

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ПОТРЕБЛЕНИЕМ ЭНЕРГИИ И ВВП В СТРАНАХ МИРА

А. Ю. Корнилова

DOI: 10.33293/1609-1442-2024-2(105)-83-100

EDN: PIBWNI

Аннотация. В статье анализируется влияние потребления энергии на ВВП в различных регионах и странах мира (Америка, Европа, постсоветское пространство, Ближний Восток, Африка, Азиатско-Тихоокеанский регион). Показано, что: 1) между ростом потребления энергии и экономическим развитием при отсутствии внешних эффектов в области энергоэффективности существует прямая линейная причинно-следственная связь; 2) внешние факторы, способствующие повышению эффективности потребления энергии: институциональная среда и научно-технические достижения в области энергоэффективности; изменение структуры экономики в пользу менее энергоемких отраслей. Для описания взаимосвязи между потреблением энергии и экономическим ростом можно использовать модели, основанные на линейной алгебре, например модель Леонтьева. Потребление энергии в различных секторах экономики может иметь как положительную, так и отрицательную взаимосвязь с экономическим ростом. Сокращение доли промышленности и сельского хозяйства не гарантирует одновременного сокращения потребления энергоресурсов в секторе услуг. Между потреблением энергии в секторе услуг, а также в секторе транспорта и экономическим развитием в различных странах мира существует прямая линейная взаимосвязь. Рост потребления энергии в транспортном секторе, сопровождающий экономическое развитие, в ряде стран связан с ростом благополучия населения. Обратная связь, которую демонстрировали некоторые результаты исследования, свидетельствует не о том, что

все исследованные страны более энергоэффективны, а лишь о наличии внешних воздействий, способствующих повышению эффективности потребления энергии. Энергосбережение не является ограничивающим фактором для экономического роста, но оно не возникает в экономической системе без комплекса внешних стимулов в разных секторах экономики.

Ключевые слова: экономическое развитие, ВВП, потребление энергии, физическая экономика, институционализм, институциональная среда, политика повышения энергоэффективности, модель Леонтьева.

Классификация JEL: L94, Q43.

Для цитирования: Корнилова А. Ю. (2024). Взаимосвязь потребления энергии и ВВП в странах мира // Экономическая наука современной России. № 2 (105). С. 83–100. DOI: 10.33293/1609-1442-2024-2(105)-83-100. EDN: PIBWNI

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о том, влияет ли потребление энергоресурсов на экономическое развитие, в последние годы является на международном уровне крайне актуальным. С конца 1970-х годов и до настоящего времени в мире активно продвигается концепция устойчивого развития, которая сочетает экономический, социальный и экологический компоненты, а энергоэффективность играет в этом процессе важнейшую роль. Например, в Китае поставлена цель к 2040 г. остановить рост удельного потребления энергии и ресурсов, а в 2050 г. остановить ухудшение состояния окружающей среды одновременно с улучшением условий жизни.

Тем не менее потребление энергии с каждым годом увеличивается, а «экологическая повестка» становится предметом множества споров. Несмотря на «экологические» ориентиры в последние годы, потребление угля в Евросоюзе за последние два года росло (International Energy Agency, 2023), хотя еще недавно вопрос замены ресурсной и технологической базы энергетики с доминирующей углеродной на возобновляемую представлялся решенным.

© Корнилова А. Ю., 2024 г.

Корнилова Анна Юрьевна, кандидат экономических наук, эксперт, «Meterstartup», Москва, Россия; pgmcjd@yandex.ru; ORCID: 0009-0000-4066-3579

Человечество подошло к тому порогу, когда важно определять ориентиры не на 5–10 лет, а когда необходимо понимать, что более восьми миллиардов человек в будущем будут претендовать на уровень жизни, который был не ниже, чем у предыдущих поколений. А это подразумевает понимание закономерностей, которые определяют использование ресурсов, и объективную оценку возможностей использования энергоресурсов на базе этих законов в течение многих десятилетий до тех пор, пока это перестанет быть проблемой для выживания человека.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Существует множество современных исследований, посвященных проблемам использования влияния потребления энергии на ВВП, однако нет единого мнения ни относительно самой природы влияния, ни касательно того, что является причиной взаимосвязи экономического роста и потребления энергии.

Исследователи, использующие неоклассические модели, выдвигают гипотезу о том, что однонаправленная причинно-следственная связь, идущая от потребления энергии к ВВП, означает такую энергозависимую экономику, где энергия является необходимым условием экономического роста. Исследователи в таком случае предполагают, что любое снижение потребления энергии негативно скажется на экономическом росте.

Есть и иные гипотезы, которые выдвигались в процессе исследований. Гипотеза сохранения взаимозависимости предполагает, что экономический рост определяет потребление энергии (Ozturk, Bilgili, 2015, p. 111), и уменьшение энергопотребления на него не влияет. Гипотеза обратной связи предполагает двунаправленную причинно-следственную связь: потребление энергии влияет на экономический рост и наоборот (Цзянь, Синь, 2022,

с. 136). Гипотеза нейтральности взаимного влияния подразумевает отсутствие причинно-следственной связи между потреблением энергии и экономическим ростом (Liu, 2020; Chen S. T., Chen C. C., Kuo, 2007, p. 2511). Однако данные гипотезы были подтверждены только в отношении отдельных стран, и существующие экономические теории не дают теоретического объяснения таким процессам. Поэтому в настоящем исследовании они не проверяются на достоверность.

Сторонники институционального направления объясняют зависимость экономического роста от потребления энергии за счет действия институциональных детерминант. С позиций объяснения причин влияния экономического развития на потребление энергии представляет интерес работа Ф. Ислама с соавторами (Islam et al., 2012, p. 441), в которой показано, что развитие финансовой сферы может привести к более эффективному использованию источников энергии и, таким образом, снизить затраты на потребление энергии. Более того, растущее экономическое процветание, зависящее от финансового развития, может также послужить поводом эффективного расходования денег и, следовательно, увеличения потребления энергии. Таким образом, влияние экономического роста на потребление энергии представляется опосредованным, институциональные факторы определяют как траекторию экономического развития, так и потребление энергии, а значит, следует утверждать не наличие двусторонней связи, а существование внешних факторов, которые на нее влияют.

Хотя понятие «энергоэффективность» применяется со времен первого нефтяного кризиса 1973 г., до сих пор имеется немного работ, объясняющих противоречия в факторах, определяющих потребление энергии. Работа Р. Йорка, написанная по данным о расходе топлива автомобилями в США, показывает, что технологические достижения в области автомобильных двигателей не привели к уменьшению потребности в топливе (York, 2006, p. 147). Причиной этому является увеличение расстояния, преодолеваемого автомобилями, и рост

числа автомобилей на душу населения. Здесь возникает предположение о другой причине роста затрат ресурсов, не связанной со снижением цен или повышением их доступности: экономическое развитие сопровождается повышением уровня жизни и, как следствие, затрат на поддержание такого уровня. Д. Тилтон аналогично объясняет, что рост эксплуатации ресурсов начиная с 1970-х годов обусловлен, наряду с достижениями в области технологий и резким ростом населения планеты, повышением уровня жизни (Tilton, 2003, p. 15).

Представление, альтернативное неоклассическому направлению, является физической экономикой, которая представляет, что в процессе развития человека растет энерговооруженность труда (Корнилова, 2023, с. 18), т.е. любая экономика энергозависима, а рост потребления энергоресурсов, сопровождающий экономическое развитие, в таком случае является логичным. Однако гипотеза о влиянии потребления приводит к иному заключению. Те страны, которые стремятся повышать мощности использования ресурсов, таким образом повышают энергоэффективность. Снижение потребления энергии в результате политики энергосбережения должно базироваться на «потенциальной возможности» использовать энергоресурсы (в представлении физической экономики П.Г. Кузнецова), а не только уменьшать их количественно. И это может положительно отразиться на экономическом росте.

Физическая экономика и институциональное направление экономической науки представляются адекватными подходами для выявления причин влияния энергоресурсов на экономический рост. Однако в физической экономике существует недостаток практических исследований, в то же время в институционализме нет подходящих моделей для такого анализа. Поэтому для преодоления данных ограничений в настоящей работе выводы обоснованы, опираясь не на определенный теоретический подход, а на разработки и гипотезы отдельных исследователей в данной области.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время наблюдается мало исследований, посвященных взаимосвязи между потреблением энергии и общемировым ВВП, а также анализу большой выборки стран, которые объясняли бы общемировую закономерность. Однако имеется большое число исследований, сфокусированных на отдельных видах энергии и отдельных странах и регионах (Кустова и др., 2021; Kayani, 2021; Рева, 2019; Zaidi, Gmidien, Saidi, 2017 и др.). В то же время различные методы исследования дали противоречивые результаты для отдельных стран. Например, для США некоторые исследователи (Akarca, 1980; Yu, Hwang, 1984) не обнаружили взаимосвязи между энергопотреблением и экономическим ростом, тогда как другие (Abosedra, Baghestani, 1989), используя иные методики анализа, нашли прямую, а также (Stern, 2000) обратную взаимосвязь.

Результаты исследования более 100 стран Л.С. Ханта и др. (Hunt, Pierse, Chontanawat, 2006) выявили причинно-следственную связь между потреблением энергии и ВВП, и то, что эта связь сильнее для развитых стран ОЭСР в сравнении с развивающимися. Однако в настоящее время в связи серьезными изменениями во внешнеполитической и экономической сферах, когда возникают новые экономические союзы стран (БРИКС, ЕАЭС, ШОС) и усиливается влияние других регионов в мире, не относящихся к ОЭСР, таких как Юго-Восточная Азия, подобное разделение не предоставляет информации для дальнейшего анализа. Несмотря на большое число исследований, открытым остается вопрос относительно того, является ли прямая взаимосвязь между потреблением энергии и экономическим ростом общемировой закономерностью, и по каким причинам отдельные страны могут демонстрировать отклонение от данной закономерности. В связи с этим в настоящем исследовании изучается

влияние национальных показателей потребления на экономическое развитие.

В основном работы, посвященные взаимосвязи между потреблением энергии и темпом экономического роста, сосредоточены на производственных функциях, которых они дополняют потреблением энергии. Многочисленные эмпирические исследования базируются на спецификации модели Солоу – неклассической производственной функции Кобба–Дугласа для интеграции потребления энергии с реальным ростом ВВП, преобразовывая ее в виде (Цзянь, Синь, 2022, с. 135; Peković, 2023, p. 77; Sharaf, 2016, p. 60; Gozgor, Lau, Lu, 2018, p. 27):

$$\log GBP = \alpha + \beta FEC + \sigma L + \gamma K, \quad (1)$$

где GBP – ВВП на душу населения; FEC – итоговое потребление энергии на человека; L – затраты труда; K – затраты капитала; α , β , δ , γ – коэффициенты эластичности.

Поэтому часто в анализах используются методы исследования взаимосвязи, основанные на предположении о нелинейной зависимости потребления и экономического роста (тест причинно-следственной связи Тоды–Ямамото, VAR, VECM, причинно-следственная связь Грейнджера, коинтеграция Йохансена–Юзелиуса и др.)

П.Г. Кузнецов, являющийся одним из основоположников физической экономики, предполагал, что для описания характера зависимости между потреблением энергии и экономическим ростом более подходящей представляется модель «затраты-выпуск» Леонтьева. Подход физической экономики представляет интерес для объяснения причин влияния затрат ресурсов на развитие, поэтому в исследовании проверяется гипотеза о наличии линейной зависимости между переменными экономического роста и энергопотребления, т.е. представление конечного продукта из компонентов затрат с помощью линейной алгебры (преобразовывая уравнение матрицы Леонтьева):

$$GBP = FEC(E - A), \quad (2)$$

где GBP – ВВП на душу населения (выпуск конечной продукции); FEC – итоговое потребление энергии на человека (совокупный выпуск ресурсов для всех отраслей; E , A – матричные коэффициенты.

В рамках использования логики П.Г. Кузнецова следует отметить три важных момента.

1. При рассмотрении энергии как физической характеристики можно утверждать, что для экономических явлений такой фактор, как энергия, потребляется одновременно и влияет на процессы, происходящие в данный момент времени. В соответствии с современными знаниями физики передача энергии от генераторов к источникам потребления происходит гибко и быстро, скорость которой измеряется долями секунды. Таким образом, предположительно, потребление энергии в экономической системе не должно демонстрировать накопительных эффектов. Например, тест Грейнджера, использующий значения предыдущих временных рядов, не подходит для проверки статистической гипотезы в таком случае. Временной лаг может означать, что энергия предыдущего периода была использована для производства товаров и услуг либо создания основных средств, которые проданы и используются в текущем периоде (году). Но данная ситуация не является распространенной в экономической практике. Поэтому логично предполагать, что в таком случае взаимосвязь между ВВП и потреблением энергии прямая линейная.

2. П.Г. Кузнецов рассматривает энергию как основу общественного воспроизводства, т.е. энергетический фактор не является одним из общего ряда факторов – как это представляет, например, неоклассическая теория. По сути, энергия – эта сила, на основе которой развивается не только производство, но и вся экономика. Несмотря на то что понимание роли энергии как основного фактора развития экономики может быть спорным, нельзя отрицать, что потребление энергоресурсов влияет на многие аспекты экономики. При этом в современном мире потребление

энергии может присутствовать в цепочке производства и продажи даже тех товаров и услуг, для которых традиционно применялся ручной труд. Цифровизация документооборота, развитие логистики, распространение Интернета по всему миру повышает потребление энергии в обществе.

3. П.Г. Кузнецов приводит следующую формулу, связывающую экономическое развитие с потреблением энергии (Кузнецов, 2015, с. 173):

$$\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{t} = \sum_{i=1}^n X_i t = \sum_{i=1}^n N_i \eta_i \varepsilon_i, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{t}$ – суммарная скорость выпуска продукта по народному хозяйству в целом (выпуск продукции, произведенный в единицу времени); $\sum_{i=1}^n X_i t$ – выпуск продукта i ; $\sum_{i=1}^n N_i$ – мощность, потребляемая выпуском продукта i ; $\eta_i(t)$ – коэффициент полезного действия; $\varepsilon_i(t)$ – коэффициент связи с общественным производством продукта i .

Следует отметить, что на скорость выпуска продукции (величина валового выпуска продукции, произведенного в единицу времени) влияют и иные факторы, не участвующие в данной формуле, например, производительность живого труда. Но данная формула приводит к некоторым выводам. Энергоэффективность может увеличиваться за счет повышения КПД средств производства, которые генерируют энергию, что, в свою очередь, может быть следствием технологических изменений. На скорость выпуска продукции также влияют организационные изменения, которые характеризует коэффициент связи с общественным производством. В то же время структурные изменения в экономике, которые увеличивают доли потребления менее энергоемких отраслей экономики, не приводят к повышению энергоэффективности отдельных компонентов системы, а значит, и системы в целом. Таким образом, два основных фактора – технологический и организационный –

являются источниками повышения энергоэффективности, поэтому необходим анализ причин, которые приводят к изменению экономического развития в результате снижения или повышения потребления энергии.

Поскольку энергетический фактор играет крайне важную роль в процессе воспроизводства, для понимания характера взаимосвязи между экономическим развитием и потреблением энергии целесообразно в первую очередь использовать метод простой линейной регрессии (SRL) классической статистики, т.е. проверить характер взаимосвязи между y_i (экономическим ростом) и x_i (потреблением энергии) с использованием модели:

$$y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i, \quad (4)$$

где α и β – оценочные значения; ε_i – остатки.

Лучше всего в рамках данного анализа в качестве фактора экономического развития подходит такая детерминанта, характеризующая производительность, как, например, ВВП на душу населения. Данные о потреблении энергии получены из международной энергетической статистики (Energy Institute, 2023), о ВВП (в национальной валюте и долл. США) – из показателей мирового развития (WDI), опубликованных Всемирным банком (World Bank, 2023). Анализ охватывает период с 1973 по 2022 г. (в зависимости от доступности данных, а также их корректного использования). Все переменные выражены в расчете на душу населения.

Также в работе изучается влияние отдельных составляющих потребления энергии (x_{1i}) на экономический рост:

$$y_i = \alpha + \beta_1 z_{1i} + \beta_2 z_{2i} + \beta_3 z_{3i} + \beta_4 z_{4i} + \beta_5 z_{5i} + \varepsilon_i, \quad (5)$$

где z_{1i} – потребление энергии в секторе промышленности; z_{2i} – потребление энергии в секторе транспорта; z_{3i} – потребление энергии в секторе сельского хозяйства; z_{4i} – потребление энергии в жилом секторе; z_{5i} – потребление энергии в секторе услуг; z_{5i} – прочее потребление энергии; α и $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ – оценочные значения; ε_i – остатки.

При этом:

$$x_i = z_{1i} + z_{2i} + z_{3i} + z_{4i} + z_{5i}, \quad (6)$$

где x_i – совокупное потребление энергии (из формулы (7) ниже).

Данные о потреблении энергии для этой части анализа рассчитаны на основе сведений о потреблении энергии в целом и в разрезе секторов (IEA, 2023), а также численности населения – из показателей мирового развития (WDI), опубликованных Всемирным банком (World Bank, 2023) за период с 1990–2019 гг. Те же данные о потреблении энергии в разрезе стран мира в целом использованы в дальнейшем для оценки методом множественной регрессии.

Для методологической корректности оценки влияния энергии на развитие экономики y_i в работе использован метод множественной линейной регрессии (MLR) вида:

$$y_i = \alpha + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \varepsilon_i, \quad (7)$$

где x_{1i} – потребление энергии; x_{2i} – потребление сырой стали; x_{3i} – затраченное рабочее время; α и $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – оценочные значения; ε_i – остатки.

Уравнение регрессии (4) построено на основе показателей потребления энергии на душу населения (описанных выше), показателей потребления сырой стали на душу населения (World Steel Association, 2024), а также среднегодового рабочего времени, затраченного сотрудником (Groningen Growth and Development Centre, 2024) в разрезе анализируемых стран за период с 1990–2019 гг.

Поскольку целью исследования является не построение модели, объединяющей параметры энергопотребления с экономическим ростом, а определение характера влияния энергопотребления на экономическое развитие, то настоящая работа имеет свои особенности:

- изучается влияние потребления энергии в целом и в разрезе отдельных секторов на ВВП в разных странах мира, которые сгруппированы по пространственному признаку;
- используется тест причинно-следственной линейной и множественной связи классической статистики;

- данные ВВП для отдельных стран использованы в национальной валюте для уменьшения влияния курса доллара на результат (в отличие от большинства исследований, использующих ВВП в долл.).

Исследование методом множественной регрессии имеет ограничения в силу недоступности открытых статистических данных о потреблении стали и используемом рабочем времени для некоторых стран.

В работе используются методы корреляционно-регрессионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для корреляционно-регрессионного анализа зависимости ВВП от потребления энергии в мире был использован программный продукт JASP. Результаты корреляционно-регрессионного анализа для отдельных стран следующие (табл. 1).

1. Для оценки значимости наблюдаемых различий между потреблением и экономическим ростом был использован t -критерий Стьюдента, который оказался значимым для всех 70 групп наблюдений с вероятностью $p \leq 0,015$, т.е. взаимосвязь между исследуемыми переменными статистически значима.

2. Коэффициенты корреляции (Пирсона) значимы для 60 стран из 70 стран мира с вероятностью $p < 0,05$. Распределение результатов следующее.

- Линейная прямая связь наблюдается у 46 стран из 70 (Коэффициент Пирсона $> 0,1$, коэффициенты регрессии положительные).

Коэффициент Пирсона значим для 46 стран из 70, причем для большинства (32 страны) из таких регионов, как Австралия, Новая Зеландия и Юго-Восточная Азия (Австралия, Бангладеш, Китай, Индия, Индонезия, Япония, Малайзия, Пакистан, Филиппины, Сингапур, Южная Корея, Шри-Ланка, Вьетнам), Южная и Центральная Америка (Бразилия, Чили, Колумбия, Эквадор, Перу,

Таблица 1

Результаты корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи потребления энергии и экономического развития в разрезе отдельных стран мира методом линейной регрессии

Регион	Коэффициент корреляции	Коэффициент регрессии β	t-критерий Стьюдента	Статистическая значимость корреляции	Наблюдаемый период, годы	Число наблюдений
<i>Северная Америка</i>						
Канада	0,238	216,447	-13,145***	статистически не значима	1973–2022	50
Мексика	0,738***	5165,220***	-6,779***	статистически значима	1973–2022	50
США	-0,775***	-655,126***	-12,649***	статистически значима	1973–2022	50
<i>Южная и Центральная Америка</i>						
Аргентина	0,310	13892,028	-2,572*	статистически не значима	1990–2022	33
Бразилия	0,901***	5,052 $\times 10^{-4}$ ***	-8,052***	статистически значима	1993–2022	29
Чили	0,889***	152710,877***	-6,728***	статистически значима	1973–2022	50
Колумбия	0,914***	1,365 $\times 10^{+6}$ ***	-6,210***	статистически значима	1973–2022	50
Эквадор	0,817***	154,154***	-11,387***	статистически значима	1973–2022	50
Перу	0,977***	1092,978***	-9,240***	статистически значима	1986–2022	32
Тринидад и Тобаго	0,931***	264,586***	-8,198***	статистически значима	1973–2022	50
<i>Европа</i>						
Австрия	0,708***	596,835***	-13,957***	статистически значима	1973–2022	50
Бельгия	0,451**	225,958*	-13,807***	статистически значима	1973–2022	50
Болгария	0,546**	478,311*	-8,651***	статистически значима	1997–2022	26
Хорватия	0,507**	285,197*	-13,907***	статистически значима	1995–2022	28
Кипр	0,699***	278,848***	-10,881***	статистически значима	1975–2022	48
Чехия	-0,380*	-6449,112*	-12,204***	статистически значима	1990–2022	33
Дания	-0,573***	-3549,877***	-13,411***	статистически значима	1973–2022	50
Эстония	0,503**	154,082*	-8,853***	статистически значима	1995–2022	28
Финляндия	0,503***	242,852***	-12,268***	статистически значима	1973–2022	50
Франция	0,218	134,962	-14,727***	статистически не значима	1973–2022	50
Германия	-0,834***	-715,139***	-15,434***	статистически значима	1973–2022	50
Греция	0,877***	357,835***	-9,445***	статистически значима	1973–2022	50
Венгрия	-0,194	-60722,456	-8,399***	статистически не значима	1993–2022	32
Исландия	0,938***	17 044,489***	-7,568***	статистически значима	1973–2022	50
Ирландия	0,546***	588,179***	-7,966***	статистически значима	1973–2022	50
Италия	0,404**	389,722*	-12,132***	статистически значима	1973–2022	50
Латвия	0,814***	485,267***	-8,608***	статистически значима	1995–2022	28
Литва	-0,425*	-219,144*	-8,709***	статистически значима	1995–2022	28
Люксембург	-0,548***	-293,883***	-10,324***	статистически значима	1973–2022	50
Нидерланды	0,142	134,200	-14,213***	статистически не значима	1973–2022	50
Северная Македония	-0,531**	-13 363,084*	-11,410***	статистически значима	1992–2022	30
Норвегия	0,259	1648,814	-9,753***	статистически не значима	1973–2022	50
Польша	0,321	1159,639	-8,583***	статистически не значима	1990–2022	33
Португалия	0,924***	284,009***	-9,777***	статистически значима	1973–2022	50
Румыния	-0,604***	-1992,402***	-6,131***	статистически значима	1992–2022	30
Словакия	-0,792***	-368,558***	-10,277***	статистически значима	1990–2022	33
Словения	-0,330	-216,785	-14,120***	статистически не значима	1995–2022	28
Испания	0,867***	336,233***	-10,824***	статистически значима	1973–2022	50

Окончание табл. 1

Регион	Коэффициент корреляции	Коэффициент регрессии β	t -критерий Стьюдента	Статистическая значимость корреляции	Наблюдаемый период, годы	Число наблюдений
Швеция	-0,599***	-3577,448***	-11,807***	статистически значима	1973–2022	50
Швейцария	-0,678***	-576,883***	-26,240***	статистически значима	1980–2022	43
Великобритания	-0,707***	-441,011***	-11,088***	статистически значима	1973–2022	50
<i>Постсоветское пространство</i>						
Азербайджан	0,365	253,176	-6,388***	статистически не значима	1996–2022	27
Казахстан	0,697***	46 662,734***	-5,311***	статистически значима	1992–2022	30
Россия	0,682***	16 840,961***	-5,821***	статистически значима	1992–2022	30
<i>Ближний Восток</i>						
Турция	0,748***	1764,297***	-3,638***	статистически значима	1990–2022	33
Иран	0,616***	3,469×10 ⁺⁶ ***	-2,999**	статистически значима	1973–2022	50
Ирак	0,370**	78 998,582*	-5,774***	статистически значима	1973–2022	50
Израиль	-0,752***	-3782,197***	-17,967***	статистически значима	1995–2022	28
Кувейт	0,803***	30,760***	-5,821***	статистически значима	1992–2022	30
Оман	0,951***	28,453***	-10,211***	статистически значима	1973–2022	50
Катар	0,215	112,071	-9,795***	статистически не значима	1973–2022	50
Саудовская Аравия	0,813***	345,984***	-13,038***	статистически значима	1973–2022	50
Арабские Эмираты	-0,426**	-91,068*	-29,037***	статистически значима	1975–2022	48
<i>Африка</i>						
Алжир	0,704***	11 676,745***	-6,687***	статистически значима	1973–2022	50
Египет	0,626***	1349,061***	-4,626***	статистически значима	1973–2022	50
Марокко	0,989***	1922,810***	-10,803***	статистически значима	1973–2022	50
<i>Азиатско-Тихоокеанский регион</i>						
Австралия	0,704***	781,947***	-10,432***	статистически значима	1973–2022	50
Бангладеш	0,934***	19 242,233***	-5,183***	статистически значима	1973–2022	50
Китай	0,958***	744,506***	-5,343***	статистически значима	1973–2022	50
Индия	0,943***	7751,086***	-5,554***	статистически значима	1973–2022	50
Индонезия	0,852***	2,065×10 ⁺⁶ ***	-5,279***	статистически значима	1973–2022	50
Япония	0,770***	43061,111***	-24,559***	статистически значима	1973–2022	50
Малайзия	0,930***	337,836***	-8,407***	статистически значима	1973–2022	50
Новая Зеландия	0,455***	431,006***	-11,076***	статистически значима	1973–2022	50
Пакистан	0,794***	17 388,846***	-5,278***	статистически значима	1973–2022	50
Филиппины	0,882***	19 510,730***	-7,388***	статистически значима	1973–2022	50
Сингапур	0,937***	179,120***	-9,983***	статистически значима	1973–2022	50
Южная Корея	0,949***	158 148,464***	-7,905***	статистически значима	1973–2022	50
Шри Ланка	0,912***	59 641,521***	-5,022***	статистически значима	1973–2022	50
Вьетнам	0,985***	2,130×10 ⁺⁶ ***	-5,165***	статистически значима	1985–2022	38

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Расчеты автора.

Тринидад и Тобаго), Африка (Алжир, Марокко), Ближний Восток (Турция, Кувейт, Оман, Саудовская Аравия), коэффициент Пирсона имеет значение больше 0,7, т.е. линейная за-

висимость между переменными потребления и экономическим ростом сильная. Для 14 стран результаты анализа также демонстрируют линейную взаимосвязь, но она либо

умеренная (коэффициент Пирсона от 0,3 до 0,5) – Бельгия, Италия, Ирак, Новая Зеландия, либо заметная (коэффициент Пирсона от 0,5 до 0,7) – Болгария, Хорватия, Кипр, Эстония, Финляндия, Ирландия, Казахстан, Россия, Иран, Египет. Коэффициент регрессии положителен для данных стран, что свидетельствует о наличии прямой линейной взаимосвязи между переменными.

- Линейная обратная связь наблюдается у 14 стран из 70 (коэффициент Пирсона $< -0,1$; коэффициенты регрессии отрицательные).

У следующих стран наблюдается обратная линейная связь между экономическим ростом и энергопотреблением. Иными словами, ВВП определяет потребление энергии – США, страны Европы (Чехия, Дания, Германия, Литва, Люксембург, Северная Македония, Румыния, Словакия, Швеция, Швейцария, Великобритания), а также некоторые страны Ближнего Востока (Израиль, Арабские Эмираты).

3. Статистически незначимыми коэффициенты корреляции Пирсона являются для 10 стран: Канады, Аргентины, Франции, Венгрии, Нидерландов, Норвегии, Словении, Польши, Катар, а также Азербайджана.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа свидетельствуют о наличии прямой линейной связи между ростом потребления энергии и экономическим развитием у большинства исследуемых стран. Однако статистика для США, некоторых стран Европы и Ближнего Востока является противоречивой и требует дальнейшего анализа.

В табл. 2 даны результаты оценки влияния потребления энергии на экономическое развитие методом множественной регрессии. Проблемой такого рода анализа является то, что каждая страна имеет свои факторы роста, которые невозможно использовать как универсальные для других. Однако предполагается, что потребление стали как ресурса, участвующего в процессе производства во многих отраслях, в том числе и высокотехнологичных, а также затраты живого труда, выраженные в среднегодовых затратах рабо-

чего времени, влияют на развитие экономики в большинстве стран.

Несмотря на различные источники данных о потреблении энергии и исследуемый диапазон наблюдений, используемые в анализе различными методами, в итоге выяснилось, что характер взаимосвязи между потреблением энергии и ВВП имеет сходства:

1. Из 51 наблюдений 26 имеет значимую взаимосвязь с $p < 0,05$ и ниже. Причем для 18 стран выявлена прямая линейная взаимосвязь, а для 8 – обратная. Для других стран коэффициент регрессии (или уравнение регрессии) оказался статистически незначимым. Причиной может быть недостаток других детерминант модели либо иная ее спецификация, имеющая особенности в зависимости от страны.

2. Так же как и в оценках методом линейной регрессии, выше в ряде стран, в которых существует прямая линейная взаимосвязь, есть такие группы стран, как в Латинской Америке (Бразилия и Перу), Европе (Болгария, Хорватия, Финляндия, Греция, Исландия, Латвия, Португалия, Испания), Азиатско-Тихоокеанском регионе (Бангладеш, Индия, Малайзия, Сингапур). Для всех этих стран нестандартизированный коэффициент регрессии положительный, коэффициент и уравнение регрессии значимы с $p < 0,05$ и ниже.

3. Аналогично результатам описанного выше анализа обратная линейная взаимосвязь наблюдается у таких стран, как США, Чехия, Дания, Франция, Словакия, Швеция, Великобритания – отрицательный коэффициент регрессии и уравнение значимы с высоким уровнем достоверности ($p < 0,05$ и ниже).

Таким образом, применение метода множественной регрессии также показывает существование положительного влияния такого признака, как потребление энергии, на экономический рост в том же ряде стран мира, что и при использовании метода линейной регрессии. При этом выйти за рамки данного влияния за рассматриваемый период смогла небольшая группа стран, которые де-

Таблица 2

Результаты корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи потребления энергии и экономического развития в разрезе отдельных стран мира методом множественной регрессии (расчеты автора)

Регион	Коэффициент регрессии			R^2	F -статистика	Наблюдае- мый период, годы	Число на- блюдений
	потребление энергии	потребление сырой стали	затраты рабо- чего времени				
Северная Америка							
Канада	−0,171	46,731***	−330,868***	0,937	39,417***	1990–2019	29
Мексика	1,413	976,308***	−90,525	0,692	6,448*	1990–2019	29
США	−0,788*	−58,447	63,484	0,526	28,783***	1990–2019	29
Южная и Центральная Америка							
Аргентина	4,953	−420,562	−878,744	0,561	7,135*	1993–2019	26
Бразилия	1,534**	−107,187*	−78,739*	0,960	185,519***	1994–2019	25
Чили	−92,301*	4466,302	−24024,287***	0,981	160,838***	1990–2019	29
Колумбия	−983,423	266 151,819***	−21598,311	0,699	0,217	1990–2019	29
Эквадор	0,239***	23,069***	−3,713**	0,964	79,866***	1990–2019	29
Перу	1,234***	74,542***	−49,579*	0,971	566,364***	1990–2019	29
Тринидад и Тобаго	н/д	н/д	н/д				
Европа							
Австрия	0,204***	11,641**	−80,578***	0,975	38,995***	1990–2019	29
Бельгия	н/д	н/д	н/д				
Болгария	0,873***	−11,220	−96,632**	0,716	26,950***	1997–2019	22
Хорватия	0,339***	−0,070	−29,001***	0,847	51,213***	1995–2019	24
Кипр	0,521*	−7,400	−92,258***	0,772	0,002	1995–2019	24
Чехия	−5,330*	616,718***	−410,039	0,884	10,762**	1993–2019	26
Дания	−5,120*	−282,452	−289,665	0,484	20,907***	1990–2019	29
Эстония	0,219	22,011***	−50,442***	0,946	27,464***	1995–2019	24
Финляндия	0,127**	17,263**	−167,700***	0,971	10,984**	1990–2019	29
Франция	−0,426***	−17,032	−84,737***	0,914	31,224***	1990–2019	29
Германия	−0,275	12,180	−94,310***	0,870	23,196***	1990–2019	29
Греция	0,610***	−11,044	−87,570***	0,818	15,315***	1990–2019	29
Венгрия	−4,471	12 789,125***	−7591,227***	0,873	40,793***	1991–2019	28
Исландия	14,885**	2599,156	−14743,947***	0,934	181,802***	1993–2019	26
Ирландия	−0,276	140,577*	−170,457***	0,742	3,966	1990–2019	29
Италия	0,379***	7,733	−93,285***	0,913	1,494	1990–2019	29
Латвия	0,530***	−5,980	3,651	0,885	168,839***	1995–2019	24
Литва	0,376***	−0,238	10,086	0,941	305,721***	1995–2019	24
Люксембург	н/д	н/д	н/д				
Нидерланды	1,000***	−1,162×10 ^{−16}	0,006	0,488	1,481×10 ^{−34}	1995–2019	24
Северная Македония	н/д	н/д	н/д				
Норвегия	н/д	н/д	н/д				
Польша	−0,426	90,112***	−349,737***	0,907	25,180***	1995–2019	24
Португалия	0,538***	−29,436	−67,055*	0,614	16,286***	1990–2019	29
Румыния	0,067	120,728	−356,401***	0,726	3,837	1995–2019	24
Словакия	−0,352**	26,690***	26,690***	0,814	9,892**	1994–2019	25
Словения	0,170	0,812	−99,070***	0,799	6,458*	1995–2019	24
Испания	0,480***	−11,387	−161,398***	0,919	9,836**	1990–2019	29

Окончание табл. 2

Регион	Коэффициент регрессии			R^2	F -статистика	Наблюдае- мый период, годы	Число на- блюдений
	потребление энергии	потребление сырой стали	затраты рабо- чего времени				
Швеция	-7,603***	303,373**	878,033***	0,924	103,867***	1990–2019	29
Швейцария	0,403	45,564	-190,119***	0,833	27,253***	1990–2019	29
Турция	2,642***	-71,801***	-92,063**	0,949	167,168***	1998–2019	21
Великобритания	-0,504***	57,576	-172,778***	0,864	47,671***	1990–2019	29
<i>Страны СНГ</i>							
Азербайджан	н/д	н/д	н/д				
Казахстан	н/д	н/д	н/д				
РФ	-1,502	3107,823***	-1511,049	0,667	3,887	1993–2019	26
Ближний Восток							
Иран	н/д	н/д	н/д				
Ирак	н/д	н/д	н/д				
Израиль	н/д	н/д	н/д				
Кувейт	н/д	н/д	н/д				
Оман	н/д	н/д	н/д				
Катар	н/д	н/д	н/д				
Саудовская Аравия	н/д	н/д	н/д				
Арабские Эмираты	н/д	н/д	н/д				
Африка							
Алжир	н/д	н/д	н/д				
Египет	н/д	н/д	н/д				
Марокко	н/д	н/д	н/д				
<i>Австралия, Новая Зеландия и Юго-Восточная Азия</i>							
Австралия	0,298	-55,073	-333,906***	0,961	0,907	1990–2019	29
Бангладеш	19,958***	1369,948**	6,745	0,946	276,095***	1990–2019	29
Китай	-0,110	128,787***	-63,861**	0,946	264,702***	1990–2019	29
Индия	21,260***	-690,489	142,718	0,984	1662,789***	1990–2019	29
Индонезия	-616,870	1,029×10 ⁺⁶ ***	88 193,755	0,853	24,170***	1990–2019	29
Япония	8,845	1085,618	-2017,998**	0,332	0,085	1990–2019	29
Малайзия	0,860***	-18,401	-167,525***	0,915	77,206***	1990–2019	29
Новая Зеландия	1,608*	-102,346	-282,115***	0,925	0,023	1990–2019	29
Пакистан	-2,384	-1068,272*	-851,968***	0,977	115,743***	1990–2019	29
Филиппины	-23,070***	2102,844***	23,140	0,855	0,029	1990–2019	29
Сингапур	0,992***	5,546	-63,263**	0,919	220,189***	1990–2019	29
Южная Корея	н/д	н/д	н/д				
Шри Ланка	35,832	0,736***	573,648**	0,882	41,595***	1993–2019	26
Вьетнам	702,577	236 741,415***	-1873,752	0,920	127,975***	1990–2019	29

Примечание: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$.

Расчеты автора.

монстрируют обратную взаимосвязь между данными показателями.

Причины возникновения обратной взаимосвязи могут быть различными, но они не

всегда связаны с ростом энергоэффективности. Как уже было указано выше, на скорость выпуска продукции также влияют организационные изменения, которые характеризует

коэффициент связи с общественным производством. Но организационные изменения могут непосредственно влиять на КПД оборудования, генерирующего энергию. Так может происходить в результате институциональной политики, направленной на повышение энергоэффективности.

В последние годы в странах Евросоюза и США, Канаде и Великобритании активно проводилась политика энергосбережения, предполагающая инвестиции в повышение энергоэффективности (House of Commons, Canada, 2023), стандартизацию продукции с акцентом на энергоэффективность (International Energy Agency, 2023). При этом стандартизация продукции по классам энергоэффективности, существующая в Европе с 1992 г. (European Union, 2024), стимулировала выпуск менее энергоемкой продукции бытового назначения. Это может объяснить снижение потребления энергии на душу населения в некоторых странах. В табл. 3 приведен анализ влияния потребления энергии отдельными секторами экономики. В 26 наблюдениях из 70 была получена отрицательная регрессионная взаимосвязь между потреблением энергии в жилом секторе и ВВП, и только 8 демонстрировали положительную взаимосвязь – с $p < 0,05$ и ниже. И судя по статистике коэффициентов регрессии для жилого сектора, политика повышения энергоэффективности дает результаты не только в странах Европы, США и Канады. Нестандартизированные коэффициенты регрессии оказались также отрицательными с уровнем с $p < 0,05$ и ниже для некоторых стран Латинской Америки, Тихоокеанского региона и Азии.

Следует отметить, что вопреки отсутствию снижения потребления энергии в США в целом с начала кризиса 1970-х годов с этого же момента происходило сокращение ее использования на душу населения, например, в результате применения научно-технических достижений в области автомобилестроения для уменьшения удельного потребления топлива. Здесь можно предположить, что кризис-

ные явления в экономике являются стимулом для повышения потенциальных возможностей использования энергоресурсов экономической системой, когда стоимость затрат на обслуживание этой системы снижается. Этот парадокс, о котором писал один из основоположников физической экономики Л. Ларуш (LaRouche, 1984, p. 61): «Энергия системы в самом деле возрастает, но стоимость обеспечения и поддержки этой энергии (стоимость труда) понижается». Но такие процессы происходят не во всех странах, и предположительно причиной этого является институциональная среда, способствующая инновациям в сфере энергоэффективности. Однако данное предположение нельзя подтвердить статистически, по крайней мере для большинства исследуемых стран, так как наблюдается недостаток данных для анализа влияния потребления энергии в транспортном секторе с 1970-х годов. Данные о потреблении энергии в транспортном секторе в 33 странах мира с 1990-х годов свидетельствуют о наличии прямой линейной взаимосвязи между потреблением топлива и экономическим ростом (коэффициент регрессии положительный и значим с $p < 0,05$ и ниже). При этом только Ирак и Филиппины демонстрируют значимые результаты с отрицательной взаимосвязью. Однако это не является свидетельством политики энергоэффективности и научно-технического прогресса в этой области в указанных странах.

Рост потребления энергии в транспорте, который сопровождает экономическое развитие, свидетельствует о росте благополучия населения, в то же время экономика Ирака в последние годы страдала от войн и санкций, а экономика Филиппин характеризуется низким уровнем жизни населения. Поэтому такие показатели, скорее, являются признаком обеднения населения.

В целом следует отметить, что процесс сокращения промышленности и сельского хозяйства и возрастания доли сектора услуг происходил по всему миру с 1990-х годов (World Bank, 2023). Но такое снижение не гарантирует одновременного уменьшения потре-

Таблица 3

Результаты корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи потребления энергии в различных секторах экономики и экономического развития в разрезе отдельных стран мира методом множественной регрессии

Регион	Коэффициенты регрессии						R ²	F-статистика
	промышлен- ность	транспорт	сельское хозяйство	жилые поме- щения	услуги	прочее		
Северная Америка								
Канада	-0,430**	0,623*	2,567**	-1,424***	1,300*	0,029	0,967	113,971*
Мексика	0,236	-2,772	58,786	-63,691***	36,074*	-1,659	0,982	213,821*
США	-1,744***	0,832	-5,133	-2,575***	4,971*	-0,772	0,917	42,552*
Южная и Центральная Америка								
Аргентина	-5,346	33,864	-139,823	9,797	110,150	-24,627	0,488	3,175**
Бразилия	0,235	1,026*	14,492	3,331*	10,174*	-3,733	0,990	325,222*
Чили	226,737**	193,166	756,990	-114,432***	1327,617***	-60,950*	0,992	474,091*
Колумбия	-3156,349***	1096,363***	-5720,948	-330,435**	10 863,798**	828,675	0,943	63,740*
Эквадор	0,277	0,381***	0,940	0,691	0,685	0,548***	0,988	244,387*
Перу	1,963***	1,414***	0,053	-2,418**	-0,655	-0,240	0,990	363,533*
Тринидад и Тобаго	-0,062	2,667	-18,278	3,591	21,174	0,084	0,923	39,782*
Европа								
Австрия	0,205	0,781**	-18,027**	0,448	-1,458***	1,328	0,930	51,280*
Бельгия	0,260	-0,673	-0,607	-1,092***	1,865**	0,506*	0,941	61,029*
Болгария	0,182	0,448*	-4,072*	-0,164	1,773*	-0,592	0,977	115,026*
Хорватия	-0,112	0,488***	-0,650	-0,194*	1,012**	0,156	0,991	314,503*
Кипр	0,248	0,145	1,222	-0,554***	2,481	-1,153	0,962	75,543*
Чехия	-6,967***	18,622***	27,493	3,146	-11,017	-0,927	0,951	65,115*
Дания	-4,105*	6,802**	-47,078***	-1,650	10,498	-34,630**	0,982	214,502*
Эстония	-0,670**	0,592	1,673	0,589**	0,646	0,777	0,949	55,345*
Финляндия	-0,263	0,483	-2,097	-0,667	1,443***	0,828	0,909	38,483*
Франция	-1,191*	0,654	3,022	-1,200**	2,626**	0,482	0,916	41,671*
Германия	-1,812**	0,475	5,036	-2,189***	1,908	0,805	0,796	14,985*
Греция	0,049	0,535**	-0,558	0,151	1,763***	0,123	0,979	176,974*
Венгрия	299,528***	288,001***	-1397,102***	-104,923*	62,852	-63,038	0,958	83,386*
Исландия	18,286***	59,786*	-343,522	-119,297	197,049***	-6,375	0,987	246,522*
Ирландия	1,055	0,344	-12,204**	-1,119	9,637***	-0,224	0,949	72,044*
Италия	-0,024	0,478	-3,310	-0,773*	2,579***	-1,066**	0,965	106,323*
Латвия	0,502	0,502***	0,502	0,502	0,502	0,502	0,963	77,157*
Литва	-0,046	0,488***	-1,517	0,279	0,515	0,182	0,977	125,307*
Люксембург	-0,607***	0,019	2,521	-0,895**	-0,531*	-5,169***	0,981	202,766*
Нидерланды	-0,547	-0,236	0,393	-2,008***	4,447***	-0,382	0,952	75,433*
Северная Маке- дония	-6,100	15,151***	-43,053	19,717	-0,824	13,359	0,890	25,498*
Норвегия	-3,096	23,386***	-31,075**	-28,182**	14,968	-3,497	0,952	76,466*
Польша	0,615	2,642***	-3,590	-1,450	1,302	-0,829	0,964	79,579*
Португалия	-0,396*	1,060***	-0,103	-1,205**	0,437	-0,394	0,974	142,891*
Румыния	-1,070*	5,135***	6,365	-1,707*	2,078	0,508	0,980	146,344*
Словакия	-0,246	0,601***	-1,228	-0,447**	-0,282*	-0,322	0,946	55,657*

Окончание табл. 3

Регион	Коэффициенты регрессии						R^2	F -статистика
	промышленность	транспорт	сельское хозяйство	жилые помещения	услуги	прочее		
Словения	-0,490	0,699***	4,950*	-0,292	-0,536*	1,558**	0,891	24,401*
Испания	-0,219	0,679***	0,492	-0,575	2,462***	-0,892***	0,985	249,072*
Швеция	-2,062	-5,777	-119,059***	-5,186	-1,368	16,025*	0,918	42,942*
Швейцария	1,983	-1,670	-24,812***	-2,537***	3,933**	-3,346***	0,932	52,391*
Турция	1,314*	3,613**	6,274	-2,975	1,210	-2,504	0,962	62,478*
Великобритания	-1,417***	2,116***	-3,587	-0,201	1,019	-1,413**	0,961	93,231*
<i>Страны СНГ</i>								
Азербайджан	-0,242***	0,582***	1,117*	0,236	0,236*	-0,140	0,956	64,886*
Казахстан	-13,000	34,253	-52,340	142,351***	14,705	26,340*	0,952	62,860*
Россия	15,357	-25,524	-94,459*	2,793	43,352	25,934	0,885	25,737*
<i>Ближний Восток</i>								
Иран	1027,541	-1226,497	23 580,165	13 488,600*	-67 729,654**	15687,752***	0,915	41,482*
Ирак	580,047*	-644,499**	-98 500,716**	860,296**	12 700,740***	227,999	0,930	50,727*
Израиль	2,446	-2,282	37,508	-0,428	19,820***	0,559	0,898	26,468*
Кувейт	-0,017	0,373*	2,929	-0,098	-0,344**	-0,013	0,760	12,134*
Оман	0,006	0,156***	-2,917	-0,309*	0,018	0,111**	0,967	114,006*
Катар	-2,565**	5,265**		-0,012	17,795*	0,775	0,796	18,751*
Саудовская Аравия	0,854	0,869	-7,170	-2,585	3,450*	0,398	0,913	40,068*
Арабские Эмираты	-0,403**	-0,037	-31,362	1,752	1,511	1,032	0,810	14,233*
Африка								
Алжир	-11,599	14,986	1417,340***	59,379***	-368,521**	-26,827	0,968	116,612*
Египет	0,758	7,601	-23,045*	2,676	0,825	13,147*	0,686	8,381*
Марокко	0,784	2,611*	8,334*	1,208	-1,647	-0,070	0,993	566,911*
<i>Австралия, Новая Зеландия и Юго-Восточная Азия</i>								
Австралия	-2,075***	2,690*	-10,907***	-2,860	5,600**	-0,061	0,972	132,383*
Бангладеш	-1,295	115,213	-327,275**	73,862*	500,046*	16,784	0,967	113,937*
Китай	-0,490*	1,822	-1,642	2,123	16,175**	4,723	0,992	492,103*
Индия	14,648	-15,793	51,044**	15,507	124,501**	26,680	0,990	370,075*
Индонезия	900,836	-1765,698	5269,865	-7955,398***	40251,188***	-4548,789	0,991	422,533*
Япония	-62,718**	89,289*	-105,132	-129,510*	5,698	88,177	0,486	3,619**
Малайзия	-0,066	0,391	18,586*	-1,493	4,244***	0,722***	0,978	173,203*
Новая Зеландия	-0,705	1,236**	2,169	-10,238***	5,259	0,299	0,925	47,336*
Пакистан	-0,352	4,104	-300,519***	152,052***	-104,526	9,828	0,986	271,681*
Филиппины	20,909**	-16,370***	42,710	-10,556**	106,731***	23,011	0,985	247,809*
Сингапур	1,131***	-1,983	-294,370	-1,249	-1,636	-0,017	0,912	39,731*
Южная Корея	36,768	18,846	-1399,054*	217,694	-209,222	870,646***	0,988	308,210*
Шри Ланка	-65,567***	-13,501	1525,886**	-132,495***	1221,548***	-138,632**	0,993	445,761*
Вьетнам	4653,520**	2261,150	1995,526	-6661,938	-9476,985	21 714,069***	0,976	153,245*

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,00$

Расчеты автора.

бления энергоресурсов в секторе услуг. Так, в 19 странах наблюдается обратная линейная взаимосвязь между потреблением энергии в секторе промышленности и экономическим ростом, но только одна из них (Люксембург) одновременно имела значимые отрицательные значения коэффициента регрессии энергопотребления в секторе услуг. В других странах наблюдается положительная взаимосвязь между потреблением энергии в секторе услуг и ВВП либо ее вовсе не наблюдается.

Что касается промышленности, Д. Полимени делает вывод о том, что импорт снижает потребление энергии, т.е. страны Европейского Союза, возможно, экспортируют энергоемкое производство в менее развитые страны, уменьшая промышленное потребление энергии (Polimeni, 2007, p. 112). Это заключение подтверждает тот факт, что в целом промышленный сектор (являющийся одним из энергоемких) в странах Евросоюза за период с 2000 по 2018 гг. сократил конечное потребление энергии из-за сворачивания производства.

Например, конечное потребление энергии отрасли добычи неметаллических полезных ископаемых (одним из самых энергоемких подсекторов в 2000 г.) снизилось на 19,1%, а индекс промышленного производства (IPI) снизился на 17,4% за период 2000–2017 гг. (Tsemekidi Tzeiranak et al., 2020). Поэтому отрицательную корреляцию между потреблением и экономическим ростом в ряде стран Европы можно также объяснить снижением доли энергоемких производств в пользу менее энергоемких – сельского хозяйства, текстильной промышленности, туризма, IT и др. Аналогичный процесс происходил в экономике ОАЭ, Канады, Великобритании, США. Однако следует обратить внимание на следующий факт: в странах, в которых обнаружена данная отрицательная корреляция, наблюдается влияние сразу нескольких факторов. Так, для Швейцарии отрицательные коэффициенты регрессии оказались значимы для потребления энергии в сельском хозяйстве, обслуживании жилых помещений и прочих непроизводственных направлениях.

Экономика стран является объектом воздействия разнонаправленных эффектов в разных секторах экономики, как увеличивающих, так и понижающих энергоэффективность. Это частично объясняет отсутствие какого-либо линейного характера взаимодействия между потреблением энергии в целом и ростом ВВП. Поэтому в странах, где проводится действенная политика повышения эффективности в каком-либо секторе экономики, в других отраслях экономики такая политика может отсутствовать. Таким образом, можно сделать вывод, что в таких странах, как США, страны Евросоюза и Великобритания, в 1990–2019 гг. не только научно-техническая и институциональная среда, нацеленная на повышения энергосбережения в различных секторах экономики, но и изменение структуры экономики в пользу менее энергоемких отраслей в разные периоды времени позволили уменьшить потребление энергии в расчете на душу населения, сохранив при этом рост показателей экономического развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исторический процесс сопровождается ростом энергопотребления в мире. Однако модель «экономики услуг», которая предлагается в качестве основы современной экономики, не гарантирует уменьшения потребления энергии в целом и решения проблем ограниченности ресурсов.

Сокращение доли промышленности и сельского хозяйства не гарантирует одновременного сокращения потребления энергоресурсов в секторе услуг. Об этом свидетельствует прямая линейная взаимосвязь между потреблением энергии в секторе услуг и экономическим развитием в ряде стран мира.

Результаты корреляционно-регрессионного и сравнительного анализа свидетельствуют о том, что рост ВВП в различных странах и регионах мира в значительной сте-

пени определяется увеличением потребления энергии. Связь между данными переменными в большинстве исследуемых стран является прямой и линейной, что подтверждает гипотезу о том, что для описания взаимосвязи между потреблением энергии и экономическим ростом можно использовать модели, основанные на линейной алгебре, такие как модель Леонтьева. При отсутствии комплекса внешних эффектов, воздействующих на энергоэффективность, рост экономики определяется увеличением энергопотребления.

Потребление энергии в различных секторах экономики может иметь как положительную, так и отрицательную взаимосвязь с экономическим ростом. Так, рост потребления энергии в транспортном секторе, сопровождающий экономическое развитие, в ряде стран связан с ростом благополучия населения. Однако обратная связь, которую демонстрировали некоторые результаты исследования, не указывает на то, что экономика всех данных стран более энергоэффективна, а может лишь свидетельствовать о наличии комплекса внешних воздействий, способствующих повышению эффективности потребления энергии в разных секторах экономики: специальная политика в области повышения энергоэффективности, научно-технические достижения в области экономии энергии, изменение структуры экономики в пользу менее энергоемких отраслей. Энергосбережение не является ограничивающим фактором для экономического роста, но оно не возникает в экономической системе без комплекса внешних стимулов в различных секторах экономики.

Список литературы / References

- Карпов К.А. (2019). Закономерности развития мирового энергопотребления // Проблемы прогнозирования. № 1. С. 55–62. [Karpov K.A. (2019). Patterns of development of global energy consumption. *Problems of Forecasting*, no. 1, pp. 55–62 (in Russian).]
- Корнилова А.Ю. (2023). Физическая экономика в контексте современных экономических проблем // Экономическая наука современной России. № 2. С. 7–16. [Kornilova A.Yu. (2023). Physical Economics within the context of modern economic problems. *Economics of Contemporary Russia*, no. 2, pp. 17–31 (in Russian).]
- Кузнецов П.Г. (2015). Наука развития Жизни: сборник трудов. Т. III. Правильное применение закона. М.: Русское Космическое Общество. 560 с. [Kuznetsov P.G. (2015). *The science of life development: a collection of works*. Vol. III. Proper application of the law. Moscow: Russian Space Society. 560 p. (in Russian).]
- Кустова О.И., Редькина А.Ю., Чадов А.Л. и др. (2021). Как влияет возобновляемая энергетика на экономический рост? Результаты моделирования на данных разной частотности? // Известия РАН. Энергетика. Т. 1. С. 79–91. [Kustova O.I., Redkina A.Yu., Chadov A.L., Shankman (Popova) E.A. (2021). How does renewable energy affect economic growth? The results of modeling on data of different frequencies. *Izvestiya RAS. Energetics*, vol. 1, pp. 79–91 (in Russian).]
- Рева А.Р. (2019). Связь между потреблением энергии и ВВП. Эластичность потребления первичной энергии в Индии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. Т. 9. № 4А. С. 371–383. [Reva A.R. (2019). The relationship between energy consumption and GDP. Elasticity of primary energy consumption in India. *Economics: Yesterday, Today, Tomorrow*, vol. 9, no. 4A, pp. 371–383 (in Russian).]
- Цзянь Ч., Синь Ч. (2022). Существует ли систематическая двусторонняя причинно-следственная связь между ВВП и потреблением энергии в Китае? // Вестник ТвГУ. Серия: Экономика и управление. № 1. С. 134–146. [Jian Ch., Xin Ch. (2022). Is there a systematic two-way causal relationship between GDP and energy consumption in China? *Vestnik TvSU. Series: Economics and Management*, no. 1, pp. 134–146 (in Russian).]
- Abosedra S. (1989). New evidence on the causal relationship between United States energy consumption and gross national product. *Journal of Energy Development*, no. 14, pp. 285–292.

- Akarca A.L. (1980). On the Relationship between Energy and GNP: A Reexamination. *Energy and Development*, vol. 5, pp. 326–331.
- Changes in global coal consumption by region, 2021–2023 (2023). – International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/changes-in-global-coal-consumption-by-region-2021-2023>
- Chen S.T., Kuo H.I., Chen C.C. (2007). The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries. *Energy Policy*, vol. 35, pp. 2611–2621
- Energy Efficiency 2022. (2023) International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>
- Energy Statistics Data Browser (2024). International Energy Agency. URL: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=ROMANIA&fuel=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector>
- Energy efficiency benefits in Canada: maximizing opportunities for a competitive economy. Report of the Standing Committee on Natural Resources (2023). House of Commons. Canada URL: <https://www.ourcommons.ca/Content/Committee/421/RNNR/Reports/RP10567525/rnnrrp12/rnnrrp12-e.pdf>
- Council Directive 92/75/EEC (1992). Council Directive 92/75/EEC of 22 September 1992 on the indication by labelling and standard product information of the consumption of energy and other resources by household appliances. European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A31992L0075>
- Greenford D.H., Crownshaw T., Lesk C., Stadler K., Matthews H.D. (2020). Shifting economic activity to services has limited potential to reduce global environmental impacts due to the household consumption of labour. *Environmental Research Letters*, vol. 15, no. 6, pp.1–11.
- Gozgor G., Lau Ch.K.M., Lu Zh. (2018). Energy consumption and economic growth: New evidence from the OECD countries. *Energy*, vol. 153(C), pp. 27–34.
- Hunt L.C., Pierse R.G., Chontanawat J. (2006). Does energy consumption cause economic growth? Evidence from a systematic study of over 100 countries. *Journal of Policy Modeling*, no. 30 (2), pp. 209–220.
- Islam F., Shahbaz M., Ahmed A.U., Alam M. (2012). Financial development and energy consumption nexus in Malaysia: A multivariate time series analysis. *Economic Modelling*, vol. 30, pp. 435–441.
- Kayani F.N. (2021). Renewable Energy and Economic Growth Nexus: A Case of United Arab Emirates. *International Journal of Energy Economics and Policy*, no.11 (5), pp. 504–509.
- LaRouche L.H. (1984). *So, You Wish to Learn All About Economics? A Text on Elementary Mathematical Economics*. New York: New Benjamin Franklin House. 208 p.
- Liu W.-Ch. (2020). The Relationship between Primary Energy Consumption and Real Gross Domestic Product: Evidence from Major Asian Countries. *Sustainability*, vol. 12 (6). URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/6/2568>
- Ozturk I., Bilgili F. (2015). Economic growth and biomass consumption nexus: Dynamic panel analysis for Sub-Sahara African countries. *Applied Energy*, vol. 137, pp. 110–116.
- Peković D. (2023). The effects of energy consumption on economic growth in post-transition countries. *Ecologica*, no. 30 (109), pp. 76–80.
- Penn World Table version 10.01 (2024). – Groningen Growth and Development Centre. URL: <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>
- Polimeni J. (2007). Jevons' paradox and the economic implications for Europe. *International Business & Economics Research Journal*, vol. 6, no. 10, pp. 109–120.
- Sharaf M.F. (2017). Energy consumption and economic growth in Egypt: A disaggregated causality analysis with structural breaks. *Région et Développement*, vol. 46, pp. 59–76.
- Statistical Review of World Energy (2023). Energy Institute. URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review>
- Stern D.I. (2000). A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy. *Energy Economics*, no. 22, pp. 267–283.
- Tilton J. (2003). *On Borrowed Time. Assessing the Threat of Mineral Depletion*. Washington, Resources for the future. 158 p. URL: <https://www.iied.org/g01028>
- Tsemekidi Tzeiranak S., Bertoldi P., Paci D., et al. (2020). *Energy Consumption and Energy Efficiency*

- trends in the EU-28, 2000–2018. *EUR30328 EN*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC120681>.
- York R. (2006). Ecological Paradoxes: William Stanley Jevons and the Paperless Office Human. *Ecology Review*, vol. 13, no. 2, pp. 143–147.
- Yu E., Hwang B. (1984). The Relationship between Energy and GNP: Further Results. *Energy Economics*, vol. 6, pp. 186–190.
- Zaidi S., Gmidien S., Saidi K. (2017). How energy consumption affects economic development in select African countries. *Quality & Quantity*, no. 52, pp. 501–513.
- World Development Indicators (2023). World Bank. URL: <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- World Steel Yearbook (1990–2019). Web archive. URL: <https://web.archive.org/web/20120701061319/http://worldsteel.org/statistics/statistics-archive/yearbook-archive.html>

Рукопись поступила в редакцию 06.12.2023

THE RELATIONSHIP BETWEEN ENERGY CONSUMPTION AND GDP IN COUNTRIES OF THE WORLD

A.Yu. Kornilova

DOI: 10.33293/1609-1442-2024-2(105)-83-100

EDN: PIBWNI

Anna Yu. Kornilova, Cand. Sc.(Economics), Expert, “Meterstartup”, Moscow, Russia; pgmcjd@yandex.ru; ORCID: 0009-0000-4066-3579

Abstract. The article provides analysis of the influence of energy consumption on GDP in various regions and countries of the world (America, Europe, Post-Soviet space, Middle East, Africa, Asia-Pacific region). It is shown that: 1) there is a direct linear causal relationship between the

growth of energy consumption and economic development in the absence of external effects in the field of energy efficiency; 2) external factors that contribute to the efficiency of energy consumption – institutional environment and scientific and technological achievements in the field of energy efficiency; change of the structure of the economy in favor of less energy-intensive industries. Models based on linear algebra, such as the Leontief model, can be used to describe the relationship between energy consumption and economic growth. Energy consumption in different sectors of the economy can have both positive and negative relationships with economic growth. A reduction of the share of industry and agriculture does not guarantee a simultaneous decline of energy consumption in the service sector. There is a direct linear relationship between energy consumption in the services sector as well as in the transportation sector and economic development of different countries around the world. Increased energy consumption in the transportation sector which supports economic development is connected with an increase of the well-being of the population in several countries. The inverse relationship shown by some of the study results does not indicate that all countries studied are more energy efficient. This outcome reflects only the presence of external influences that encourage energy efficiency. Energy saving is not a limiting factor for economic growth, but it does not occur in economic system without a set of external incentives in different sectors of economy.

Keywords: economic development, GDP, energy consumption, physical economy, institutionalism, institutional environment, energy efficiency policy, Leontief model.

Классификация JEL: L94, Q43.

For reference: Kornilova A.Yu. (2024). The relationship between energy consumption and GDP in countries of the world. *Economics of Contemporary Russia*, no. 2 (105), pp. 83–100. DOI: 10.33293/1609-1442-2024-2(105)-83-100. EDN: PIBWNI

Manuscript received 06.12.2023