

АНАЛИЗ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В СТРАНАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТАБЛИЦ «ЗАТРАТЫ – ВЫПУСК»

А.А. Быков, Ван Цян, О.Д. Колб*

Аннотация. Проанализированы таблицы «Затраты – Выпуск» для девяти стран Юго-Восточной Азии за период с 2000 по 2022 г. с целью выявить закономерности изменения спроса на электроэнергию. Предложена методика оценки конечного спроса на электроэнергию с устранением повторного счета по данным таблиц «Затраты – Выпуск». Установлено, что 80% роста спроса на электроэнергию в данной выборке стран за указанный период вызвано увеличением энергопотребления в КНР. Структурные изменения потребления электроэнергии объясняются главным образом изменениями отраслевой структуры экономики. По мере роста душевого дохода сокращается вклад сельского хозяйства, текстильного производства в общее потребление электроэнергии, увеличивается вклад наукоемкой промышленности и сферы услуг. Потребление электроэнергии в промышленности и строительстве, с одной стороны, и потребление домохозяйствами, с другой, являются конкурирующими направлениями. Установлена прямая пропорциональная зависимость между ростом ВВП на душу населения и увеличением потребления электроэнергии на душу населения.

Ключевые слова: таблицы «Затраты – Выпуск», электроэнергетика, Юго-Восточная Азия.

JEL-классификация: C67, O53, Q41.

DOI: 10.46782/1818-4510-2026-2-17-36

Материал поступил 12.03.2026 г.

Целью данного исследования является выявление факторов, оказывающих существенное влияние на спрос на электроэнергию в долгосрочной перспективе. Объектом исследования выбран рынок электроэнергии в экономиках региона Юго-Восточной Азии, которые существенно различаются по уровню душевого дохода.

Решение данной задачи имеет высокую практическую и экономическую значимость для любой экономики мира, поскольку полученные результаты определяют возможности и ограничения для экономического роста и состояния платежного баланса, а также направления научно-тех-

нического развития. Особенно важно предвидеть изменения спроса на электроэнергию для поставщиков энергоресурсов и техники на мировой рынок, поскольку спрос на электроэнергию определяет цены энергоресурсов и энергетического оборудования.

Представляется целесообразным разделение общей задачи анализа и прогнозирования энергопотребления на несколько блоков, в каждом из которых есть своя специфика методологии, исходных данных и результатов прогноза:

1) анализ потребления электроэнергии в разрезе времени суток, недели и сезона, в котором важными показателями являют-

* **Быков Алексей Александрович** (aliaksei.bykau@yandex.ru), доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0003-2005-9061>;

Ван Цян (9244708@qq.com), генеральный представитель компании SinoHidro Corporation Limited в Беларуси (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0009-0002-7348-845X>;

Колб Ольга Дмитриевна (olgakolb@gmail.com), кандидат экономических наук, доцент, Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Беларусь); <https://orcid.org/0000-0003-3096-7450>

ся: пиковые нагрузки на энергосистему, стоимость электроэнергии в пиковые и межпиковые периоды; надежность энергообеспечения. Исходными данными служат почасовые и помесечные объемы производства и потребления электроэнергии, измеряемые в физических единицах, а также технические параметры энергосистемы, в разрезе генерирующих станций и потребителей. Большое внимание следует уделять факторам неопределенности и риска, включая риски отказа оборудования;

2) анализ факторов, определяющих экономические параметры электроэнергетики в среднесрочной перспективе, от 1 месяца до нескольких лет. Основными факторами являются спрос и предложение электроэнергии, температура воздуха, стоимость энергоресурсов и др. Методология анализа базируется на статистическом моделировании технико-экономических параметров энергосистемы, крупнейших генерирующих станций и энергопотребителей. Результатом такого подхода может стать, например, прогноз себестоимости электроэнергии в зависимости от отклонений температуры от климатической нормы, цены топлива и прочих факторов (Хаустович, 2016; Корнейчук, Федоров, 2018);

3) анализ и прогнозирование энергопотребления в долгосрочной перспективе на основе изменений макроэкономических и технологических параметров, с учетом изменений отраслевой структуры экономики, появления новых технологий производства электроэнергии и новых направлений ее использования.

Именно анализу энергопотребления в долгосрочной перспективе посвящена данная работа. Выявленные закономерности в изменениях спроса на электроэнергию будут необходимы для решения следующей, более важной на практике задачи – прогнозирования спроса на электроэнергию. Инструментом анализа выбрана методология «Затраты – Выпуск», в перспективе позволяющая сформировать долгосрочный прогноз потребности в электроэнергии на основе сценарного моделирования развития экономики, отдельных отраслей, с учетом межотраслевых взаимосвязей и возможных технологических изменений. Далее рассмотрим это направление более подробно.

Обзор статистических данных и литературы по теме исследования

Структура потребления электроэнергии в мире: текущее состояние и тенденции. По состоянию на 2024 г. глобальное производство и потребление электроэнергии составляет около 31 тыс. млрд кВт·ч, или 31 тыс. ТВт·ч (тераватт час). Около 60% глобальной электрогенерации осуществляется тепловыми электростанциями, остальное – на ГЭС, АЭС и другими возобновляемыми источниками¹.

С 2000 по 2024 г. потребление электроэнергии в Китае выросло с 1,3 до 10 тыс. ТВт·ч. За тот же период мировое потребление электроэнергии выросло с 15 до 31 тыс. ТВт·ч. Доля Китая таким образом составила 54% от глобального прироста спроса на электроэнергию в течение последних 25 лет².

По данным Международного энергетического агентства, в 2024 г. рост спроса на электроэнергию в мире (+4,3%) опережал рост ВВП (+3,2%), который, в свою очередь, опережал рост потребления первичных энергоресурсов (+2,2%)³.

Показатели энергоэффективности, к числу которых относится энергоемкость ВВП, позволяют сравнить количество потребленной первичной энергии с экономическими показателями в денежном выражении. В большинстве экономик и в мире в целом энергоэффективность растет – за счет внедрения технологий, позволяющих снизить ее потребление в расчете на единицу конечной продукции, увеличения доли энергии из возобновляемых источников, а также за счет изменения структуры выпуска, когда доля товаров снижается, а доля услуг увеличивается. В итоге рост ВВП опережает рост потребления первичной энергии и особенно минеральных топливно-энергетических ресурсов – угля, нефти, газа. Первичная энергия используется для производства электрической и тепловой энергии, и, как видно, экономии электроэнергии при росте ВВП не происходит, а основная экономия, связанная с ростом энергоэффективности, приходится главным обра-

¹ URL: <https://www.eprussia.ru/news/base/2025/4278144>

² Global Electricity review 2024. London, Ember, 2024. 191 p. URL: <https://ember-energy.org/app/uploads/2024/05/Report-Global-Electricity-Review-2024.pdf>

³ Global Energy Review 2025. Paris, IEA, 2025. 43 p. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>

зом на минеральные энергоресурсы, что важно для снижения выбросов CO₂, а также для ограничения роста мировых цен на них.

Более 80% роста мирового спроса на энергию пришлось на развивающиеся страны, лидерами среди которых остаются Китай и Индия. Рост мирового потребления электроэнергии был обусловлен такими факторами, как увеличение потребности в охлаждении в связи с экстремальными температурами, рост потребления в промышленности, электрификация транспорта и расширение сектора центров обработки данных. В 2024 г. 80% прироста мирового производства электроэнергии было обеспечено за счет возобновляемых источников и атомной энергетики⁴.

В 2023 г. свыше 90% глобального прироста спроса на электроэнергию пришлось на Китай при том, что в ЕС и США спрос сократился. Если анализировать отраслевые факторы роста мирового спроса на электроэнергию по данным 2023 г., то около 11% прироста обеспечено потреблением в электротранспорте, 14% – в системах кондиционирования, 14% – в центрах обработки данных⁵.

Согласно прогнозам, мировой спрос на электроэнергию будет расти в среднем на 3,7% в 2026 г., что представляет собой замедление роста по сравнению с 4,4% в 2024 г., но все еще является одним из самых высоких темпов роста, наблюдавшихся за последнее десятилетие.

В Китае спрос на электроэнергию в 2026 г. вырастет на 5,7%, в Индии – на 6,6%, в США – на 2,2%, в ЕС – на 1,5%. В абсолютном измерении более половина прироста мирового спроса, или 562 ТВт·ч., обеспечивается Китаем, 112 ТВт·ч. – Индией, 92 ТВт·ч. – США, 72 ТВт·ч. – другими странами ЮВА, 36 ТВт·ч. – ЕС и 190 ТВт·ч. – приходится на все остальные страны⁶.

В соответствии с прогнозами российских исследователей (Макаров, Митрова,

Веселов, Галкина, Кулагин, 2017), производство электроэнергии до 2040 г. увеличится менее чем на 20% в развитых странах и почти вдвое – в развивающихся странах. Более половины от общего объема электроэнергии, произведенной в 2040 г. развивающимися странами, придется на Китай и Индию, которая станет мировым лидером по численности населения, второй экономикой мира (после Китая) и увеличит электропотребление почти втрое.

Спрос на электроэнергию будет расти гораздо быстрее, чем общее потребление первичной энергии и к 2035 г. увеличится на 40%. Рост спроса будет наблюдаться в домохозяйствах в связи с увеличением использования бытовой техники и кондиционеров, в обрабатывающей промышленности, в электротранспорте, за счет расширения сектора центров обработки данных, а также электрифицированного отопления. При этом вклад электротранспорта составит до 15% общего прироста спроса на электроэнергию, а вклад центров обработки данных – до 10%⁷.

Известные подходы к долгосрочному прогнозированию в электроэнергетике. Как правило, одновременно прогнозируется спрос и предложение электроэнергии. В долгосрочном периоде спрос главным образом определяется темпами роста населения и уровня дохода; предложение – ценами на минеральное топливо и стоимостью использования возобновляемых источников энергии. В работе (Макаров, Митрова, Веселов, Галкина, Кулагин, 2017) проведен анализ производства и потребления энергии в мире за период с 2000 по 2014 г. и построен прогноз до 2040 г., т. е. на 23 года вперед.

По мнению авторов данной работы, электропотребление на душу населения в среднем по миру хорошо описывается линейной зависимостью. В 1990 г. оно составляло 2,2 МВт·ч/чел., в 2014 г. – 3,3 МВт·ч/чел., а к 2040 г. согласно вероятному сценарию увеличится до 4,1 МВт·ч/чел. Значительная разница уровней благосостояния по странам определяет различия по душевому электропотреблению: в развитых странах оно в четыре раза выше, чем в развивающихся. Следовательно, по мере роста уровня благосос-

⁴ Global Energy Review 2025. Paris, IEA, 2025. 43 p. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025>

⁵ Global Electricity Review 2024. London, Ember, 2024. 191 p. URL: <https://ember-energy.org/app/uploads/2024/05/Report-Global-Electricity-Review-2024.pdf>

⁶ МЭА. 2025. Обзор ситуации с электроэнергией за первое полугодие 2025 года. МЭА, Париж. Electricity Mid-Year Update 2025 Analysis. Paris, 2025. URL: <https://www.iea.org/reports/electricity-mid-year-update-2025>.

⁷ World Energy Outlook 2025. Paris, IEA, 2025. 519 p. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025>

тояния спрос на электроэнергию должен повышаться.

Несмотря на значимые выводы о факторах спроса на электроэнергию, основная часть работы (Макаров, Митрова, Веселов, Галкина, Кулагин, 2017) посвящена анализу предложения энергоресурсов и структуры их использования в мировом энергобалансе. Такой прогноз наиболее сложен, поскольку требует учета множества технологических факторов, оценки запасов минеральных энергоресурсов, а также прогнозирования изменений цен. Например, если цены на нефть и газ будут расти, а на солнечные панели снижаться, тогда солнечная энергия будет быстрее заменять нефть и газ в энергобалансе.

Если говорить о краткосрочном прогнозировании спроса на электроэнергию, то факторы спроса рассматриваются совершенно другие, это не численность населения и доход, которые меняются очень медленно. В работе (Корнейчук, Федоров, 2018) апробирована статистическая модель для прогнозирования спроса на электроэнергию на российском рынке, в которой входными параметрами являются погодные условия (температура воздуха, сила ветра, ясно/пасмурно), а также день недели. Краткосрочный прогноз в пределах первого полугодия 2017 г. на данной модели оказался достаточно точным – погрешность составила менее 3%.

Нужно отметить, что в 2017 г. ВВП России вырос на 1,7%, поэтому ожидаемо, что влияние экономических факторов на энергопотребление оказалось в пределах статистической погрешности. Но при этом прогнозы экономических факторов, например ВВП, инвестиций, выглядят более надежными, чем прогнозы погоды. Прогнозы погоды на несколько лет вперед недостаточно точны, а экономические прогнозы по крайней мере определяют вектор приложения усилий государства и бизнеса.

Взаимосвязь потребления электроэнергии и ВВП. Существует мнение, что потребление электроэнергии увеличивается пропорционально росту ВВП. Это действительно так, когда речь идет именно о потреблении электрической энергии, а не о потреблении первичных энергоресурсов. По мере экономического роста потребление первичных энергоресурсов происходит не столь

быстро, поскольку снижается показатель энергоемкости ВВП. Снижение энергоемкости ВВП происходит по нескольким причинам: во-первых, внедряются технологии энергосбережения, позволяющие увеличить эффективность использования первичных энергоресурсов. Во-вторых, по мере экономического роста меняется отраслевая структура экономики – увеличивается доля отраслей, производящих услуги, характеризующихся меньшей энергоемкостью, и снижается доля отраслей, производящих товары, с высокой удельной энергоемкостью, в результате потребление энергоресурсов увеличивается медленнее, чем ВВП. В-третьих, в энергобалансе увеличивается доля возобновляемых источников энергии, использование которых не приводит к росту потребления традиционных первичных энергоресурсов – нефти, газа и угля.

Гипотеза о пропорциональном росте потребления электроэнергии в зависимости от экономического роста подтверждается эмпирическими данными за долгосрочный период, например, данными по Китаю и Индии. По данным сайта www.globalpetrolprices.com⁸, потребление электроэнергии (в кВт·ч) в Китае и Индии растет прямо пропорционально номинальному ВВП, рассчитанному в долларах США.

Период исследования охватывает свыше 40 лет, и за это время Китай и Индия совершили внушительный экономический рывок, значительно увеличив ВВП. Как производство, так и потребление электроэнергии дискретно: когда вводится в эксплуатацию крупный промышленный объект, потребляющий электричество, или крупная электростанция, энергопотребление должно отклоняться от траектории экономического роста. Масштаб экономик этих стран настолько велик, что строительство каждого следующего генерирующего или потребляющего энергию объекта не вызывает очевидных отклонений темпов роста энергопотребления от темпов роста экономики.

В меньших по размеру экономиках, для которых не характерны столь высокие темпы экономического роста, пропорциональность между энергопотреблением и

⁸ URL: https://www.globalpetrolprices.com/electricity_consumption.php

ВВП может отсутствовать. Примерами являются такие азиатские страны, как Камбоджа и Казахстан.

В Камбодже рост энергопотребления фактически начал наблюдаться лишь с 2001 г., и его темпы с этого момента превышали темпы роста ВВП. Вероятно, в этой стране с невысоким уровнем социально-экономического развития пришлось развивать энергетическую инфраструктуру с нуля, и уровень энергопотребления «догонял» рост ВВП. В Казахстане же, наоборот, уровень энергопотребления 1990 г. был достигнут лишь недавно, хотя ВВП значительно вырос с того времени. Причиной слабой зависимости двух показателей является переходный кризис 1990-х, в процессе которого сильно изменилась структура казахстанской экономики, и наиболее энергоемкие отрасли уступили место более энергоэффективным. В Казахстане долгое время не было дефицита генерирующих мощностей, основные электростанции были построены до 1990-х, и пока имеющиеся мощности оставались недогруженными, не наблюдался рост энергопотребления по мере роста ВВП.

Интересную ситуацию можно наблюдать на примере экономически и технологически развитых стран – Японии и Южной Кореи. В Южной Корее до 2010 г. потребление электроэнергии несколько опережало экономический рост. В Японии же после 2010 г. заметно отставание энергопотребления от экономического роста.

Вызывает некоторые сомнения корректность оценок ВВП в текущих ценах в пересчете на доллары США по номинальному обменному курсу, приведенных на сайте www.globalpetrolprices.com⁹. По логике, такая оценка ВВП различных экономик мира очень зависит от денежной политики США, влияющей на курсы локальных валют к доллару. Например, смягчение денежной политики в США, происходившее в 2008–2014 гг., должно было привести к ослаблению доллара к валютам развивающихся экономик и к увеличению номинального ВВП этих экономик, оцененному в пересчете на доллары. Такое увеличение номинального ВВП теоретически не зависит и не влияет на потребление физических

⁹ URL: https://www.globalpetrolprices.com/electrocity_consumption.php

единиц электроэнергии в стране. Наоборот, ужесточение денежной политики в США в 2014–2016 гг., связанное с прекращением количественного смягчения и ростом ставки ФРС, привело к падению цен на сырье и сокращению номинального ВВП во многих развивающихся экономиках, что не обязательно было связано со снижением физических объемов производства и изменениями потребления электроэнергии.

Информация по номинальному ВВП Казахстана на сайте <https://tradingeconomics.com>¹⁰ существенно отличается от аналогичного показателя, приведенного на сайте www.globalpetrolprices.com¹¹. Есть подозрения, что не все данные по номинальному ВВП на сайте www.globalpetrolprices.com¹² корректны, и для обоснования закономерностей связи экономического роста и энергопотребления нужны дополнительные исследования.

Основным препятствием к корректной оценке факторов, влияющих на энергопотребление, представляется измерение сопоставимых показателей в различных единицах. Как правило, спрос на электроэнергию оценивается в физических единицах (кВт·ч), а возможные факторы, влияющие на него, – в денежных (например, размер ВВП, конечный спрос со стороны населения, промежуточный спрос со стороны промышленности и сферы услуг). Сопоставление физических и денежных показателей требует приведения денежных показателей к сопоставимым ценам. При этом цены в разных отраслях экономики, на импортные и отечественные продукты не всегда меняются пропорционально, что затрудняет анализ и прогнозирование при использовании реальных данных.

Даже если использовать в расчетах статистику распределения электроэнергии по отраслям экономики, приведенную в балансах электроэнергии, такие показатели не позволяют связать спрос с изменениями отраслевой структуры экономики, поскольку не учитываются в полной мере межотраслевые связи.

¹⁰ URL: <https://tradingeconomics.com/kazakhstan/full-year-gdp-growth>

¹¹ URL: https://www.globalpetrolprices.com/electrocity_consumption.php

¹² URL: https://www.globalpetrolprices.com/electrocity_consumption.php

Оценка спроса и предложения в денежных единицах во многом снимает обозначенные проблемы, так как в этом случае можно использовать показатели в текущих ценах. Остается открытым вопрос непосредственно с ценами на электроэнергию, которые могут отличаться для промышленных потребителей и населения. Поэтому при работе с денежными показателями заранее устанавливаются некоторые допущения – о том, что цены на электроэнергию являются равновесными, устанавливаются на основе спроса и предложения. Также допускается, что с течением времени не происходит заметного одностороннего изменения цен на электроэнергию, отличного от изменения цен на прочие товары и услуги.

При данных допущениях при оценке и прогнозировании спроса на электроэнергию в денежном измерении приемлемо использование таблиц «Затраты – Выпуск», позволяющее учитывать изменения макроэкономических показателей, технологической и отраслевой структуры экономики, межотраслевые связи.

Влияние новых технологий на спрос на электроэнергию. Как правило, новые технологии в электроэнергетике рассматриваются со стороны предложения. Например, распространение солнечной, ветровой и других видов возобновляемой энергетики существенным образом влияет на структуру затрат в себестоимости электроэнергии, определяет динамику ее предложения в течение суток и года, воздействует на рынок первичных энергоресурсов. В последнее время оказалось заметным влияние новых технологий на изменения спроса.

По влиянию развития электротранспорта на потребление минерального топлива и электроэнергии исследования уже проводились. Например, согласно расчетам, развитие электротранспорта к 2050 г. может добавить около 15–42% к текущему электропотреблению в России (Веселов, Соляник, Аликин, 2023).

Бурное строительство центров обработки данных (ЦОД), или дата-центров, привело к новому феномену, когда они становятся крупнейшими энергопотребителями. В дата-центрах электроэнергия используется как для питания самих вычислитель-

ных мощностей, так и для поддержания оптимальной температуры в ЦОД, составляющей от 18 до 27 градусов.

По состоянию на октябрь 2025 г. во всем мире функционировало 8808 ЦОД. Наибольшее их количество, свыше 5000, размещено в США, на втором месте – страны ЕС, где построено свыше 1,5 тыс. ЦОД; на третьем – азиатские страны, включая Китай, Японию, Индию. В России функционирует 255 ЦОД. Основным направлением использования дата-центров стало обучение больших языковых моделей, что позволит сформировать более совершенные алгоритмы искусственного интеллекта.

Согласно прогнозам, мировые инвестиции в дата-центры вырастут с 0,6 трлн долл. в 2025 г. до 1,6 трлн долл. в 2030 г. Инвестиционные расходы в ЦОД уже превысили глобальный спрос на нефть.

Строительство центров обработки данных в США уже привело к тому, что на них пришлось 4% от общего потребления электроэнергии в стране. К 2030 г. потребление вырастет на 50–200% (Крупнов, Моттаева, 2025), поэтому их доля составит от 6 до 12% от общего потребления электроэнергии в США.

Проблемой при составлении прогнозов и анализе является отраслевая принадлежность ЦОД, поскольку далеко не все из них следует напрямую относить к отрасли «Информационные технологии». Каждый из ЦОД создается для решения специфических задач, связанных с применением искусственного интеллекта в определенных отраслях экономики.

20–25% общего рынка, связанного с потреблением услуг ЦОД, напрямую относится к отрасли «Информационные технологии»; 23% спроса на услуги формируется финансовым сектором экономики; 20% – сектором здравоохранения; 15% – производством автотранспорта; остальное – в сферах розничной торговли, развлечений, обрабатывающей промышленности, госуправления. В будущем отраслевая структура спроса на услуги дата-центров может измениться: доля розничной торговли, включая электронную коммерцию, а также госуправления будет возрастать¹³.

¹³ URL: <https://www.tadviser.ru/index.php>

Оценка энергопотребления по данным таблиц «Затраты – Выпуск»

Таблицы «Затраты – Выпуск» используются для прогнозирования выпуска отраслей экономики на основе предположений об изменении спроса – внутреннего и внешнего. Почему этот инструмент лучше, чем, например, топливно-энергетический баланс, в котором отражены прямые затраты энергии в отраслях экономики в процессе ее производства и преобразования?

Основное преимущество таблиц «Затраты – Выпуск» заключается в возможности расчета полных затрат ресурса (в данном случае – электроэнергии) на производство видов конечной продукции. Сама отрасль строительства потребляет определенный объем энергии в год – при изменениях объемов строительных работ эта цифра будет пропорционально меняться. Но реальный спрос на энергию, генерируемый строительством, больше. В строительстве используются металлы, цемент, стройматериалы, для производства которых также потребляется электроэнергия. Полная потребность в энергии, генерируемая строительством, равна сумме прямых энергозатрат непосредственно в строительстве и косвенных энергозатрат в отраслях, поставляющих строительству свои товары или услуги, предусматривающие косвенные затраты. Через косвенный перенос энергии на продукты она может экспортироваться за счет экспорта энергоемких продуктов отечественного производства – например, через металлы, производство которых энергоемко.

Модель переноса стоимости промежуточного потребления отдельных продуктов на себестоимость конечных продуктов, которая базируется на данных и методологии таблиц «Затраты – Выпуск», широко используется для оценки вклада различных отраслей в экономику через анализ спроса на конечную продукцию. Для этого рассчитываются коэффициенты полных затрат на отдельные промежуточные продукты, которыми могут быть энергоресурсы, ИТ-услуги, сельхозпродукты и др., с последующей оценкой доли затрат на данные товары или услуги в структуре конечного спроса. В частности, расчет вклада затрат на энергетические ресурсы в белорусской экономике проведен в работе (Быков, Роднянский, Хаустович, Шутилин, 2019). Данный расчет базируется на известных методиках оценки «энергетической составляющей» различных товаров и услуг на основе коэффициентов полных затрат. Те же методики, при их адаптации для использования данных межрегиональных таблиц «Затраты – Выпуск», широко применяются для оценки «углеродного следа», которая позволяет оценить зависимость выбросов CO₂ при сжигании минерального топлива в регионе X от конечного спроса на продукцию во всех регионах, для производства которой прямо или косвенно используется энергия, произведенная в регионе X. Подобные расчеты сейчас проводятся для оценки вклада конечного спроса на товары и услуги отдельных стран или даже городов в глобальные выбросы парниковых газов (Shirov, Kolpakov, 2022; Широ, Никитин, Горбунова, Нелюбина, Колпаков, 2023).

Методология «Затраты – Выпуск» позволяет определить вклад определенного товара или услуги в такие показатели, как ВВП, выпуск, импорт, а также в конечный спрос, включающий конечное потребление, валовое накопление и экспорт. В данном случае рассмотрим задачу распределения произведенной электроэнергии на конечные продукты для оценки отраслевой структуры энергопотребления в экономике.

В расчетах по странам Юго-Восточной Азии будут использованы данные стандартизированных таблиц «Затраты–Выпуск», формируемых Азиатским банком развития¹⁴. Показатели таблиц для каждой страны оценены в млн долл. США по номинальному обменному курсу в текущих ценах.

¹⁴ Economic Insights from Input–Output Tables for Asia and the Pacific. July 2022. Manila, Asian Development Bank, 2022. 217 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.22617/TCS220300-2>

Таблицы для каждой экономики за один период представлены одним листом и состоят из трех сегментов. Схематически структура таблиц показана в табл. 1. Первый сегмент, или матрица промежуточных затрат, расположен слева сверху. В нем для каждой отрасли, обозначенной в шапке таблицы, показана структура промежуточных затрат. Названия отраслей, поставляющих промежуточную продукцию, обозначены в левом столбце, а сами значения объемов поставок промежуточной продукции приведены в строках таблицы. Структура промежуточных затрат в каждом столбце показывает «рецептуру» производства соответствующего товара или услуги. Обозначим сумму отечественных промежуточных затрат по каждой отрасли i как $\sum id_i$, где i – порядковый номер отрасли в столбцах.

В таблицах АБР выделяют 35 отраслей экономики, соответственно, размерность левого верхнего сегмента таблиц составляет 35×35 . Дополнительно, 36-й строкой, показаны суммы промежуточного импорта по каждой отрасли, обозначенные как im_i .

В нижнем сегменте таблицы приведены два показателя – валовая добавленная стоимость и выпуск. В таблицах АБР валовая добавленная стоимость не разделена на составляющие (оплата труда, прибыль, налоги и амортизация), а приводится отдельной строкой. Обозначим выпуск каждой отрасли i как x_i . Тогда ВДС, произведенная в каждой отрасли (va_i), будет равна разнице между выпуском, суммой отечественных промежуточных затрат и промежуточного импорта: $va_i = x_i - \sum id_i - im_i$.

В правом сегменте таблицы представлены элементы конечного спроса на товары и услуги – конечное потребление, валовое накопление и экспорт. В строках 1–35 показан конечный спрос на отечественные товары и услуги каждой отрасли; в строке 36 – конечный спрос на импорт, без разделения на отрасли. Обозначим конечный спрос на отечественные товары или услуги каждой отрасли j как $y_{отеч j}$, спрос на конечный импорт – как ym , где j – номер отрасли в строках.

Таблица 1

Структура таблиц «Затраты – Выпуск» АБР

Отрасль / Отрасль	1. Сельское хозяйство	2. Добыча природных ресурсов	...	17. Электроэнергия	18. Торговля	...	Конечный спрос
1. Сельское хозяйство	...	...	...	...	...	...	$y_{отеч 1}$
2. Добыча природных ресурсов	...	...	...	...	...	...	$y_{отеч 2}$
...
17. Электроэнергия	eid_1	eid_2	...	eid_{17}	eid_{18}	...	$efd = y_{отеч 17}$
18. Торговля	...	...	...	...	...	...	$y_{отеч 18}$
...
36. Импорт	im_1	im_2	...	im_{17}	im_{18}	...	ym
ВДС	$x_1 - \sum id_1 - im_1$	$x_2 - \sum id_2 - im_2$	...	$x_{17} - \sum id_{17} - im_{17}$	$x_{18} - \sum id_{18} - im_{18}$...	
Выпуск	x_1	x_2	...	x_{17}	x_{18}	...	

Источник. Economic Insights from Input–Output Tables for Asia and the Pacific. July 2022. Manila, Asian Development Bank, 2022. 217 p. DOI: <https://dx.doi.org/10.22617/TCS220300-2>

Вид деятельности «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» обозначен под номером 17. Выпуск услуг электроэнергетики будет равен x_{17} . Обозначим промежуточное потребление электроэнергии в каждой отрасли i как eid_i . Конечное потребление электроэнергии обозначим как efd , при этом $efd = y_{отеч 17}$.

Согласно базовому тождеству Леонтьева, для отрасли 17, как и для любой другой отрасли экономики, должно соблюдаться равенство между ресурсами и их использованием. Ресурсами в данном случае являются выпуск и импорт; использование равно сумме промежуточного и конечного спроса на услуги отрасли. Примем допущение о пренебрежимо малых суммах экспорта и импорта электроэнергии для большинства экономик, в сравнении с объемами выпуска, т. е. $im_{17} \cong 0$. Тогда

$$x_{17} = \sum_{i=1}^{35} eid_i + ffd, \quad (1)$$

где x_{17} – выпуск отрасли 17 «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды», млн долл.;

eid_i – промежуточный спрос на электроэнергию со стороны отрасли i , млн долл.;

efd – конечный спрос на электроэнергию, отражающий ее потребление домохозяйствами, млн долл.

Задача состоит в распределении вектор-строки промежуточных затрат отраслей экономики на отечественную электроэнергию EID , состоящей из элементов eid_i , на вектор-столбец конечного спроса на товары и услуги $Y_{отеч j}$, состоящего из элементов $y_{отеч j}$.

Например, электроэнергия используется в металлургии; далее металл поступает в отрасли производства машин и оборудования, транспортных средств; конечная продукция этих отраслей поступает на рынок для удовлетворения конечного спроса как конечное потребление, валовое накопление и экспорт. В итоге определенная доля выработанной электроэнергии входит в себестоимость конечной продукции, отнесенной к отраслям производства машин и оборудования, транспортных средств.

Отдельного рассмотрения заслуживает элемент диагонали матрицы промежуточных затрат eid_{17} , который назовем «энергия в энергии». В некоторых случаях он принимает значения, превышающие 30% от выпуска отрасли x_{17} . В диагонали матрицы промежуточных затрат обычно отражается повторный счет, например: мука для выпечки хлеба в пищевой промышленности; детали автомобилей в производстве транспортных средств. Элемент eid_{17} также, как правило, отображает повторный счет электроэнергии, возникающий в процессе ее преобразования и передачи – от электростанций в электросети, преобразование электрической энергии в тепловую. Если переносить на стоимость готовой продукции $y_{отеч j}$ весь выпуск отрасли x_{17} , то общая сумма энергопотребления в экономике может быть завышена за счет включения повторного счета eid_{17} , поэтому данный элемент следует исключить из дальнейших расчетов и распределять на конечную продукцию только промежуточные затраты электроэнергии eid_i в других отраслях, когда $i \neq 17$.

Также требует пояснения экономический смысл показателя $efd = y_{отеч 17}$, который означает конечный спрос на услуги отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды». Потребители услуг отрасли делятся на две группы: коммерческие потребители и домохозяйства. Поставки электроэнергии первой группе потребителей представлены элементами eid_i , где i – номер отрасли, потребляющей электроэнергию. В этом случае электроэнергия является промежуточным продуктом. Поставки же электроэнергии как конечного продукта представлены показателем efd , или $y_{отеч 17}$. В этом случае основными потребителями являются домохозяйства.

Таким образом, основным показателем, характеризующим потребление отечественной электроэнергии в экономике, является чистый спрос на электроэнергию ned со стороны коммерческих потребителей, принадлежащих к различным отраслям, за исключением самой отрасли электроэнергетики, а также домохозяйств, который равен объему ее выпуска, за исключением повторного счета:

$$ned = x_{17} - eid_{17} = \sum_{j=1}^{35} eid_j - eid_{17} + efd, \quad (2)$$

где ned – чистый спрос на электроэнергию в экономике, млн долл.;

eid_{17} – элемент диагонали матрицы прямых затрат, отражающий потребление электроэнергии в энергетике, или «энергия в энергии», млн долл.

Далее рассмотрим методику расчета переноса стоимости показателя ned на конечный спрос на товары и услуги $Y_{отеч\ i}$.

На первом этапе рассчитаем вектор-строку коэффициентов прямых затрат на услуги отрасли 17 «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» с элементами kei_i для каждой отрасли i по формуле:

$$kei_i = \begin{cases} \frac{sid_i}{x_i}, & \text{если } i = 17 \\ 0, & \text{если } i \neq 17 \end{cases}, \quad (3)$$

где kei_i – коэффициент прямых затрат на электроэнергию отрасли i ;

sid_i – промежуточный спрос на электроэнергию со стороны отрасли i , юаней;

x_i – выпуск отрасли i , юаней.

Целью расчета является вектор-столбец коэффициентов полных затрат на услуги отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» KEY с элементами key_j . Коэффициенты полных затрат как раз позволяют оценивать потребление электроэнергии в зависимости от значений конечного спроса, а не выпуска, т. е. если в коэффициентах прямых затрат в знаменателе находится выпуск, то у коэффициентов полных затрат в знаменателе – конечный спрос на товары и услуги $Y_{отеч\ j}$. Для расчета применим матричную формулу:

$$KEY = ((E - A_{отеч})^{-1})^T \cdot KEI^T, \quad (4)$$

где KEY – вектор-столбец коэффициентов полных затрат на электроэнергию key_j для каждого вида конечной продукции j ;

E – единичная матрица размерностью 35×35 , в которой все элементы равны нулю, а элементы диагонали равны 1;

$A_{отеч}$ – матрица коэффициентов прямых затрат на отечественные товары и услуги размерностью 35×35 ;

$((E - A_{отеч})^{-1})^T$ – транспонированная матрица полных затрат отечественных товаров и услуг на 1 юань конечного спроса;

KEI – вектор-строка коэффициентов прямых затрат на услуги отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» с элементами kei_i для каждой отрасли i ;

KEI^T – вектор-строка коэффициентов прямых затрат на услуги отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды», транспонированная в вектор-столбец.

Теперь, зная конечный спрос $y_{отеч j}$ на продукцию каждой отрасли j , можно рассчитать потребление электроэнергии в каждой отрасли экономики:

$$ey_j = \begin{cases} (key_j + 1) \cdot y_{отеч j}, & \text{если } j = 17 \\ key_j \cdot y_{отеч j}, & \text{если } j \neq 17 \end{cases} \quad (5)$$

где ey_j – конечный спрос на электроэнергию в структуре затрат на производство конечной продукции отрасли j , юаней;

key_j – коэффициент полных затрат на электроэнергию в отрасли j ;

$y_{отеч j}$ – спрос на конечную продукцию отечественного производства как элемент вектор-столбца конечного спроса на отечественную продукцию $Y_{отеч}$.

На основе формул (2) и (5) рассчитаем баланс чистого спроса на электроэнергию:

$$ned = \sum_{j=1}^{35} eid_j - eid_{17} + efd = \sum_{j=1}^{35} ey_j. \quad (6)$$

При этом доля отрасли j в общем размере чистого спроса на электроэнергию составляет:

$$dey_j = \frac{ey_j}{ned}. \quad (7)$$

Анализ энергопотребления в странах Юго-Восточной Азии

Анализ проводится для выявления закономерностей изменения спроса на электроэнергию в зависимости от времени, уровня дохода, темпов экономического роста, отраслевой структуры энергопотребления. Источником данных являются таблицы «Затраты – Выпуск» размерностью 35x35 отраслей, подготовленные Азиатским банком развития¹⁵. Показатели таблиц измерены в текущих долларах США по номинальному обменному курсу.

Подготовка исходных данных. Использована выборка данных по девяти странам региона, включая: Китай, Индию, Японию, Южную Корею, Индонезию, Бангладеш, Пакистан, Казахстан и Камбоджу. Эти страны дифференцированы по уровню дохода на душу населения от низкого (Камбоджа, Бангладеш) до высокого (Япония, Южная Корея). Период исследования охватывает 23 года – с 2000 по 2022 г., при этом использованы данные не за все годы подряд, а за 2000, 2007, 2010 гг. и далее с интервалом в 3 года. В общей сложности временной ряд охватывает 7 измерений, а вся база для исследования представлена панельными данными, включающими 63 измерения по каждому показателю.

Для выявления факторов, определяющих спрос на электроэнергию, сформирован перечень показателей на основе приведенной выше методики, применение которой позволило рассчитать вклад каждой отрасли j в конечное потребление электроэнергии dey_j . Рассчитанные показатели вклада каждой отрасли в общее конечное потребление электроэнергии рассматривались как по отдельности, так и объединялись в группы. В итоге был рассчитан следующий перечень показателей для каждой страны s за период времени t :

¹⁵ URL: <https://www.adb.org/what-we-do/data/regional-input-output-tables>

$year$ – номер года (2000–2022);

dey_{jt}^c – вклад отрасли j в чистый спрос на электроэнергию в стране c в году t , % от чистого спроса на электроэнергию;

ned_t^c – чистый спрос на электроэнергию, млн долл. по курсу;

$ned_goods_t^c$ – доля отраслей, производящих товары, и строительства в общем объеме чистого спроса на электроэнергию, %;

$ned_hous_t^c$ – доля домохозяйств в общем объеме чистого спроса на электроэнергию, %;

$ned_service_t^c$ – доля отраслей, производящих услуги (кроме строительства) в общем объеме чистого спроса на электроэнергию, %;

$ned_gdp_t^c$ – чистый спрос на электроэнергию, % к ВВП;

gdp_t^c – номинальный ВВП, млн долл. по курсу;

$population_t^c$ – численность населения, чел.;

$gdp_pc_t^c$ – номинальный ВВП на душу населения, тыс. долл. в год;

$ned_pc_t^c$ – чистый спрос на электроэнергию на душу населения, долл. * 10 на человека в год.

Для оценки показателей $population$, а также производных от него $gdp_pc_t^c$ и $ned_pc_t^c$, использованы данные сайта <https://database.earth/population>¹⁶.

Анализ динамики чистого спроса на электроэнергию по странам на основе показателя ned_t^c показывает общий объем прямого потребления электроэнергии домохозяйствами и косвенного потребления в отраслях экономики, в рамках производственных цепочек. Спрос измерен в денежном эквиваленте – долларах по номинальному обменному курсу, поэтому на величину показателя влияют не только размеры физического потребления электроэнергии, но и цены. Объемы энергопотребления по странам в динамике показаны на рис. 1.

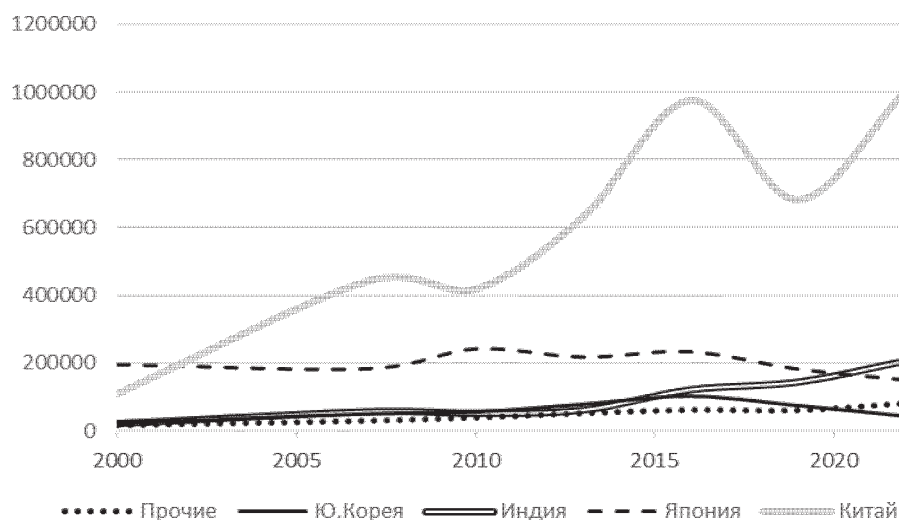


Рис. 1. Чистый спрос на электроэнергию ned_t^c в странах Юго-Восточной Азии, в млн долл. по номинальному обменному курсу

Источник. Рассчитано по данным URL: <https://www.adb.org/what-we-do/data/regional-input-output-tables>

Основным потребителем и производителем электроэнергии в регионе является Китай. Доля Китая в выборке стран выросла с 30% в 2000 г. до 68% в 2022 г. При этом Китай обеспечил 80% прироста спроса на электроэнергию в выборке стран в течение исследуемого периода.

¹⁶ URL:<https://database.earth/population>

Энергопотребление в странах с наиболее высоким уровнем дохода – Японии и Южной Кореи – начало снижаться с 2016 г. Даже в Китае рост не является линейным – в 2019 г. произошел спад до уровня 2016 г. Для полноты картины нужно сопоставить показатели спроса на электроэнергию с динамикой ВВП и другими факторами.

Анализ вклада отраслей экономики в общее энергопотребление различных стран выявил высокую неоднородность данных, которая показывает различия между странами в отраслевой структуре энергопотребления. В табл. 2 приведены примеры высокой дифференциации экономик по структуре энергопотребления.

Структура потребления электроэнергии зависит от международной специализации страны: в Бангладеш – это текстильное производство, в Казахстане – добыча полезных ископаемых. При этом разницу в структуре энергопотребления не всегда удается сразу объяснить. К примеру, высокую долю домохозяйств в энергопотреблении Пакистана в 2000 г. можно объяснить слабо развитой промышленностью; высокую долю строительства в Китае – инвестиционным бумом в стране; высокую долю госуправления в Камбодже в 2000 г. – особенностью социально-экономической модели.

Таблица 2

Страновые различия, с максимальными и минимальными значениями доли отрасли/сектора в общем энергопотреблении

Отрасль/сектор	Страна, год	Доля отрасли/сектора в конечном потреблении электроэнергии dey_{jt}^E , %
Домохозяйства	Китай, 2007	8,5
	Пакистан, 2000	70,0
Строительство	Китай, 2016	31,0
	Камбоджа, 2022	0,2
Добыча полезных ископаемых	Казахстан, 2000	14,8
	Южная Корея, 2013	0,0
Госуправление	Камбоджа, 2000	11,3
	Бангладеш, 2000	0,5
Текстильное производство	Бангладеш, 2007	25,0
	Казахстан, 2019	0,0

Источник. Авторская разработка.

Построение общей корреляционной матрицы и выявление отраслевых закономерностей. Далее построена корреляционная матрица размерностью 41x41, включающая 35 относительных показателей dey_{jt}^E для каждой отрасли, а также общие показатели чистого спроса на электроэнергию, номинального ВВП, численности населения, года, ВВП и энергопотребления на душу населения. На основе корреляционной матрицы выявлены некоторые общие для исследуемых стран тенденции в изменении отраслевой структуры энергопотребления. В частности, рассматривались коэффициенты доли отраслей в энергопотреблении dey_{jt}^E во взаимосвязи с номинальным ВВП на душу населения $gdp_{pc}_t^E$. Коэффициенты парной линейной корреляции Пирсона для ряда показателей, которые оказались наиболее тесно связаны с ВВП на душу населения, показаны в табл. 3.

Как рост ВВП на душу населения влияет на отраслевую структуру энергопотребления

Отрасль j	Коэффициент парной линейной корреляции Пирсона между dey_j^c и $gdp_pc_t^c$
Сельское и лесное хозяйство	-0,51
Текстильное производство	-0,48
Производство стройматериалов	-0,42
Производство продуктов деревообработки	-0,35
Образование	0,50
Производство оптики и электроники	0,51
Производство транспортных средств	0,52
Государственное управление	0,55
Розничная торговля	0,76
Здравоохранение	0,84

Источник. Авторская разработка.

Данные таблицы имеют следующую интерпретацию. С ростом уровня дохода меняется отраслевая структура экономики: первичный сектор уступает место вторичному, затем основную долю в ВВП занимает третичный сектор – сфера услуг. С ростом уровня дохода снижается доля сельского хозяйства, текстильного производства, деревообрабатывающей промышленности в экономике. Соответственно, снижается и доля электроэнергии, потребляемой прямо и косвенно в данных отраслях. Наоборот, отмечается увеличение вклада наукоемкой промышленности и сферы услуг в экономику и, соответственно, растет доля этих отраслей в чистом спросе на электроэнергию. Представленное объяснение логично, но оно выглядит слишком упрощенным. Все же вклад первичного, вторичного и третичного секторов в ВВП не полностью соответствует вкладу этих секторов в энергопотребление. Кроме того, отдельно нужно рассматривать потребление электроэнергии домохозяйствами, которое может варьировать от 8,5 до 70%.

Наиболее тесная положительная корреляция установлена между ВВП на душу населения и долей электроэнергии, потребляемой в здравоохранении, что можно объяснить не только ускоренным развитием данной отрасли в странах с высоким доходом, но и демографической ситуацией в Японии и Южной Корее: с увеличением среднего возраста населения расходы на здравоохранение растут. Рост энергопотребления в розничной торговле в странах с высоким доходом связан, вероятно, с автоматизацией процессов торгового обслуживания.

Следует также отметить, что некоторые тренды, которые в теории должны были проявиться, в исследуемой выборке оказались незамеченными. Например, не наблюдалось увеличения энергопотребления в секторе наземного транспорта, связанного с распространением электротранспорта. Также не увеличивалась заметно доля финансов и информационных технологий в энергопотреблении, несмотря на распространение блокчейн-технологий и центров обработки данных. Вероятно, если такое увеличение и происходило, оно пока что не является статистически значимым.

Статистический анализ укрупненных показателей. Корреляционный анализ отраслевых показателей спроса не позволил выявить существенных значимых закономерностей в изменении структуры энергопотребления в выборке стран по мере роста уровня дохода с таким расчетом, чтобы построить регрессионную модель, объясняющую изменение объемов и структуры энергопотребления. В этой связи отраслевые показатели были укрупнены и объединены в три группы – $ned_goods_t^c$, $ned_hous_t^c$ и $ned_service_t^c$. Далее эти укрупненные показатели были сопоставлены с прочими общими для экономики показателями из приведенного выше перечня. Общая усредненная структура потребления электроэнергии по всем странам за анализируемый период показана на рис. 2.

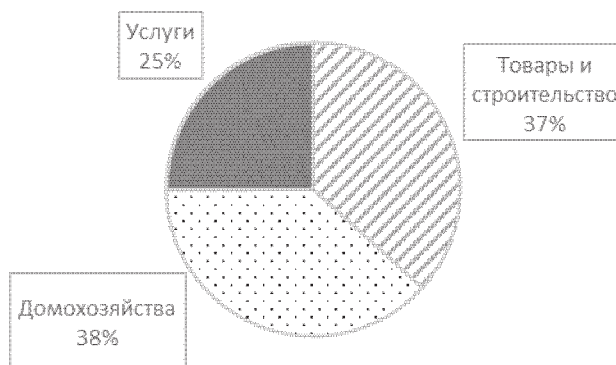


Рис. 2. Структура конечного потребления электроэнергии, в среднем по выборке, % от чистого спроса

Источник. Авторская разработка.

Несмотря на доминирование сферы услуг в ВВП большинства стран мира, на этот сектор в среднем приходится меньшая доля потребляемой электроэнергии. Домохозяйства потребляют свыше 1/3 услуг отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды».

Корреляционная матрица для укрупненных показателей представлена в табл. 4. В большинстве случаев корреляционная связь между показателями слабая. В ряде случаев корреляция присутствует, но она не имеет логического обоснования в рамках предмета исследований. Например, это касается корреляции между номинальным ВВП и долей энергопотребления со стороны производителей товаров и строительства (0,49); между номинальным ВВП и долей энергопотребления домохозяйствами (-0,54); между номинальным ВВП и численностью населения (0,61).

Таблица 4

Корреляционная матрица для укрупненных показателей

	<i>year</i>	<i>ned_goods</i>	<i>ned_hous</i>	<i>ned_service</i>	<i>ned_gdp</i>	<i>gdp</i>	<i>population</i>	<i>gdp_pc</i>	<i>ned_pc</i>
<i>year</i>	1,00								
<i>ned_goods</i>	-0,08	1,00							
<i>ned_hous</i>	0,15	-0,83	1,00						
<i>ned_service</i>	-0,10	-0,37	-0,20	1,00					
<i>ned_gdp</i>	-0,18	0,04	-0,04	0,00	1,00				
<i>gdp</i>	0,23	0,49	-0,54	0,03	0,21	1,00			
<i>population</i>	0,05	0,75	-0,57	-0,37	0,29	0,61	1,00		
<i>gdp_pc</i>	0,15	-0,08	-0,30	0,66	-0,03	0,32	-0,23	1,00	
<i>ned_pc</i>	0,10	-0,03	-0,34	0,61	0,13	0,36	-0,18	0,95	1,00

Источник. Авторская разработка.

В итоге обнаружено только три пары показателей с тесной корреляционной связью, которая имеет логическое обоснование. Коэффициенты корреляции между показателями каждой пары показаны в выделенных ячейках табл. 4, они имеют определенную экономическую интерпретацию.

1. По мере роста душевых доходов увеличивается доля энергопотребления в сфере услуг. Корреляция между показателями положительная и составляет 0,66. В целом данный вывод тривиален. Как правило, во всех экономиках растет доля сферы услуг в ВВП по мере роста доходов, следовательно, увеличивается и энергопотребление в сфере услуг.

2. Показатели доли домохозяйств и доли производства товаров и строительства в чистом спросе на электроэнергию связаны отрицательной корреляцией с коэффициентом -0,83. Сфера производства и домохозяйства являются конкурирующими направлениями энергопотребления, вне зависимости от уровня душевого дохода (рис. 3). Если увеличивается спрос со стороны сферы производства, включая строительство, доля домохозяйств в энергопотреблении снижается. Примером является Китай, где сфера производства доминирует, а на долю домохозяйств приходится не более 15% общего потребления электроэнергии. И наоборот, при сравнительно невысоком энергопотреблении со стороны сферы производства доля домохозяйств растет. Такая ситуация характерна для Индонезии, Пакистана, Японии, Бангладеш, Камбоджи.

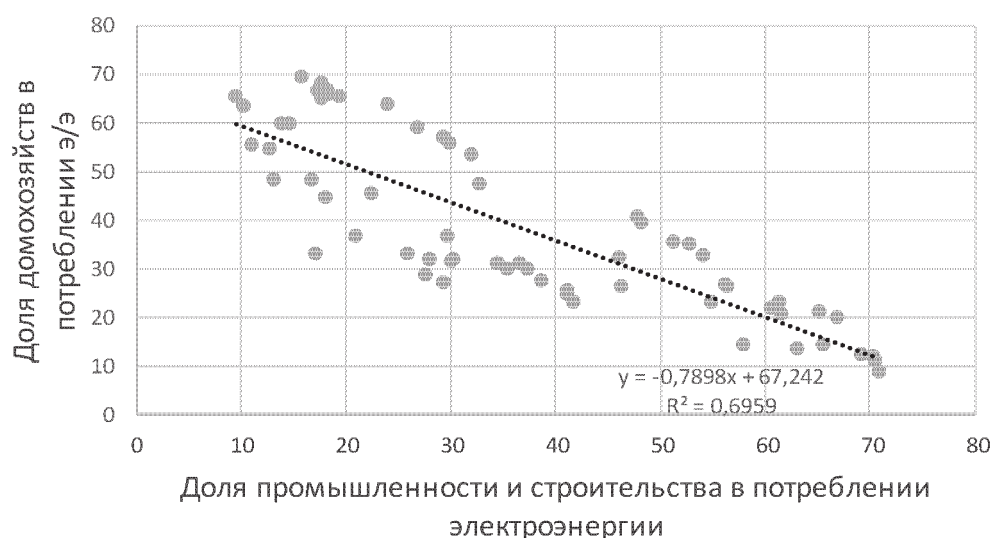


Рис. 3. Взаимосвязь между потреблением электроэнергии в промышленности и строительстве и в домохозяйствах

Источник. Авторская разработка.

Данный вывод может оказаться полезным в прогнозировании спроса на электроэнергию. Например, в период строительного бума и индустриализации, что было характерно для Китая, создаются значительные генерирующие мощности. Затем, по мере роста доходов, отраслевая структура экономики меняется: строительство сокращается, промышленность перестает расти, растет сфера услуг. Будет ли при этом сокращаться энергопотребление? Этот вопрос важен: если да, тогда некоторые генерирующие мощности могут оказаться излишними. Рис. 4 показывает, что при сокращении энергопотребления в промышленности и строительстве будет увеличиваться спрос со стороны домохозяйств, поэтому спрос на электроэнергию не обязательно снизится. Данный вывод подтверждается далее.

3. Рассмотрим третью пару показателей, взаимосвязь которых свидетельствует в пользу отсутствия снижения энергопотребления по мере роста ВВП. Корреляция между ВВП на душу населения и чистым спросом на электроэнергию на душу населения равна 0,95.

Объем потребления электроэнергии в расчете на душу населения растет прямо пропорционально росту ВВП на душу населения во всех странах выборки. Эта тенденция характерна как для бедных стран с доходами до 2 тыс. долл. на душу населения в год по

номинальному курсу (Бангладеш, Пакистан, Камбоджа, Индия) и экономик со средним уровнем душевого дохода в 10 тыс. долл. в год (Казахстан, Китай, Индонезия), так и для экономик с душевым доходом свыше 30 тыс. долл. – Японии и Южной Кореи.

Фактически рост энергопотребления в долгосрочной перспективе объясняется одним фактором – ростом ВВП. Соответственно, было построено однофакторное регрессионное уравнение:

$$\begin{aligned} ned_pc &= 4,3^* \cdot gdp_pc + 1,5^{**}, \\ R^2 &= 0,91, DW = 1,53, n = 63, *) p < 0,001, **) p > 0,5, \end{aligned} \quad (8)$$

где ned_pc – потребление электроэнергии (чистый спрос) на душу населения, номинальных долл.* 10 на человека в год;

gdp_pc – номинальный ВВП на душу населения, тыс. долл. в год;

n – количество измерений в панельных данных.

Несмотря на высокий коэффициент детерминации R^2 , качество регрессионного уравнения (8) недостаточно высоко, чтобы использовать его в анализе и прогнозировании. Во-первых, свободный коэффициент 1,5 не является статистически значимым, поскольку p -уровень его значимости превышает 0,5, а должен быть не выше 0,05. Во-вторых, значение статистики Дарбина–Уотсона при количестве переменных в модели 1 и числе измерений 63 должно превышать величину 1,62¹⁷, чтобы подтвердить отсутствие автокорреляции остатков в модели. Рассчитанная статистика $DW = 1,53$ свидетельствует о наличии автокорреляции, что делает модель (8) непригодной в анализе и прогнозировании.

Далее, наблюдаемые значения аргумента и функции уравнения (8) были прологарифмированы, построено новое регрессионное уравнение (9). От каждого значения показателей ned_pc и gdp_pc был взят десятичный логарифм, и получены новые ряды данных для пары показателей. Логарифмирование означает переход от абсолютных значений факторов к приростным. Экономический смысл уравнения (9) следующий: оно показывает, к какому процентному изменению функции приводит изменение аргумента на 1 процент.

$$\begin{aligned} \log ned_pc &= 1,0^* \cdot \log gdp_pc + 0,6^*, \\ R^2 &= 0,94, DW = 2,29, n = 63, *) p < 0,001. \end{aligned} \quad (9)$$

Уравнение (9) характеризуется более высоким качеством: p -уровни значимости обоих коэффициентов в модели находятся в пределах нормы; статистика Дарбина–Уотсона свидетельствует об отсутствии автокорреляции остатков. Уравнение (9) пригодно для анализа и прогнозирования, оно объясняет 94% всех случаев изменения энергопотребления исключительно приростом ВВП. Его экономический смысл сводится к тому, что 1% прироста ВВП на душу населения ведет к росту на 1% чистого потребления электроэнергии на душу населения. Рис. 4 иллюстрирует прямую пропорциональную зависимость прироста душевого потребления электроэнергии от прироста душевого ВВП.

¹⁷ URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/o/OLEGKOL/U/Tab/tables.docx>

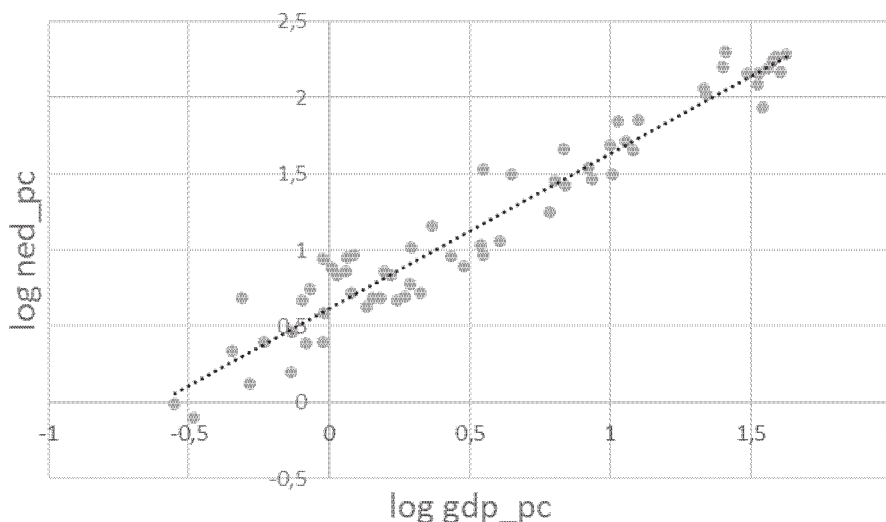


Рис. 4. Рост ВВП на душу населения на 1% приводит к росту на 1% потребления электроэнергии на душу населения

Источник. Авторская разработка.

* * *

Основным результатом проведенного исследования является очередное подтверждение того факта, что с ростом уровня благосостояния в экономике потребление электрической энергии растет. Эта зависимость сквозная, охватывающая страны с различным уровнем дохода за период более чем в 20 лет. Сегодня Бангладеш по структуре экономики и уровню дохода похожа на Китай 40-летней давности, а современная китайская экономика, в свою очередь, структурно напоминает Японию 1970–80-х гг., которая в то время являлась мировым лидером высокотехнологичной промышленности. Представленные панельные данные по сути являются аналогом временного ряда длиной во много десятилетий, где каждая экономика на 20-летнем отрезке представляет разные стадии развития многолетнего отрезка наблюдений за одной страной.

В итоге показано, что при существенном росте ВВП на душу населения, который сопровождается изменением отраслевой структуры, переходом от аграрной модели развития к индустриальной и далее – к постиндустриальной, доля отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» в ВВП существенно не меняется. Потребление электроэнергии растет пропорционально росту ВВП, и нет оснований полагать, что эта закономерность изменится в будущем.

При установлении цели по росту энергоэффективности экономики, что означает стремление к более медленному росту энергопотребления в сравнении с ростом ВВП, нужно интерпретировать энергоэффективность как потребление первичных энергоресурсов, минерального топлива, на единицу ВВП. Следует сокращать потребление угля, нефти и газа, а развитие возобновляемых источников и атомной энергетики обеспечивает экономику вторичной, электрической и тепловой энергией без существенных ограничений, поэтому задачи по сокращению выработки энергии из возобновляемых источников не ставится.

Ожидаемое увеличение потребления электроэнергии со стороны электротранспорта, центров обработки данных и других сфер – это не проблема возможного снижения энергоэффективности экономики, а результат нормального хода научно-технического прогресса, когда энергия находит

все новые сферы применения, заменяя минеральное топливо, а также затраты труда, не только физического, но и умственного.

Таблицы «Затраты – Выпуск» зарекомендовали себя как приемлемый источник данных для решения поставленной задачи – анализа факторов, определяющих спрос на электроэнергию. Нужно учитывать некоторые особенности их применения, включая возможные изменения цен на электроэнергию. В составе отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» находится не только электроэнергетика, но и обеспечение экономики тепловой энергией и водой. В анализируемом регионе ЮВА преимущественно с теплым климатом доля теплоснабжения в общем объеме услуг отрасли сравнительно невелика.

Главные преимущества таблиц «Затраты – Выпуск» в сравнении с другими известными методами проявятся в решении задачи прогнозирования спроса на электроэнергию на основе прогнозов роста ВВП и изменений в технологической и отраслевой структуре экономик. Полученные в данной работе результаты являются необходимым подготовительным этапом для решения задачи прогнозирования энергопотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

Быков А.А., Роднянский Д.В., Хаустович Н.А., Шутилин В.Ю. 2019. Экономический анализ «воплощенной энергии»: методология и возможности применения. *Белорусский экономический журнал*. № 4. С. 71–85. [Bykau A.A., Rodnyanskiy D.V., Khaustovich N.A., Shutilin V.Y. 2019. Embodied Energy Economic Analysis: Methodology and Potential Applications. *Belorusskiy ekonomicheskii zhurnal*. No 4. PP. 71–85. (In Russ.)]

Веселов Ф.В., Соляник А.И., Аликин Р.О. 2023. Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЕЭС России. *Известия РАН. Энергетика*. №1. С. 57–71.

[Veselov F.V., Solyanik A.I., Alikin R.O. Effect of Electric Vehicle Adoption on Rower Demand and Daily Load Profiles within the United Energy System of Russia. *Izvestiya RAN. Energetika*. No 1. PP. 7–71. (In Russ.)]

Корнейчук О.С., Федоров И.В. 2018. Прогнозирование объемов потребления электроэнергии на основе статистических данных. *Прикладная математика и фундаментальная информатика*. Т. 5. №1. С. 13–20. [Korneychuk O.S., Fedorov I.V. 2018. Electricity Consumption Forecasting Based on Statistical Data. *Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika*. Vol. 5. No 1. PP. 13–20. (In Russ.)]

Крупнов Ю.А., Моттаева А.Б. 2017. Тенденции и перспективы развития мирового энергетического рынка: прогноз на 2025 год. *E-Management*. Т.8. №1. С. 43–54. [Krupnov Yu.A., Mottaeva A.B. 2017. Trends and Development Prospects of the Global Energy Market: 2025 Forecast. *E-Management*. Vol. 8. No 1. PP. 43–54. (In Russ.)]

Макаров А.А., Митрова Т.А., Веселов Ф.В., Галкина А.А., Кулагин В.А. 2017. Перспективы электроэнергетики в условиях трансформации мировых энергетических рынков. *Теплоэнергетика*. №10. С. 5–16. [Makarov A.A., Mitrova T.A., Veselov F.V., Galkina A.A., Kulagin V.A. 2017. Prospects for the Electric Power Industry in the Context of Global Energy Market Transformation. *Teploenergetika*. Vol. 10. PP. 5–16. (In Russ.)]

Хаустович Н.А. 2016. *Энергоэффективность экономики*. Минск: Мисанта. 187 с. [Khaustovich N.A. 2016. *Energy Efficiency of the Economy*. Minsk: Misanta. 187 p. (In Russ.)]

Широв А.А., Никитин К.М., Горбунова И.А., Нелюбина М.В., Колпаков А.Ю. 2023. Анализ ключевых направлений низкоуглеродной трансформации экономики Москвы на период до 2035 года. *Экономика региона*. Т. 19. Вып. 1. С. 244–258. [Shirov A.A., Nikitin K.M., Gorbunova I.A., Nelyubina M.V., Kolpakov A.Yu. 2023. Analysis of the Key Directions of Low-Carbon Transformation of the Moscow Economy for the Period until 2035. *Economika regiona*. Vol. 19. Iss. 1. PP. 244–258. (In Russ.)] DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-19

Shirov A., Kolpakov A. 2022. Russia's Contribution to Achieving Global Decarbonization Goals. In: Devezas T.C., Leitro J.C.S., Yegorov Y., Chistilin D. (eds) *Global Challenges of Climate Change*. Vol. 1. World-Systems Evolution and Global Futures. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-16470-5_13

ANALYSIS OF ELECTRICITY DEMAND IN SOUTHEAST ASIAN COUNTRIES USING INPUT–OUTPUT TABLES

Aliaksei Bykau¹, Wang Qiang², Olga Kolb¹

¹ Belarus State Economic University (Minsk, Belarus).

² SinoHydro Corporation Limited (Minsk, Belarus).

Corresponding author: Aliaksei Bykau (aliaksei.bykau@yandex.ru).

ABSTRACT. Input–Output tables for nine Southeast Asian countries for the period from 2000 to 2022 are analyzed to identify patterns in electricity demand. A methodology for estimating final electricity demand, eliminating double-counting using Input–Output tables, is proposed. It is found that 80% of the growth in electricity demand in this sample of countries over this period is due to increased energy consumption in China. Structural changes in electricity consumption are primarily explained by changes in the sectoral structure of the economy. As per capita income increases, the contribution of agriculture and textile production to total electricity consumption decreases, while that of knowledge-intensive industry and the service sector increases. Electricity consumption in industry and construction, on the one hand, and household consumption, on the other, are competing sectors. A direct proportional relationship is established between the growth of GDP per capita and the increase in electricity consumption per capita.

KEYWORDS: electricity, Input–Output tables, Southeast Asia.

JEL-code: C67, O53, Q41.

DOI: 10.46782/1818-4510-2026-2-17-36

Received 12.03.2026

In citation: Bykau A., Wang Qiang, Kolb O. 2026. Analysis of Electricity Demand in Southeast Asian Countries Using Input–Output Tables. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 2. PP. 17–36. DOI: 10.46782/1818-4510-2026-2-17-36 (In Russ.)

