.2018.2.56.8

**For citation:** Chaika L.V. Objectives and methods of analyzing energy efficiency in the economy. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 117-126. DOI: 10.15838/esc.2018.2.56.8

и тенденций ее временной трансформации. Наибольшего внимания заслуживают задачи комплексного эконометрического моделирования региональной экономики с детализацией зависимостей энергетических переменных для создания в каждом регионе России единой системы мониторинга, анализа и прогноза ключевых показателей развития.

**Ключевые слова:** энергоэффективность экономики, энергоемкость, энергопотребление, анализ, эконометрическое моделирование.

**Введение.** Вопросам анализа энергоэффективности (или энергоемкости) уделяется немало внимания в исследованиях тенденций развития экономики и энергетики. Это обусловлено актуальностью взаимосвязанных энергетических и экологических проблем роста экономики, пониманием важности оптимизации энергопотребления и необходимостью выбора эффективных мер управления этим процессом. Для экономики России и ее регионов повышение энергоэффективности производства и энергосбережение входит в число приоритетных задач развития. Для правильного управления необходимо знание общих закономерностей и взаимосвязей энергетики и экономики, учет их региональных, структурных и отраслевых особенностей, также важен мониторинг и анализ происходящих изменений, последствий реализации проводимой энергетической политики.

С целью выбора подходящих инструментов для региональных исследований был проведен обзор научных публикаций по тематике анализа и оценивания энергоэффективности различ-

ных объектов макро- и мезоэкономики. Наличие большого количества зарубежных научных публикаций по вопросам эконометрических методов оценивания энергоэффективности экономики и сравнительно малого числа подобных исследований применительно к российской экономике потребовало обобщений и систематизации направлений и методов, а также критического анализа возможности их применения в исследованиях российской региональной экономики.

**Результаты обзорного исследования.** Актуальные задачи и методы эконометрических исследований уровня и динамики энергоэффективности концентрируются по трем основным направлениям (*таблица*).

К одному из основных направлений исследований относится задача анализа тенденций и оценки влияния факторов динамики энергоэффективности экономики. Известно, что динамика энергоэффективности совокупного производства определяется качеством экономического роста – его темпами, структурными изменениями, технологическим прогрессом.

Задачи и методы анализа энергоэффективности экономики

Задачи исследований	Методы исследований	Публикации
Анализ динамики энергоемкости (энергоэффективности), оценка влияния факторов	Корреляционно-регрессионный анализ	[1–7]
	Декомпозиционный анализ: - индексные методы (IDA – index decompositions analysis), - структурные балансовые модели (SDA – structural decomposition analysis)	[7–13]
Сравнительное оценивание: межстрановые и межрегиональные сравнения; оценка и анализ относительной энергоэффективности	Методы кластерного анализа Граничные методы: Stochastic Frontier Analysis (SFA) – анализ стохастической границы (модель граничного производственного потенциала) Data Envelopment Analysis (DEA) – анализ среды функционирования (анализ оболочки данных, метод огибающих)	[3; 14–20]
Анализ причинно-следственной взаимосвязи между энергопотреблением и производством валового продукта; оценивание свойств и зависимостей энергетических переменных	Методы коинтеграционного анализа временных рядов и панельных данных: тестирование стационарности, коинтеграции, причинности по Грэнджеру, моделирование коинтеграционных зависимостей	[21–31]
	Эконометрическое моделирование производственной функции, включающей энергоресурный фактор $P = f(K, L, E)$	[31; 32]

В международной практике для оценивания влияния факторов снижения энергоемкости валового продукта стран широко используются индексные методы декомпозиционного анализа. Как правило, выделяют три основных фактора, влияющих на энергопотребление: совокупные объемы деятельности, секторальная структура и значения удельной энергоемкости по видам деятельности (товарам и услугам) [10]. Очевидно, что результат оценки вкладов факторов зависит от детальности декомпозиции экономики и энергопотребления. Трудность применения индексных методов декомпозиционного анализа – в наличии подробной статистической базы исходных данных (описание которой представлено в [33]). Еще более детальная информация о производстве, промежуточном и конечном потреблении энергоресурсов необходима для построения таблиц межотраслевого топливно-энергетического баланса («the input–output model»). Отсутствие необходимой региональной статистики обуславливает ограниченное использование индексных методов в исследованиях энергоэффективности региональной экономики России: либо применительно только к анализу потребления электроэнергии ([9]), либо при самостоятельных разработках топливно-энергетических балансов регионов ([8]). Таким образом, использование методов декомпозиционного анализа для оценивания динамики и факторов энергоэффективности экономики регионов РФ возможно, но трудоемко на первичных этапах сбора данных, особенно достоверных сведений о структуре и динамике использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) в привязке к изменениям экономических показателей по выделяемым направлениям производственного и коммунально-бытового энергопотребления.

В большей степени задаче мониторинга региональных тенденций энергоэффективности на основе доступной статистической базы отвечают возможности корреляционно-регрессионного анализа, который также широко применяется в исследованиях энергоэкономической динамики. «Эконометрические характеристики модели позволяют удостовериться в том, что построенная модель адекватна и значима, и дают возможность хотя бы приблизительно оценить вклад каждого из рассматриваемых

факторов модели в итоговый результат – вариацию объясняемой переменной» [34, с. 15]. Наиболее практичным подходом в эмпирических исследованиях энергоэффективности экономики регионов России является регрессионный анализ динамики энергопотребления. Такие свойства общего регионального энергопотребления, как относительная стабильность и значительная доля базовых энергетических потребностей (условно-постоянных), невысокие коэффициенты межгодовой вариации и эластичности к темпам роста объемов валового производства, позволяют аппроксимировать зависимость динамики расхода энергетических ресурсов от основных макроэкономических переменных (периода 5–15 лет) линейными или приближенными к линейным моделями. Если при этом набор объясняющих переменных учитывает особенности структуры энергопотребления и развития экономики региона в рассматриваемый период, то содержательная интерпретация регрессионных моделей позволяет объяснить тенденции и основные факторы динамики энергоэффективности региональной экономики [35].

Другим масштабным направлением исследований является задача сравнения энергоэффективности однотипных объектов с анализом причин различий и оценкой возможного потенциала улучшений. В мировой практике сравнительного анализа экономической эффективности для оценивания границ производственных возможностей используются: непараметрический метод огибающих (DEA – Data Envelopment Approach) и параметрический метод стохастической границы (SFA – Stochastic Frontier Analysis). В зависимости от постановки задачи эти методы позволяют сравнивать относительную эффективность нескольких аналогичных объектов или же оценивать изменения в функционировании одного выбранного объекта в разные моменты времени. Оба метода граничного анализа находят применение в решении задач бенчмаркинга для сравнения энергетической эффективности объектов различного уровня (стран, отраслей, фирм, технологий) [36]. В плане исследовательских возможностей и содержательного анализа результатов предпочтение может быть отдано параметрическому SFA-подходу [37]. Трудность его при-

менения заключается в обоснованном выборе наилучшей спецификации производственной функции для конкретной задачи. Слаборазвитый pre- и post-анализ не позволяет формализовать должным образом необходимость и корректность использования SFA-моделей в каждом конкретном случае, поэтому продолжают исследования средств диагностики моделей и критериев их качества [38].

В то же время методология DEA в практике сравнительного оценивания энергетической эффективности становится все более востребованной. Это убедительно демонстрируют подробные обзоры [39; 40], в которых обобщены тематические направления, рассмотрены основные приложения, варианты моделей, отмечены преимущества и недостатки. Модели DEA не требуют задания вида производственной функции, допускают многофакторные входные и выходные данные, оптимизацию по затратам или результатам деятельности. Метод позволяет сравнивать разномасштабные объекты, определять потенциал и направления улучшения эффективности, учитывать её многокритериальность, что важно для комплексного анализа энергетических и экологических аспектов развития экономики [17] или производственных объектов. К недостаткам непараметрического метода относятся чувствительность результатов к ошибочным данным, проблематичность статистического тестирования гипотез, значимости переменных [36]. Одним из факторов популярности DEA как исследовательского метода является наличие доступного программного обеспечения, позволяющего свести сложность решения реальных практических задач к минимуму [41]. Наличие двух конкурирующих методов граничного анализа (DEA и SFA) предоставляет возможность их совместного использования для решения одной задачи с целью проверки согласованности получаемых результатов.

В региональных исследованиях методы граничного анализа могут применяться для оценивания относительных изменений энергоэффективности конкретного региона в рассматриваемый период времени. При сравнении эффективности экономики разных регионов целесообразно проводить их кластеризацию на однородные группы, учитывающие специфику

регионального энергопотребления и производственную специализацию [3; 15]. Затем, с применением граничных методов, для выделенных «гомогенных» групп регионов может выполняться оценка относительной производственной эффективности, достижимого потенциала и факторов её роста. Однако результаты такого сравнительного анализа будут представлять собой весьма абстрактные заключения из-за условной сопоставимости объектов исследования – объективной нетипичности, уникальности экономики каждого региона России.

Еще одним важным тематическим направлением в исследованиях энергоэффективности выступает задача выявления пространственно-временных закономерностей в свойствах энергетических переменных и их взаимосвязях с параметрами экономики.

Целями исследований нестационарности и коинтеграции временных рядов энергетических и неэнергетических переменных являются выводы о возможном (перманентном или временном) влиянии на экономический рост активной политики энергосбережения (введения мер, ограничивающих использование углеводородного топлива, атомной энергии, стимулирование использования возобновляемых источников энергии), оценивание последствий каких-либо кризисных условий (ограничений в энергообеспечении, ценовых шоков), а также прогнозирование перспективной динамики развития энергетики и экономики [42]. В этом блоке исследований изучаются особенности динамики потребления и производства энергоресурсов для групп и отдельных стран, в разные временные периоды, на агрегированных и дезагрегированных данных (по видам топливно-энергетических ресурсов, секторам). При этом сравниваются результаты различных статистических методов, выявляются методические особенности и надежность тестов применительно к временным рядам различной детализации, со структурными сдвигами и без, чувствительность результатов к учету дополнительных переменных [30; 42]. Как правило, результаты тестирования демонстрируют, что экономический рост и потребление энергии – интегрированные временные ряды первого порядка, между которыми существует долгосрочная коинтеграционная зависимость [31].

В обзорах литературы по тематике взаимосвязи энергопотребления и экономического роста [21; 28; 42; 43] обобщаются главные особенности выполненных эмпирических исследований: в них тестируется роль энергии в стимулировании экономического роста для различных стран и временных периодов, с применением различных методов и моделей; проверяются четыре гипотезы причинно-следственной взаимосвязи (*conservation, growth, feedback, neutrality hypotheses*), имеющие значение для правильного выбора направления энергетической политики; результаты в большей части подтверждают существование статистически значимой взаимосвязи, но выводы относительно направленности этой связи различаются; не наблюдается консенсуса относительно существования и направления причинно-следственных связей между энергопотреблением и экономическим ростом. Из смешанных результатов многочисленных исследований следует важный вывод, что причинно-следственная связь между потреблением энергии и другими переменными со временем изменяется и зависит от локализации и уровня развития экономики [21; 28; 42]. Иными словами, отсутствие согласованных результатов исследований обусловлено перманентной эволюцией самой экономической системы, структурной разнородностью энергетики и экономики как в географическом, так и отраслевом разрезе [44].

Действительно, нет каких-либо оснований ожидать однозначных выводов об энергоэкономических закономерностях в сильно различающихся условиях различных стран и в разные временные периоды. Не требует подтверждения существование в долгосрочном периоде прямой зависимости роста экономики и потребления энергии – необходимого ресурса жизнедеятельности. В мировой экономике положительная взаимосвязь между ростом объема производства и потреблением энергоресурсов сохраняется, хотя эластичность спроса на энергию по показателю выпуска претерпевает изменения [44] в зависимости от стадии развития, специализации и регионализации экономики. Обратное влияние, энергопотребление экономический рост, также объективно в силу действия временных и межотраслевых взаимосвязей, хотя и не однозначно, в большей части проявляется опосредованно, с временными лагами, зависит

от стадии развития и специфики национальной экономики (страна-экспортер/импортер энергоресурсов, структура экономики, темпы роста и взаимосвязи энергоемкого и малоэнергоемкого производства в рассматриваемый период времени). В условиях опережающего развития сферы энергоэффективного производства и услуг, активного внедрения новых технологий реальным становится переход к энергонезависимому росту экономики. Проявления декаплинга (*decoupling* или *neutrality hypotheses*) роста экономики и энергопотребления также находят подтверждение в эмпирических исследованиях новейших тенденций развития мировой экономики [21; 28].

В рассматриваемой тематике изучения энергоэкономических взаимосвязей следует также выделить актуальные задачи анализа динамики энергетических цен, в частности, их влияния на экономический рост, энергопотребление и межтопливную конкурентоспособность. В выводах этого блока исследований, как правило, на уровне национальных экономик отмечается влияние энергетических цен на экономический рост, невысокая ценовая эластичность энергопотребления, низкий уровень взаимозаменяемости основных видов ископаемых топливных ресурсов и значимые ценовые взаимосвязи [24; 27; 44].

Распространенным подходом в исследованиях взаимосвязей экономики и энергетики является построение производственных функций. При моделировании долгосрочных макроэкономических зависимостей стало нормой представление производственной функции валового продукта как функции капитала, труда и потребления энергии [42]. В рамках так называемого KLEMS-подхода [*Capital, Labor, Energy, Materials, Services*] формируются базы данных и проводится анализ тенденций развития мировой экономики [37]. Нередко в исследованиях влияния энергетического фактора спецификацию модели производственной функции дополняют аргументами, уточняющими особенности экономического развития стран (международная торговля, иностранные инвестиции, политическая нестабильность, затраты на НИОКР). Моделирование взаимосвязей факторов производства применяется для выявления экономических и экологических последствий роста энергоэффективности. В том числе уделяет-

ся внимание возможному «эффекту рикошета» от реализации масштабных мер энергосбережения, в результате которых могут формироваться условия, стимулирующие рост потребления энергоресурсов [45]. В региональных исследованиях моделирование производственных функций может применяться для оценивания качественных признаков и параметров экономического роста и среднесрочного прогноза макроэкономической динамики.

**Заключительные замечания.** В обобщение обзора публикаций следует подчеркнуть их преимущественно методическую направленность. Эту особенность проводимых исследований взаимосвязи энергопотребления и экономики отметили Л.М. Григорьев и А.А. Курдин: «Дискуссия ... в значительной мере перешла в спор об эконометрических методах, и этот явный уклон сохраняется до сих пор, в том числе в „отраслевых“ научных журналах по экономике энергетики. При этом концептуальные изменения, касающиеся формирования новых точек зрения непосредственно на предмет исследования, в частности в связи с принципиальными изменениями самого объекта – мировой энергосистемы, – не так часто фигурируют в цитируемых статьях по тематике взаимовлияния экономического роста и динамики потребления энергии» [44, с. 393]. Можно добавить, что выводы по результатам анализа экономических процессов нередко являются аксиоматическими. К таковым, в частности, можно отнести утверждения о том, что энергия – такой же значимый фактор экономического роста, как труд и капитал; развитие экономики в долгосрочной перспективе приводит к росту потребления энергии; нелинейность взаимосвязи энергопотребления и валового производства связана с влиянием структурных сдвигов (экзогенных шоков, технологического прогресса, экономических циклов), а различного рода кризисы на энергетических рынках негативно влияют на экономику. Также нередко заключается, что технологически развитые страны могут реализовывать политику энергосбережения без опасения навредить долгосрочному устойчивому росту экономики, что с ростом энергоэффективности снижаются издержки – это повышает производительность и стимулирует экономическое развитие, а рост цен на энергоресурсы активизирует энергосбережение. В

общем, содержательные выводы выполняемых исследований не всегда адекватны сложности и трудоемкости применяемого методического инструментария. К тому же следует иметь в виду, что выводы, полученные формальными процедурами статистического анализа, не обязательно достоверны, ошибки могут быть вызваны неверной спецификацией модели или погрешностями базы эмпирических данных.

Авторы обзора публикаций по методам анализа энергоэкономических взаимосвязей [42] высказывают озабоченность избыточностью прикладных исследований, не добавляющих нового к тому, что уже известно: «Наш ключевой посыл состоит в необходимости недопущения «избыточности» исследований в этих областях, поскольку большинство прикладных исследований больше не добавляют ничего нового к тому, что уже известно» [42, с. 351]. Наряду с этим пожеланием, следует согласиться и с утверждением, что результаты исследований в этой области, полученные «пусть даже и с помощью наиболее отточенного эконометрического инструментария.. требуют перманентного обновления» [44, с. 405] из-за происходящих структурных сдвигов в экономике, новых тенденций в сфере повышения энергетической эффективности, предложения энергоресурсов и цен на них, факторов энергетической политики.

**Выводы.** В заключение резюмируем востребованность рассмотренных поисковых задач и методов анализа в региональных исследованиях энергоэффективности российской экономики. Как было отмечено, применение большей части методических подходов для анализа и моделирования экономики регионов России затруднительно ввиду недостаточной базы данных статистических наблюдений за энергопотреблением как во временной, так и в структурной детализации. Поэтому важно создание полноценной и надежной информационной базы данных по топливо- и энергопотреблению регионов – необходимой основы для анализа показателей энергоемкости, оценки потенциала и движущих факторов роста энергоэффективности. Не все выделенные выше задачи являются одинаково актуальными в региональных исследованиях. В свете реализации энергосберегающей политики России к первоочередным вопросам следует отнести анализ энергоэкономических

трендов регионального развития и факторов, оказывающих наибольшее влияние на их формирование, с использованием методов декомпозиционного, регрессионного и граничного анализа. Межрегиональное сравнение методами кластерного и граничного анализа полезно для целей выяснения картины пространственной дифференциации энергоэффективности, факторов и тенденций ее временной трансформации. Наибольшего внимания заслуживает задача комплексного эконометрического моделирования региональной экономики с детализацией зависимостей энергетических переменных для создания в каждом регионе России единой системы мониторинга, анализа и прогноза ключевых показателей развития.

Представленная статья носит обзорный характер. Обращает на себя внимание обширный

пласт публикаций зарубежных исследований в области научного анализа энергоэкономических взаимосвязей и относительно низкая активность российских исследователей при несомненной актуальности данной тематики для отечественной экономики. Это обстоятельство послужило обоснованием выполненного обзорного исследования. Анализ тематических публикаций позволил обобщить и систематизировать актуальные задачи и основные методы проводимых эконометрических исследований энергоэффективности экономики. Научной новизной выполненного обзора, по мнению автора, является конкретизация проблемного поля и возможностей выбора методического инструментария применительно к исследованиям энергоэффективности региональной экономики России.

### Литература

1. Кузовкин А.И. Прогноз энергоемкости ВВП России и развитых стран на 2020 г. // Проблемы прогнозирования. 2010. № 3. С. 144-148.
2. Орлов А.В., Юрлов Ф.Ф. Эконометрическое моделирование электроемкости промышленности России // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы, управление производством. 2012. № 2. С. 129-133.
3. Управление энергоэффективностью в контексте новой климатической политики / Н.В. Пахомова, К.К. Рихтер, В.М. Жигалов, А.С. Малова // Экономика региона. 2017. Т.13. Вып.1. С. 183-195. DOI 10.17059/2017-1-17
4. Ратнер С.В. Факторы снижения энергоемкости экономики России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 25(262). С. 2-9.
5. Самарина В.П. Оценка энергоэффективности экономики России в сравнении с другими странами мира и направления ее повышения // АНИ: экономика и управление. 2016. Т. 5. № 3(16). С. 178-182.
6. Kepplinger D., Templ M., Upadhyaya S. Analysis of energy intensity in manufacturing industry using mixed-effects models. *Energy*, 2013, vol.59, pp. 754-763. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544213005768>
7. Löschel A., Pothén F., Schymura M. Peeling the onion: Analyzing aggregate, national and sectoral energy intensity in the European Union. *Energy Economics*, 2015, vol.52, supplement 1, pp.S63-S75. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988315002571?via%3Dihub>
8. Башмаков И. А., Мышак А. Д. Факторный анализ эволюции российской энергоэффективности // Вопросы экономики. 2012. № 10. С.117-131.
9. Богачкова Л.Ю., Хуршудян Ш.Г. Декомпозиционный анализ динамики электропотребления и оценка индексов энергоэффективности регионов РФ // Современная экономика: проблемы и решения. 2016. № 1. С. 8-21. DOI: 10.17308/meps.2016.1/1347
10. Показатели энергоэффективности: основы формирования политики // Международное энергетическое агентство (IEA). 2014. 181 с. URL: <https://www.iea.org/russian/publications>
11. Su B., Ang B.W. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments. *Energy Economics*, 2012, vol. 34, pp. 177-188. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988311002374?via%3Dihub>
12. Voigt S., Cian E.D., Schymura M., Verdolini E. Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement? *Energy Economics*, 2014, vol. 41, pp. 47-62. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988313002405>

13. Zeng L., Xu M., Liang S., Zeng S., Zhang T. Revisiting drivers of energy intensity in China during 1997–2007: A structural decomposition analysis. *Energy Policy*, 2014, vol. 67, pp. 640–647. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151301183X?via%3Dihub>
14. Клименко В.В. Оценка оптимального энергопотребления России и ее федеральных округов с учетом природно-географических условий // Энергосбережение в зеркале промышленной политики. М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации. 2012. С. 5–16. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/3017.pdf> (дата обращения 11.09.2016)
15. Хуршудян Ш.Г. Типология регионов РФ по структуре ВВП как фактору энергоемкости экономики // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3. Экономика. Экология. 2016. № 3(36). С. 66–78. DOI: 10.15688/jvolsu3.2016.3.7.
16. Vampatsou C., Papadopoulos S., Zervas E. Technical efficiency of economic systems of EU-15 countries based on energy consumption. *Energy Policy*, 2013, vol. 55, pp. 426–434. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142151201066X?via%3Dihub>
17. Bian Y., He P., Xu H. Estimation of potential energy saving and carbon dioxide emission reduction in China based on an extended non-radial DEA approach. *Energy Policy*, 2013, vol. 63, pp. 962–971. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513008550?via%3Dihub>
18. Jebali E., Essid H., Khraief N. The analysis of energy efficiency of the Mediterranean countries: A two-stage double bootstrap DEA approach. *Energy*, 2017, vol. 134, pp. 991–1000. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217310575?via%3Dihub>
19. Zhou D.Q., Wua F., Zhou X., Zhou P. Output-specific energy efficiency assessment: A data envelopment analysis approach. *Applied Energy*, 2016, vol. 177, pp. 117–126. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916306961?via%3Dihub>
20. Zhou P., Ang B.W., Zhou D.Q. Measuring economy-wide energy efficiency performance: A parametric frontier approach. *Applied Energy*, 2012, vol. 90, issue 1, pp. 196–200. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911001243?via%3Dihub>
21. Ahmed M., Azam M. Causal nexus between energy consumption and economic growth for high, middle and low income countries using frequency domain analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 60, pp. 653–678. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.174. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015579?via%3Dihub#>
22. Baranzini A., Weber S., Bareit M., Mathys N.A. The causal relationship between energy use and economic growth in Switzerland. *Energy Economics*, 2013, vol. 36, pp. 464–470. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988313000935?via%3Dihub>
23. Burakov D. Elasticity of Energy Intensity on a Regional Scale: An Empirical Study of International Trade Channel. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 2016, vol. 6 (1), pp. 65–75. Available at: <http://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/1565/1007>
24. Costantini V., Martini Ch. The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data. *Energy Economics*, 2010, vol.32, pp. 591–603. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988309001790/pdf?md5=04d8cb1e76ffb0ba6606e10c3a33806f&pid=1-s2.0-S0140988309001790-main.pdf>
25. Farhani S., Solarin S.A. Financial development and energy demand in the United States: New evidence from combined cointegration and asymmetric causality tests. *Energy*, 2017, vol.134, pp. 1029–1037. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217311180?via%3Dihub>
26. Li K., Lin B. The nonlinear impacts of industrial structure on China's energy intensity. *Energy*, 2014, vol. 69, pp. 258–265. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544214002564?via%3Dihub>
27. Miljkovic D., Dalbec N., Zhang L. Estimating dynamics of US demand for major fossil fuels. *Energy Economics Volume*, 2016, vol. 55, pp. 284–291. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988316300330?via%3Dihub>
28. Narayan S. Predictability within the energy consumption–economic growth nexus: Some evidence from income and regional groups. *Economic Modelling*, 2016, vol.54, pp. 515–521. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999316300062>
29. Omay T., Hasanov M., Uçar N. Energy consumption and economic growth: Evidence from nonlinear panel cointegration and causality tests // Прикладная эконометрика. 2014. № 34 (2). С. 36–55.



30. Stern D.I., Enflo K. Causality between energy and output in the long-run. *Energy Economics*, 2013, vol. 39, pp.135-146. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988313000935?via%3Dihub>
31. Streimikiene D., Kasperowicz R. Review of economic growth and energy consumption: A panel cointegration analysis for EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol.59, pp.1545-1549. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211600071X?via%3Dihub>
32. Cantore N., Cali M., Velde D.W.T. Does energy efficiency improve technological change and economic growth in developing countries? *Energy Policy*, 2016, vol. 92, 2016, pp. 279-285. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516300404?via%3Dihub>
33. Показатели энергоэффективности: основы статистики // Международное энергетическое агентство (IEA). 2014. 408 с. URL: <https://www.iea.org/russian/publications/> (дата обращения 21.04.2017)
34. Нижегородцев Р.М., Горидько Н.П., Хакимов З.Р. Принципы построения эконометрических моделей в макроэкономике // Вестник ЮРГТУ(НПИ). 2011. № 2. С. 14-27.
35. Чайка Л.В. Тренды энергоэффективности регионального развития // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2017. № 4. С. 159-169.
36. Li M.-J., Tao W.-Q. Review of methodologies and polices for evaluation of energy efficiency in high energy-consuming industry. *Applied Energy*, 2017, vol.187, pp.203-215. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916316245?via%3Dihub>
37. Подходы к оценке факторов производства и технологического развития национальных экономик: обзор мировой практики / М.Е. Мамонов, А.А. Пестова, Е.М. Сабельникова, А.Ю. Апокин // Проблемы прогнозирования. 2015. № 6. С. 45-57.
38. Малахов Д.И., Пильник Н.П. Методы оценки показателя эффективности в моделях стохастической производственной границы // Экономический журнал ВШЭ. 2013. № 4. С. 660-686.
39. Mardania A., Zavadskas E.K., Streimikiene D., Jusoha A., Khoshnoudia M. A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol.70, pp. 1298-1322. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310875?via%3Dihub>
40. Sueyoshi T., Yuana Y., Goto M. A literature study for DEA applied to energy and environment. *Energy Economics*, 2017, vol. 62, pp. 104-124. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988316303139>
41. Ратнер С.В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // Управление большими системами. 2017. Вып. 67. С. 81-106. URL: [http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ubs&paperid=918&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ubs&paperid=918&option_lang=rus) (дата обращения 26.10.2017)
42. Smyth R., Narayan P.K. Applied econometrics and implications for energy economics research. *Energy Economics*, 2015, vol. 50, pp. 351-358. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314001856?via%3Dihub>
43. Ozturk I. A literature survey on energy-growth nexus. *Energy Policy*, 2010, vol. 38, issue 1, pp. 340-349. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421509007071#!>
44. Григорьев Л.М., Курдин А.А. Экономический рост и спрос на энергию // Экономический журнал ВШЭ. 2013. № 3. С. 390-405.
45. Zhang J., Lawell C.-Y. C.L. The macroeconomic rebound effect in China. *Energy Economics*, 2017, vol. 67, pp. 202-212. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988317302761?via%3Dihub>

### Сведения об авторе

Лариса Викторовна Чайка – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра УрО РАН (167982, Российская Федерация, Республика Коми, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Коммунистическая, д. 26; e-mail: [chayka@energy.komisc.ru](mailto:chayka@energy.komisc.ru))

Статья поступила 26.02.2018.

Chaika L.V.

## Objectives and Methods of Analyzing Energy Efficiency in the Economy

**Abstract.** Energy saving and improving energy efficiency of production are among economic development priorities in Russia and its regions. Energy efficiency issues are given a lot of attention in scientific research on the interrelation of economic and power engineering development. In order to select the methodological tools for regional studies, we have reviewed scientific publications that analyze and evaluate energy efficiency in the economy. As a result of the review, we highlight the relevant research objectives: 1) to clarify the trends and factors leading to changes in energy efficiency of the objects under consideration; 2) to compare the energy efficiency of similar objects, to determine the causes of differences and possible growth potential; 3) to identify the spatiotemporal properties of energy variables and causal relationships between energy consumption and economic growth. In accordance with these research objectives we summarize the approaches and methods of statistical analysis, evaluation, and econometric modeling used to address them. The practical results of the studies carried out for different countries in different time periods are ambiguous. For the most part, the analytical tools used require a detailed statistical database of energy and economic indicators and special software. Not all of the tasks highlighted in this review are equally relevant in regional studies. In the light of the implementation of energy-saving policy in Russia, we consider the following issues to be of top priority: analyzing energy and economic trends in regional development and the factors that have the greatest impact on their formation, using the methods of decomposition, regression and boundary analysis. Interregional comparison with the use of the cluster and boundary analysis is used to clarify the pattern of spatial differentiation of energy efficiency and trends in its temporary transformation. The problems of complex econometric modeling of the regional economy with the detailed description of the dependence of energy variables deserve the greatest attention since they can help create a unified system of monitoring, analyzing and forecasting the key indicators of development in each region of Russia.

**Key words:** energy efficiency of economy, energy intensity, energy consumption, analysis, econometric modeling.

### Information about the Author

Larisa V. Chaika – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Senior Researcher, Institute of Socio-Economic and Energy Problems of the North, Komi Science Center, Ural Branch of RAS (26, Kommunisticheskaya Street, Syktyvkar, 167982, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: chayka@energy.komisc.ru).