

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ В КИТАЕ НА ОСНОВЕ ТАБЛИЦ «ЗАТРАТЫ-ВЫПУСК»

Алексей Александрович Быков

доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе
Учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет», Минск, Республика Беларусь, aliaksei.bykau@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2005-9061>

Ван Цян

глава Представительства Sinohydro Corporation Limited в Республике Беларусь, Минск, Республика Беларусь, 9244708@qq.com, <https://orcid.org/0009-0002-7348-845X>

Аннотация. В рамках настоящего исследования авторами построен прогноз потребления электроэнергии в Китае с детализацией по отраслям экономики на период до 2040 года. Исходными данными послужили таблицы «затраты-выпуск» за 2022 год, разработанные Азиатским банком развития (АБР). В качестве экзогенных условий для прогнозирования использованы показатели макроэкономического прогноза по Китаю, составленного австралийским Институтом Лоуи (Lowy Institute). Сделано допущение, что по мере роста среднедушевых доходов в Китае отраслевая структура энергопотребления будет приближаться к структуре, характерной для стран с более высоким уровнем дохода на душу населения, в частности, для Японии. Прогнозирование спроса на электроэнергию в Китае осуществляется путем решения оптимизационной задачи. В качестве целевой функции в оптимизационной модели используется прогнозный индекс валового внутреннего продукта (ВВП) для китайской экономики на 2040 год по отношению к 2022 году. Основным ограничением является минимальное суммарное расхождение между отраслевой структурой энергопотребления Китая и соответствующей структурой Японии за прошлые годы. В модели также учтены ожидаемые технологические изменения, влияющие на объемы энергопотребления в отраслях экономики. Спрос на электроэнергию в каждой отрасли определяется как произведение объема конечного спроса на товары или услуги данной отрасли на соответствующий коэффициент полных затрат электроэнергии. Основные структурные изменения в энергопотреблении Китая к 2040 году будут обусловлены сдвигами в отраслевой структуре конечного спроса на товары и услуги. Ожидается сокращение спроса на электроэнергию со стороны строительного сектора и его увеличение со стороны домохозяйств. Прогнозируется, что индекс роста потребления электроэнергии окажется не ниже индекса роста валового внутреннего продукта.

Ключевые слова: Азиатский банк развития (АБР), Китай, электроэнергия, таблицы «затраты-выпуск», прогнозирование

Для цитирования: Быков А.А., Ван Ц. 2025. Прогнозирование потребления электроэнергии в Китае на основе таблиц «затраты-выпуск». *Международный бизнес*. 4 (14). С. 5–22. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-4-14-5-22>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Быков А.А., Ван Ц., 2025

Введение

Целью работы является составление прогноза спроса на электроэнергию в Китае на период до 2040 года на основе данных таблиц «затраты-выпуск». Данный прогноз предусматривает расчет показателей общего объема и отраслевой структуры энергопотребления. Методология «затраты-выпуск» позволяет распределить стоимость произведенной электроэнергии между конечными продуктами. Методика соответствующего расчета представлена в работе (Колб, Цян 2023). В отличие от известных методов анализа и прогнозирования энергопотребления, оперирующих физическими единицами измерения электроэнергии, в таблицах «затраты-выпуск» все показатели выражены в денежных единицах. Данный подход не лишен недостатков, связанных с различиями в тарифах на электроэнергию по странам и отраслям экономики, однако он обладает существенным преимуществом: таблицы «затраты-выпуск» являются общепризнанным инструментом прогнозирования, позволяющим проводить сценарные расчеты и прогнозировать выпуск на основе изменений конечного спроса (Чепель 2019), в том числе с использованием методов оптимизации (Черняков, Шаланов, Шаланова и др. 2025).

За период с 2000 по 2024 год китайская экономика выросла примерно в 16 раз при оценке ВВП по номинальному обменному курсу. За тот же период потребление электроэнергии в Китае увеличилось с 1,3 до 10 тысяч ТВт•ч. Вместе с тем статистика прошлых периодов не позволяет напрямую экстраполировать наблюдавшиеся тенденции на будущее. Темпы роста китайской экономики в перспективе могут отличаться от исторических значений. Вероятно, изменится и ее отраслевая структура, поскольку Китай уже фактически прошел стадии строительного бума и ускоренной индустриализации. Кроме того, на будущие объемы энергопотребления влияют технологические изменения как в самом энергетическом секторе, так и в других отраслях экономики. Следовательно, при составлении долгосрочного прогноза энергопотребления необходимо получить ответы на три вопроса: какими темпами будет расти китайская экономика к 2040 году? какой будет отраслевая структура экономики к указанному моменту? как изменятся затраты на электроэнергию в стоимости товаров и услуг?

Зависимость энергопотребления от ВВП

При прогнозировании используются ранее выявленные закономерности, описывающие измерения энергопотребления в странах Юго-Восточной Азии с различными уровнями дохода. В частности, с целью выявления закономерностей изменения спроса на электроэнергию были проанализированы таблицы «затраты-выпуск» для девяти стран Юго-Восточной Азии за период 2000–2022 годов, составленные Азиатским банком развития¹. В матрице «затраты-выпуск» размерностью 35х35 отраслей исследованы потоки услуг отрасли 17 «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды», а также выявлены изменения структуры промежуточного и конечного спроса на услуги данной отрасли в динамике по девяти странам.

Установлено, что основным фактором структурных изменений потребления электроэнергии выступают сдвиги в отраслевой структуре экономики. По мере роста душевого дохода сокращается вклад сельского хозяйства и текстильного производства в общее потребление электроэнергии, тогда как вклад наукоемкой промышленности и сферы услуг возрастает. Потребление электроэнергии в промышленности и строительстве, с одной стороны, и потребление электроэнергии домохозяйствами — с другой, представляют собой конкурирующие направления: в одних странах доминирует первое, в других — второе. Установлена прямая пропорциональная зависимость между ростом ВВП на душу населения и увеличением потребления электроэнергии на душу населения (рис. 1)². На рисунке по горизонтальной оси отложен десятичный логарифм ВВП на душу населения, рассчитанного в долларах США по номинальному курсу. По вертикальной оси отложен десятичный логарифм потребления электроэнергии на душу населения в долларах США по номинальному курсу. График построен на основе панельных данных, включающих 63 наблюдения. Выявленная зависимость характеризуется высоким коэффициентом детерминации и отсутствием автокорреляции остатков.

¹ Economic Insights from Input-Output Tables for Asia and the Pacific. July 2022. *Asian Development Bank (ADB)*. URL: <https://www.adb.org/publications/economic-insights-input-output-tables-asia-pacific> (дата обращения: 15.11.2025).

² Там же.

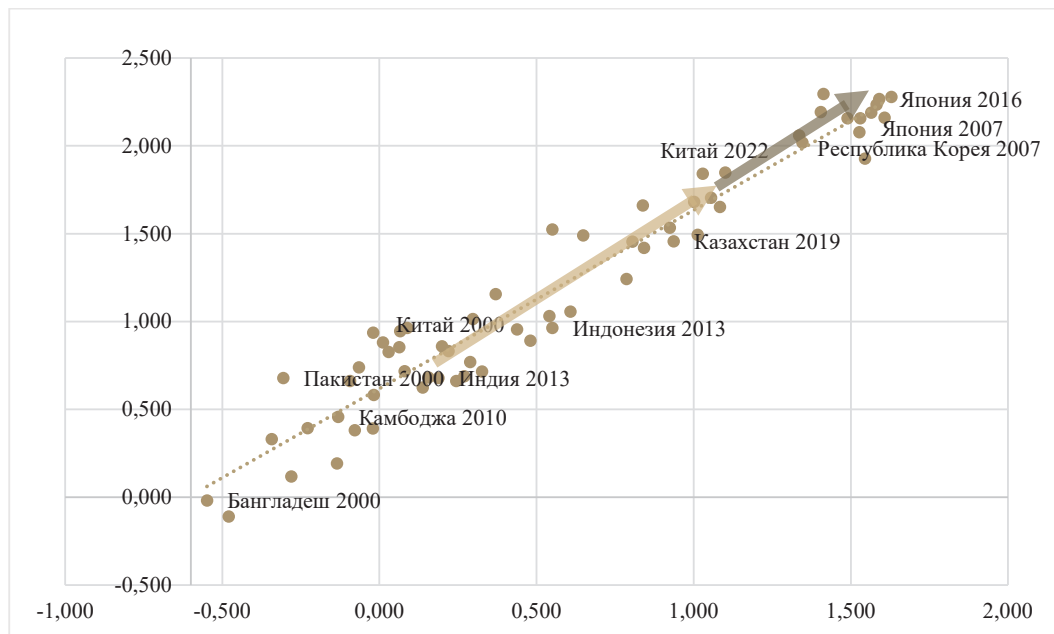


Рис. 1. Зависимость прироста потребления электроэнергии на душу населения от прироста ВВП на душу населения
Источник: рассчитано и составлено авторами.

Показатели, приведенные на рис. 1, позволяют прогнозировать структуру энергопотребления следующим образом. По мере роста душевого дохода изменяется не только общий уровень энергопотребления на душу населения, но и отраслевая структура энергопотребления, причем данные изменения носят разнонаправленный характер. Общий тренд, представленный на рис. 1, построен на основе выборки стран за 23-летний период. На начало и на конец рассматриваемого периода анализируемые страны существенно различались по уровню душевого дохода. За весь период наблюдений душевой доход в каждой стране увеличился, равно как и уровень энергопотребления. Если расположить все страны на одной шкале и учесть, что уровень энергопотребления растет пропорционально душевому доходу, то можно прогнозировать энергопотребление на период, превышающий 23 года. За рассматриваемый период страны с наиболее низким уровнем дохода (Камбоджа, Бангладеш, Пакистан) повысили душевые показатели дохода и энергопотребления до уровня Индии; Индия — до уровня Индонезии и Китая; Китай — до уровня Республики Корея и Японии. В конечном счете общий тренд отражает прогнозируемое изменение энергопотребления в стране, которая на длительном временном интервале последовательно проходит стадии низкого, среднего, высокого и очень высокого уровня душевого дохода.

Поскольку в процессе экономического развития изменяется не только уровень дохода, но и отраслевая структура экономики, структура энергопотребления страны может быть спрогнозирована на основе отраслевой структуры энергопотребления другой страны с более высоким уровнем дохода, к которому первая страна стремится с течением времени. Например, для Камбоджи и Бангладеш целевым ориентиром при прогнозировании энергопотребления могут стать Индия и Индонезия; для Индии — Китай; для Китая — Япония и Республика Корея.

На рис. 1 светлой стрелкой обозначена траектория, пройденная Китаем в период с 2000 по 2022 год, на протяжении которого наблюдался рост душевого дохода и душевого энергопотребления. Темной стрелкой показан прогнозируемый путь на 2022–2040 годы, в результате которого структура энергопотребления Китая, как ожидается, приблизится к структуре энергопотребления Японии по состоянию на 2007 год.

Принимая во внимание описанный подход к долгосрочному прогнозированию объема и структуры спроса на электроэнергию, его можно конкретизировать путем выделения следующих этапов:

- определение целевого индекса ВВП на конец прогнозного периода на основе обобщения известных макроэкономических прогнозов;
- выбор страны-эталона для оценки будущей отраслевой структуры спроса, выпуска и энергопотребления в исследуемой стране, а также оценка структуры энергопотребления страны-ориентира;
- формулировка и решение оптимизационной задачи, в которой целевой функцией выступает прогнозный индекс ВВП, а основным ограничением устанавливается минимальное отклонение структуры энергопотребления в исследуемой стране от структуры страны-ориентира;
- учет технологических инноваций, влияющих на будущую отраслевую структуру спроса на электроэнергию и выпуска, а также учет прочих ограничений в модели;
- решение оптимизационной задачи в несколько итераций и расчет показателей конечного спроса на электроэнергию в составе ВВП с детализацией по отраслям экономики.

Методика прогнозирования спроса на электроэнергию

Прогноз спроса на электроэнергию строится на основе решения оптимизационной задачи. В качестве целевой функции выступает значение индекса ВВП, заданное сценарным прогнозом для китайской экономики $I_{gdp}^{forecast}$:

$$I_{gdp} \rightarrow I_{gdp}^{forecast} \quad (1)$$

Аргументами, подбираемыми для выполнения условия (1), являются элементы вектор-столбца конечного спроса на отечественные товары и услуги $Y'_{отеч}$, причем $I_{gdp} = f(Y'_{отеч})$. Иными словами, подбирается такая структура спроса на конечную продукцию каждой отрасли, при которой индекс ВВП приближается к прогнозному. Параллельно с изменением структуры конечного спроса трансформируется структура потребления электроэнергии в экономике: исходная структура задана вектор-столбцом EY , новая — вектор-столбцом EY' . При этом меняется и общий объем потребления электроэнергии.

Основным ограничением в оптимизационной задаче является приближение отраслевой структуры потребления электроэнергии к структуре страны-эталона, которое оценивается предельно допустимым отклонением Δ :

$$\sum_{j=1}^n \left| \frac{ey'_j}{ned'} - \frac{ey_j^{etalon}}{ned^{etalon}} \right| \leq \Delta, \quad (2)$$

где:

ey'_j — прогнозируемый конечный спрос на электроэнергию со стороны отрасли j , долл. США;

ned' — прогнозируемый общий чистый спрос на электроэнергию в экономике, долл. США;

ey_j^{etalon} — конечный спрос на электроэнергию со стороны отрасли j в стране-эталоне, долл. США;

ned^{etalon} — общий чистый спрос на электроэнергию в стране-эталоне (базовый показатель), долл. США.

Расчет предельно допустимого отклонения отраслевой структуры энергопотребления от структуры страны-эталона представляет собой суммирование абсолютных величин разностей между долей отрасли j в общем прогнозируемом чистом энергопотреблении исследуемой страны ned' и долей той же отрасли в энергопотреблении эталонной страны ned^{etalon} при условии равенства производства и потребления электроэнергии (за исключением повторного счета).

Повторный счет равен значению диагонального элемента матрицы промежуточного потребления для отрасли 17 (энергетика), то есть объему услуг данной отрасли, направленных на собственные производственные нужды. Иными словами, показатель чистого спроса на электроэнергию ned равен объему ее выпуска за вычетом значения упомянутой диагональной ячейки. Следовательно, показатель ned равен сумме конечного и промежуточного спроса на электроэнергию по всем отраслям, за исключением самой отрасли 17 «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды».

Расчетный индекс ВВП (1) равен отношению прогнозируемого номинального ВВП к номинальному ВВП базового периода:

$$I_{gdp} = gdp'/gdp, \quad (3)$$

В свою очередь, прогнозный ВВП gdp' определяется на основе изменений спроса. Для его вычисления используется формула, связывающая ВВП с прогнозным выпуском.

Формула для прогнозирования ВВП на основе изменения выпуска имеет следующий вид:

$$gdp' = \sum_{j=1}^n x'_j \cdot va_j, \quad (4)$$

где:

x'_j — прогнозируемый выпуск отрасли j ;

va_j — доля валовой добавленной стоимости (ВДС) и чистых налогов в выпуске отрасли j , рассчитываемая как разность между единицей и коэффициентом прямых затрат данной отрасли.

Вектор-строка выпуска рассчитывается путем умножения матрицы полных затрат отечественной продукции $(E - A_{отеч})^{-1}$ на вектор-столбец конечного спроса на отечественные товары и услуги в прогнозном периоде $Y'_{отеч}$:

$$X' = (E - A_{отеч})^{-1} \cdot Y'_{отеч}, \quad (5)$$

Таким образом, для достижения прогнозного значения индекса ВВП $I_{gdp}^{forecast}$ необходимо изменить вектор-столбец спроса на конечную продукцию с $Y_{отеч}$ на $Y'_{отеч}$. При изменении спроса выполняется пересчет конечного спроса на электроэнергию по всем отраслям экономики, и вектор-столбец конечного спроса на электроэнергию изменяется с EY на EY' .

Путем подбора определяются такие элементы вектор-столбца $Y'_{отеч}$ и соответствующие им элементы вектор-столбца EY' , для которых выполняются условия (1) и (2). Поиск оптимума осуществляется при неизменных технологических коэффициентах.

Корректировка технологических коэффициентов осуществляется на следующей итерации расчета, при этом пересчитываются показатели eu'_j и ned' без изменения индекса ВВП I_{gdp} . Такой упрощенный подход позволяет избежать дополнительных итераций при поиске оптимума и учитывать изменения только коэффициентов полных затрат энергии на единицу конечного спроса, а не всех технологических коэффициентов экономики. В противном случае потребуются учитывать последствия внедрения любых новых технологий в экономике на протяжении планируемого периода, а не только связанных с энергетикой, что представляет собой отдельную сложную задачу.

Экзогенные условия прогнозирования спроса на электроэнергию в Китае

Согласно прогнозу PwC, к 2050 году мировая экономика может вырасти более чем вдвое, существенно опередив темпы роста населения. В среднем темпы роста развивающихся рынков могут быть приблизительно вдвое выше, чем

в развитых экономиках. В результате к 2050 году Китай станет крупнейшей экономикой мира, Индия – второй, а Индонезия – четвертой. Ожидается, что к 2050 году Соединенные Штаты могут переместиться на третье место в мировом рейтинге по объему ВВП, а доля стран ЕС-27 в глобальном ВВП может снизиться ниже 10%.

К 2040 году номинальный ВВП Китая достигнет 36,6 трлн долл. США, численность населения составит 1394,7 млн человек, а ВВП на душу населения — 26,24 тыс. долл. США.

Если сопоставить прогнозируемый номинальный ВВП с его фактическим уровнем по состоянию на 2022 год (18 трлн долл. США), то увеличение в два раза за 18 лет соответствует среднегодовому темпу прироста 3,9%.

Согласно более пессимистичному прогнозу, в долгосрочной перспективе Китай столкнется с существенным замедлением экономического роста вследствие демографического спада и постепенного замедления темпов роста производительности труда. Ожидается, что среднегодовые темпы экономического роста снизятся примерно до 3% к 2030 году и до 2% — к 2040 году. Даже при таком сценарии Китай достигнет уровня Соединенных Штатов по номинальному ВВП к 2030 году, а в последующий период превысит объем американской экономики на 15%³.

Согласно оценке исследователей австралийского Lowy Institute, основным препятствием, сдерживающим экономический рост Китая, выступает демографическая ситуация. По прогнозам Организации Объединенных Наций (ООН), к 2050 году численность трудоспособного населения Китая сократится на 20% по сравнению с уровнем 2022 года, а доля населения старше 65 лет достигнет 25% от общей численности. Другим важным фактором замедления китайской экономики, по мнению исследователей, выступает сокращение инвестиций в жилищное строительство, ранее значимого драйвера роста, с текущих 14% к ВВП до 4% ВВП в 2050 году. Согласно прогнозу, начиная с 2040 года в Китае прекратится создание дополнительных жилых площадей и будет осуществляться лишь поддержание существующего жилого фонда в прежнем объеме.

Кроме того, ожидается замедление роста с последующим сокращением инвестиций в инфраструктуру — автомобильные и железные дороги, электростанции, по уровню которых в процентах к ВВП Китай в настоящее время превосходит другие экономики мира в 3–5 раз. Наряду с демографическим фактором в качестве причины замедления инвестиционной активности в будущем рассматривается высокий уровень задолженности государства, частного сектора и домохозяйств.

³ The Long View. How Will the Global Economic Order Change by 2050? February 2017. *PricewaterhouseCoopers (PwC)*. URL: <https://www.pwc.com/gx/en/world-2050/assets/pwc-the-world-in-2050-full-report-feb-2017.pdf> (дата обращения: 17.11.2025).

Исследователи Lowy Institute указывают на слабый рост производительности как на еще один фактор замедления китайской экономики — в среднем 1% в год до 2050 года. Согласно расчетам, при таком уровне роста производительности ВВП Китая увеличится немногим более чем на 30% к 2050 году⁴.

Последний вывод слабо коррелирует с результатами других исследований производительности труда в Китае. Согласно расчетам А.В. Готовского, с 1979 по 2023 год производительность труда выросла в 8 раз в секторе услуг, в 10 раз — в первичном секторе и в 22 раза — во вторичном секторе. Рост производительности происходил относительно постоянными темпами на протяжении всего периода наблюдения. В целом за рассматриваемый период производительность труда в Китае увеличилась в 24 раза, причем около половины данного роста обусловлено перетоком кадров из секторов и с рабочих мест с низкой производительностью в сектора и на рабочие места с более высокой производительностью (Готовский 2025). В обозримой перспективе на фоне сокращения трудоспособного населения Китая основные усилия правительства и предпринимательского сектора будут направлены на повышение общей производительности, в том числе за счет межотраслевого перетока кадров. В этой связи прогноз среднегодового роста производительности на уровне 1% представляется заниженным.

Аналогичный подход к анализу производительности наблюдается в Индии, однако если в Китае рост оценивается ретроспективно (постфактум), то в Индии он рассматривается как приоритетное направление и основной источник долгосрочного экономического роста. В долгосрочной государственной программе развития Индии до 2047 года «Самодостаточный Бхарат» (Atmanirbhar Bharat) переток экономических ресурсов из низкопроизводительных отраслей в более высокопроизводительные призван обеспечить структурную трансформацию экономики, рост конкурентоспособности и увеличение реального ВВП (Сурендер 2023).

Возвращаясь к прогнозу Lowy Institute для Китая до 2050 года, следует отметить, что наиболее вероятным сценарием аналитики считают среднегодовой прирост ВВП на уровне 2–3%. В условиях ожидаемого сокращения численности населения и трудовых ресурсов годовой прирост производительности при данном сценарии окажется существенно выше 1%. Принимая среднегодовой темп прироста ВВП на уровне 2,5%, можно рассчитать, что общий прирост с 2022 по 2040 год составит 56%⁵.

Таким образом, в качестве экзогенного фактора изменения спроса на электроэнергию в Китае к 2040 году был использован преимущественно пессимистический прогноз развития китайской экономики, составленный Lowy Institute.

⁴ Rajah R., Leng A. Revising Down the Rise of China. *Lowy Institute*. URL: <https://www.lowyinstitute.org/publications/revising-down-rise-china> (дата обращения: 17.11.2025).

⁵ Там же.

Согласно данному прогнозу номинальный ВВП Китая увеличится с 18 трлн долл. США в 2022 году до 28 трлн долл. США в 2040 году (в ценах 2022 года). В качестве страны-эталона при определении структуры энергопотребления Китая на 2040 год была взята Япония (уровень 2007 года). Предполагается, что китайская экономика по своей структуре приблизится к японской за 33-летний период.

Учет технологических инноваций

Согласно прогнозу Международного энергетического агентства, глобальный спрос на электроэнергию будет расти существенно быстрее общего потребления первичной энергии и к 2035 году увеличится на 40%. Рост спроса будет наблюдаться в домохозяйствах (за счет увеличения использования бытовой техники и кондиционеров), в обрабатывающей промышленности, в электротранспорте, в центрах обработки данных, а также в сфере электрического отопления. При этом вклад электротранспорта составит до 15% общего прироста спроса на электроэнергию, а вклад центров обработки данных — до 10%⁶.

Интенсивное развитие центров обработки данных (ЦОД) привело к возникновению феномена, в рамках которого данные объекты превращаются в крупнейших потребителей электроэнергии. В Соединенных Штатах на их долю уже приходится до 4% общего потребления электроэнергии, а к 2030 году спрос на электроэнергию со стороны центров обработки данных возрастет на 50–200% (Крупнов, Моттаева 2025). Со временем данная составляющая энергопотребления должна будет проявиться и в статистике Китая, который также стремится к технологическому лидерству в сфере искусственного интеллекта.

В рамках Системы национальных счетов услуги центров обработки данных относятся к промежуточному потреблению, а не к конечному. Конечный спрос на информацию, предоставляемую ЦОД, формируется такими отраслями, как финансы, здравоохранение, розничная торговля и обрабатывающая промышленность. Стоимость электроэнергии, потребляемой центрами обработки данных, переносится именно на эти отрасли.

Другой ключевой технологией, существенно изменяющей структуру потребления электроэнергии, является развитие электротранспорта. В настоящее время каждый второй новый автомобиль, продаваемый в Китае, является электрическим. На долю Китая приходится свыше 65% мировых продаж новых электромобилей. Ожидается, что к 2030 году доля электромобилей на китайском автомобильном рынке достигнет 75%⁷. В этой связи представляет интерес оценка

⁶ World Energy Outlook 2025. *International Energy Agency (IEA)*. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2025> (дата обращения: 18.11.2025).

⁷ Raasch Ph. 2025. The EV Report 2025 (What No One Tells You). *The German Autopreneur*. URL: <https://germanautopreneur.com/p/ev-report-2025-china-europe-usa-market-data> (дата обращения: 20.11.2025).

того, как изменится структура потребления электроэнергии в Китае при доминировании электротранспорта.

При оценке потребления топлива и энергии во всех транспортных системах следует учитывать, что железнодорожный транспорт уже в значительной степени электрифицирован, тогда как грузовой автомобильный транспорт электрифицирован в наименьшей степени. В настоящее время изменения в потреблении электроэнергии самой транспортной отраслью минимальны, и в будущем они окажутся не столь существенными по сравнению с изменениями общего энергопотребления. В статистике заправка или зарядка автомобилей личного пользования относится не к отрасли «Транспорт», а к показателям конечного спроса на топливо или электроэнергию со стороны домохозяйств. Следовательно, увеличение доли электромобилей на автомобильном рынке Китая приведет, главным образом, к увеличению конечного спроса на электроэнергию со стороны домохозяйств.

Данный показатель также возрастет за счет распространения других энергопотребляющих технологий, включая системы умного дома, электрическое и геотермальное отопление и кондиционирование, интеллектуальные энергосети, бытовую робототехнику и электронную торговлю.

При составлении прогноза энергопотребления на 2040 год внедрение технологических инноваций учитывалось авторами не только посредством показателей конечного спроса на товары и услуги, но и через изменение технологических коэффициентов. При этом корректировались коэффициенты полных затрат электроэнергии по отраслям экономики, характеризующие энергоемкость производства. Сделано предположение, что в прогнозном периоде энергоемкость производства во всех электрифицированных отраслях добывающей и обрабатывающей промышленности, а также в строительстве сократится на 10% за счет внедрения энергосберегающих технологий. В сельском и лесном хозяйстве коэффициент полных затрат на электроэнергию увеличится на 20% за счет перехода к использованию электрифицированной сельскохозяйственной техники. В отраслях сферы услуг коэффициенты полных затрат на электроэнергию возрастут в диапазоне от 10 до 100%. Наибольший рост ожидается в наземном транспорте за счет его электрификации, а также в розничной торговле и финансовых услугах вследствие широкого использования информационных услуг в данных отраслях, которые, в свою очередь, становятся крупными потребителями электроэнергии, необходимой для обучения нейросетей.

Основные результаты прогнозирования

Для решения оптимизационной задачи использовалась надстройка «Поиск решения» табличного процессора MS Excel. В целевой функции (1) прогнозный индекс ВВП был задан значением $I_{gdp}^{forecast} = 1,56$. В соответствии с условием (2) предельно допустимое отклонение отраслевой структуры энергопотребления

установлено на уровне $\Delta = 19\%$. Данная величина была определена итерационным путем: сначала выбирались минимальные значения Δ , при которых оптимизационная задача не имела решения. Затем значения Δ последовательно увеличивались до тех пор, пока не удавалось получить решение.

При составлении оптимизационной модели для прогнозирования спроса на электроэнергию наряду с целевой функцией (1) и основным ограничением (2) были введены дополнительные ограничения, уточняющие прогнозную отраслевую структуру китайской экономики.

В частности, в модель добавлено условие ускоренного развития наукоемких отраслей промышленности — производства электроники, машин и оборудования, транспортных средств, а также прочей продукции машиностроения. При общем индексе роста ВВП, равном 1,56, для перечисленных отраслей суммарный индекс выпуска был принят на уровне не ниже 1,7.

Также было введено ограничение, согласно которому суммарный индекс выпуска всех услуг (за исключением строительства) должен превышать общие темпы роста ВВП.

Установлены ограничения на индексы конечного спроса на продукцию сельского хозяйства, добывающей промышленности и пищевых производств: они не должны быть меньше 1, то есть спрос на эти виды продукции не должен снижаться в абсолютном выражении ввиду роста благосостояния общества.

Основные результаты решения оптимизационной задачи продемонстрированы на рис. 2 и 3, а также в таблице 1.

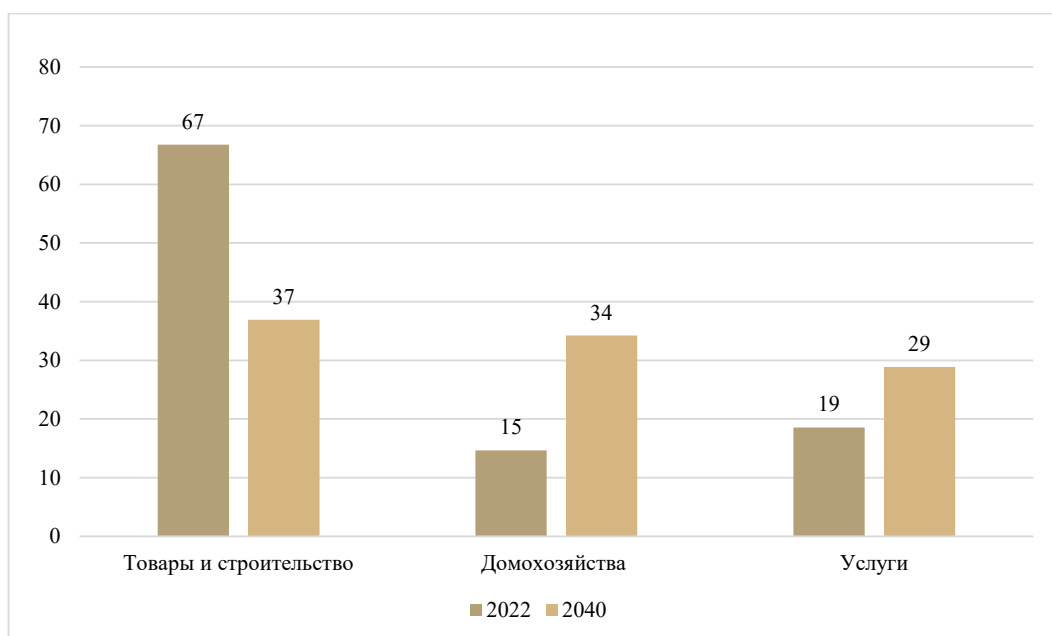


Рис. 2. Укрупненная структура энергопотребления в Китае в 2022 и 2040 гг., % к общему энергопотреблению

Источник: рассчитано и составлено авторами.

В процессе трансформации китайской экономики от индустриальной модели к постиндустриальной ожидается снижение доли производства товаров и рост доли услуг в структуре ВВП, выпуске и занятости. Увеличение доли электроэнергии, потребляемой сектором услуг, при одновременном сокращении ее доли в производстве товаров не является исключением из данной тенденции.

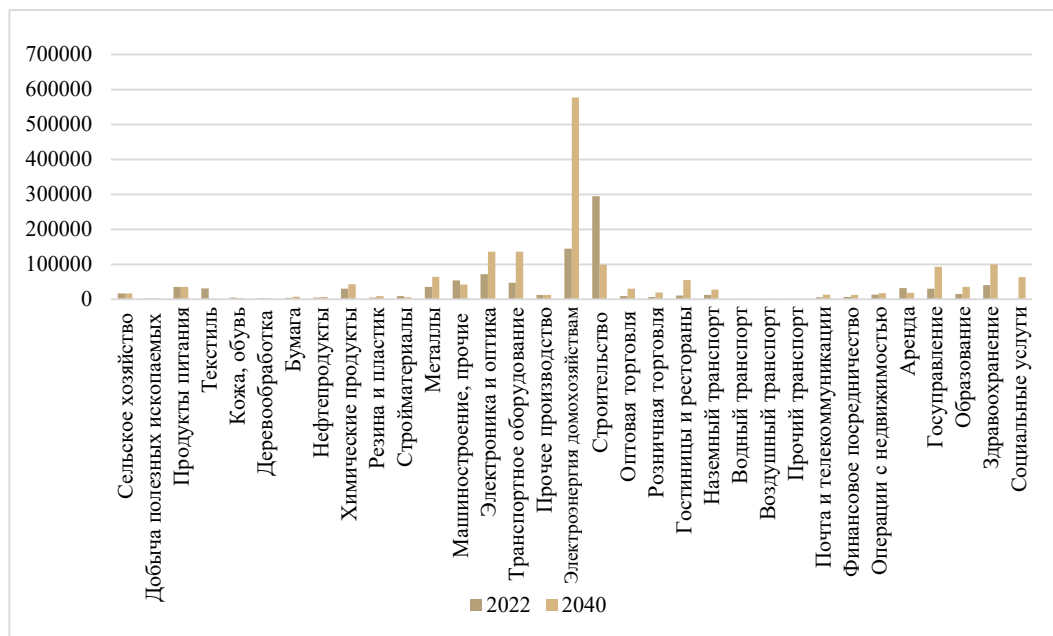


Рис. 3. Отраслевая структура энергопотребления в Китае в 2022 и 2040 гг., млн долл. США по номинальному курсу в ценах 2022 г.

Источник: рассчитано и составлено авторами.

Предполагается, что к 2040 году спрос на электроэнергию сократится в строительстве в 3 раза, при этом увеличится спрос: со стороны домохозяйств — в 4 раза, торговли — в 3 раза, гостиниц и ресторанов — в 5 раз, транспортного сектора — в 2 раза, сфер государственного управления, здравоохранения и социальных услуг — в 2,5–3 раза, машиностроения — в 2–3 раза. Общая доля затрат на электроэнергию в ВВП вырастет с 5,6 до 6,3%. Ожидается, что индекс роста энергопотребления в прогнозируемом периоде составит 176%. Таким образом, энергопотребление в Китае будет расти на 20 процентных пунктов быстрее, чем ВВП.

Данный результат достигнут при экзогенных условиях, которые нельзя назвать самыми благоприятными, в частности, при умеренных темпах экономического роста Китая. Основной вывод проведенного расчета заключается в том, что новые энергетические мощности, возводимые в Китае, вероятно, не окажутся избыточными даже при относительно неблагоприятных сценариях экономического роста. В Китае будет наблюдаться рост спроса на электроэнергию, обусловленный изменениями в отраслевой структуре экономики, а также внедрением

технологических инноваций в сфере электротранспорта, искусственного интеллекта и роботизации.

Рост потребления электроэнергии не означает увеличения энергоемкости ВВП по первичным видам минерального топлива — нефти, газу, углю. В настоящее время основной прирост генерации электроэнергии обеспечивается возобновляемыми источниками энергии, и данная тенденция, по всей вероятности, сохранится.

Таблица 1

Результаты прогнозирования спроса на электроэнергию в Китае

Отрасль экономики	Коэффициент полных затрат на электроэнергию		Индекс конечного спроса		Доля отрасли в спросе на электроэнергию, %	
	2022	2040	2022	2040	2022	2040
Сельское хозяйство	0,025	0,030	1,00	1,00	1,67	1,14
Добыча полезных ископаемых	0,075	0,067	1,00	1,00	0,20	0,10
Продукты питания	0,030	0,027	1,00	1,00	3,48	1,78
Текстиль	0,056	0,050	1,00	0,03	3,05	0,05
Кожа, обувь	0,031	0,028	1,00	0,75	0,45	0,17
Деревобработка	0,056	0,050	1,00	0,86	0,27	0,12
Бумага	0,061	0,055	1,00	1,71	0,41	0,36
Нефтепродукты	0,053	0,048	1,00	1,32	0,49	0,33
Химические продукты	0,089	0,080	1,00	1,45	2,97	2,20
Резина и пластик	0,064	0,058	1,00	1,94	0,48	0,47
Стройматериалы	0,097	0,088	1,00	0,59	0,89	0,27
Металлы	0,092	0,082	1,00	1,84	3,49	3,28
Машиностроение, прочие	0,058	0,052	1,00	0,79	5,37	2,16
Электроника и оптика	0,047	0,043	1,00	1,90	7,10	6,92
Транспортное оборудование	0,046	0,041	1,00	2,91	4,65	6,94
Прочее производство	0,041	0,037	1,00	0,96	1,27	0,63
Энергетика (домохозяйства)	1,024	1,024	1,00	3,98	14,40	32,63
Строительство	0,061	0,055	1,00	0,34	29,31	5,04
Ремонт транспорта	0,000	0,000	1,00	1,00	0,00	0,00
Оптовая торговля	0,018	0,022	1,00	3,42	0,88	2,05
Розничная торговля	0,016	0,032	1,00	3,04	0,63	2,17
Гостиницы и рестораны	0,031	0,034	1,00	4,94	1,10	3,39
Наземный транспорт	0,045	0,090	1,00	2,21	1,23	3,09
Водный транспорт	0,022	0,029	1,00	1,16	0,09	0,07

Окончание таблицы 1

Отрасль экономики	Коэффициент полных затрат на электроэнергию		Индекс конечного спроса		Доля отрасли в спросе на электроэнергию, %	
	2022	2040	2022	2040	2022	2040
Воздушный транспорт	0,027	0,035	1,00	1,16	0,09	0,08
Прочий транспорт	0,030	0,030	1,00	1,19	0,09	0,06
Почта и телекоммуникации	0,034	0,051	1,00	2,39	0,55	1,12
Финансовое посредничество	0,014	0,028	1,00	1,96	0,61	1,36
Операции с недвижимостью	0,013	0,015	1,00	1,31	1,35	1,21
Аренда	0,026	0,031	1,00	0,57	3,14	1,23
Госуправление	0,023	0,027	1,00	3,06	3,02	6,30
Образование	0,018	0,019	1,00	2,42	1,45	2,21
Здравоохранение	0,046	0,055	1,00	2,48	4,00	6,77
Социальные услуги	0,035	0,042	1,00	3,46	1,82	4,30
Услуги домохозяйств	0,000	0,000	1,00	1,00	0,00	0,00

Источник: рассчитано и составлено авторами.

Заключение

Прогнозируемое увеличение доли чистого спроса на электроэнергию в Китае с 5,6 до 6,3% ВВП не выходит за пределы исторически наблюдаемых значений. Согласно расчетам данного показателя на основе таблиц «затраты-выпуск» за период 2000–2022 годов, его величина для Китая колебалась в интервале от 4,8 до 9,4%. Среднее значение по выборке девяти стран Юго-Восточной Азии за весь период наблюдений составило 4,6%, максимальное — 9,6%, минимальное — 2,1%.

Следует отметить некоторые особенности и ограничения представленного прогнозного сценария. В рамках сценария принято допущение о неизменности цены 1 кВт•ч. электроэнергии, в силу чего сформированный прогноз энергопотребления в стоимостном выражении эквивалентен прогнозированию физического объема потребления. В действительности цена электроэнергии определяется балансом спроса и предложения. При дефиците энергоресурсов стоимостной показатель может возрастать, а при снижении спроса на них — уменьшаться. Увеличение доли возобновляемых источников в энергобалансе Китая ведет к удешевлению генерируемой на их основе электроэнергии. Технологические инновации в области хранения энергии и электротранспорта также способны существенно изменить баланс спроса и предложения на рын-

ках электроэнергии и минерального топлива, что приведет к изменению цены 1 кВт•ч., предсказать которое достаточно сложно. На цену энергоресурсов влияют различные форс-мажорные обстоятельства, включая нарушения цепочек поставок энергоресурсов на мировом рынке.

Вместе с тем любая экономика, и особенно китайская, обладающая значительным промышленным и инновационным потенциалом, в долгосрочной перспективе способна адаптироваться к технологическим и геополитическим рискам, в том числе посредством рыночного механизма ценообразования. В этой связи вероятность успешного прогноза потребления электроэнергии в стоимостном выражении представляется более высокой, чем прогноза энергопотребления в физических единицах.

ЛИТЕРАТУРА

Готовский А.В. 2025. Вклад малых и средних предприятий в экономическую динамику Китая и Беларуси. *Белорусский экономический журнал*. 2 (111). С. 33–46. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2025-2-33-46>

Колб О.Д., Цян В. 2023. Энергопотребление в Китае: динамика, основные драйверы и последствия. *Белорусский экономический журнал*. № 4. С. 44–60. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2023-4-44-60>

Крупнов Ю.А., Моттаева А.Б. 2025. Тенденции и перспективы развития мирового энергетического рынка: прогноз на 2025 год. *E-Management*. 8 (1). С. 43–54. <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2025-8-1-43-54>

Сурендер К. 2023. Стратегия развития для будущей Индии и программа «Самодостаточный Бхарат». *Современная мировая экономика*. 1 (4). <https://doi.org/10.17323/2949-5776-2023-1-4-72-90>

Чепель С.В. 2019. Метод «затраты-выпуск» в анализе и прогнозировании: существующие подходы и новые возможности. *Экономика: анализ и прогнозы*. № 2. С. 82–102.

Черняков М.К., Шаланов Н.В., Шаланова О.Н. и др. 2025. Оптимизация структуры межотраслевого баланса. *Вестник академии знаний*. 4 (69). С. 567–572.

FORECASTING ELECTRICITY DEMAND IN CHINA BASED ON INPUT-OUTPUT TABLES

Aliaksei A. Bykau

Doctor of Economic Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus, aliaksei.bykau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2005-9061>

Wang Qiang

Head of the Representative Office of Sinohydro Corporation Limited in the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus, 9244708@qq.com, <https://orcid.org/0009-0002-7348-845X>

Abstract. Within the framework of this study, the authors have constructed a forecast of electricity consumption in China, disaggregated by economic sector, for the period up to 2040. The initial data were the input-output tables for 2022, compiled by the Asian Development Bank (ADB). The exogenous conditions for the forecast are based on macroeconomic projections for China produced by the Australian Lowy Institute. It is assumed that, as per capita income in China rises, the sectoral structure of energy consumption will increasingly resemble that of higher-per-capita-income countries, particularly Japan. Forecasting electricity demand in China is carried out by solving an optimisation problem. The objective function in the optimisation model is the projected gross domestic product (GDP) index of the Chinese economy for 2040 relative to 2022. The main constraint is the minimisation of the total discrepancy between the sectoral structure of energy consumption in China and the corresponding structure of Japan in past years. The model also takes into account anticipated technological changes that affect the volume of energy consumption in economic sectors. Electricity demand in each industry is determined by the product of the final demand for goods or services in that industry and the total input coefficient for that industry. The main structural changes in China's energy consumption by 2040 are driven by changes in the sectoral structure of final demand for goods and services. A decline in electricity demand from the construction sector and an increase in demand from households are expected. The electricity consumption growth index is projected to be no lower than the GDP growth index.

Keywords: Asian Development Bank (ADB), China, electricity, input-output tables, forecasting

Disclosure statement: no conflict of interest was reported by the authors.

For citation: Bykau A., Wang Q. 2025. Forecasting Electricity Consumption in China Based on Input-Output Tables. *International Business*. 4 (14). P. 5–22. <https://doi.org/10.24833/2949-639X-2025-4-14-5-22>

© Bykau A.A., Wang Q., 2025

REFERENCES

- Chepel S.V. 2019. Metod «zatraty-vypusk» v analize i prognozirovanii: sushchestvuyushchie podkhody i novye vozmozhnosti [Cost-Output Method in Analysis and Forecasting: Existing Approaches and New Opportunities]. *Economy: Analysis and Forecasts*. No. 2. P. 82–102. (In Russian)
- Chernyakov M.K., Shalanov N.V., Shalanova O.N. et al. 2025. Optimizatsiya struktury mezhotraslevogo balansa [Optimizing the Structure of the Intersectoral Balance]. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 4 (69). P. 567–572. (In Russian)
- Gotovskiy A.V. 2025. Vklad malykh i srednikh predpriyatiy v ekonomicheskuyu dinamiku Kitaya i Belarusi [Contribution of Small and Medium Enterprises to the Economic Dynamics of China and Belarus]. *Belarusian Economic Journal*. 2 (111). P. 33–46. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2025-2-33-46> (In Russian)
- Kolb O.D., Wang Q. 2023. Energopotreblenie v Kitae: dinamika, osnovnye draivery i posledstviya [Energy Consumption in China: Dynamics, Main Drivers and Consequences]. *Belarusian Economic Journal*. No. 4. P. 44–60. <https://doi.org/10.46782/1818-4510-2023-4-44-60> (In Russian)
- Krupnov Yu.A., Mottaeva A.B. 2025. Tendentsii i perspektivy razvitiya mirovogo energeticheskogo rynka: prognoz na 2025 god [Trends and Prospects for the Development of the Global Energy Market: Forecast for 2025]. *E-Management*. 8 (1). P. 43–54. <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2025-8-1-43-54> (In Russian)
- Surender K. 2023. Development Strategy for Future India and Atmanirbhar Bharat: A Way Forward. *Contemporary World Economy*. 1 (4). <https://doi.org/10.17323/2949-5776-2023-1-4-72-90>