

## ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ В КИТАЕ: ДИНАМИКА, ОСНОВНЫЕ ДРАЙВЕРЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

О.Д. Колб, Ван Цян\*

**Аннотация.** Проведен анализ статистики энергопотребления в Китае за период 1965–2022 гг. Рассмотрены структура используемых энергоресурсов, энергоемкость, выбросы CO<sub>2</sub>. На основе анализа литературных источников показано, что проблема развития энергетического сектора Китая освещается исключительно в контексте анализа экологических эффектов этого развития. Оценена взаимосвязь энергопотребления и экономического роста в Китае. С использованием инструментария «затраты–выпуск» проведена оценка вклада отдельных отраслей экономики в энергопотребление в Китае. Установлено, что наибольший вклад в потребление электрической и тепловой энергии, наряду с самим энергетическим сектором, вносят строительство, производство машин, оборудования, транспортных средств и электроники.

**Ключевые слова:** Китай, энергопотребление, анализ «затраты–выпуск», выбросы CO<sub>2</sub>, энергоемкость.

**JEL-классификация:** O53, Q43, Q52.

**DOI:** 10.46782/1818-4510-2023-4-44-60

*Материал поступил 21.11.2023 г.*

### *Развитие энергетического сектора Китая: базовые показатели*

С 2009 г. Китай стал крупнейшим потребителем энергоресурсов в мире, опередив США и ЕС (рис. 1). По данным Департамента энергетической статистики Наци-

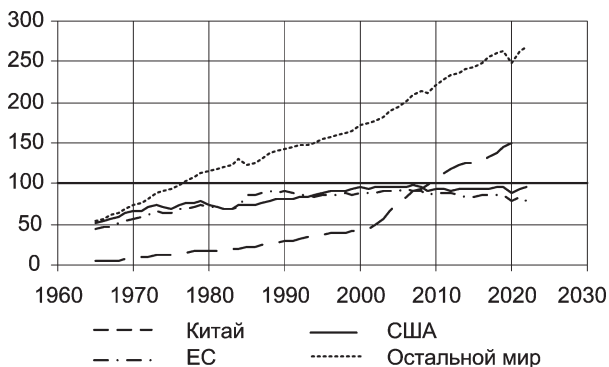


Рис. 1. Потребление первичных энергоресурсов экономиками, 10<sup>18</sup> Дж

*Источник.* Авторская разработка по данным: The Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023. URL: <https://www.energyinst.org/>

онального бюро статистики КНР, за период 1985–2021 гг. китайская экономика выросла более чем в 20 раз, общее энергопотребление увеличилось почти в 7 раз, а производство и потребление электроэнергии – в 20 раз. По состоянию на 2022 г., Китай потребляет 26% энергоресурсов в мире.

Согласно принятым в энергетической статистике правилам, учет производства и потребления энергии происходит в натуральных энергетических единицах – тоннах условного топлива, джоулях, британских термальных единицах и т. д. Каждый вид топлива и энергии характеризуется собственным энергетическим эквивалентом, для пересчета используются специальные таблицы. Потребление первичных энергоресурсов включает все виды минерального топлива (уголь, нефть, природный газ), которые используются для производства вторичной энергии (электрическая и тепловая энергия, топливо) либо затрачиваются напрямую в

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

Ван Цян (9244708@qq.com), Представительство Sinohydro Corporation Limited в Республике Беларусь (г. Минск, Беларусь). <https://orcid.org/0009-0002-7348-845X>

технологических процессах, а также энергию, сгенерированную с использованием возобновляемых источников – солнца, ветра, воды, атомной энергии. Первичные энергоресурсы могут иметь как отечественное, так и импортное происхождение.

В энергетической статистике используется также показатель конечного потребления топлива и энергии, которое может дифференцироваться по отраслям и секторам экономики. Преимущественно отрасли потребляют вторичные виды энергии – электрическую и тепловую, а также топливо. Преобразование первичных энергоресурсов во вторичную энергию осуществляется в секторе преобразования, который включает электростанции, нефтеперерабатывающие заводы и прочие предприятия. Как правило, потребление первичных энергоресурсов превышает объем конечного потребления топлива и энергии. Объем энергии на входе в сектор преобразования превышает ее объем на выходе, поступающий в секторы экономики. Разница между данными величинами определяет потребление энергоресурсов в секторе преобразования, которое включает в себя потери в энергоустановках, возникающие на этапах генерации и передачи энергии, а также потери отпущенной, но не потребленной энергии. Например, газовые турбины имеют определенный коэффициент полезного действия, ниже 1, поэтому объем энергии на входе всегда будет превышать объем отпущенной энергии. С возобновляемыми источниками энергии и атомными станциями другая ситуация: объем отпущенной энергии часто превышает потребности в ней со стороны секторов и отраслей экономики, поэтому часть отпущенной энергии уходит «в никуда». Эта проблема в целом определяется ограниченными возможностями по накоплению и хранению энергии, что увеличивает потери в секторе преобразования.

Причиной увеличения энергопотребления в Китае стал его бурный экономический рост<sup>1</sup>. Так, по данным Национального бюро статистики КНР, за период с 1978 по 2022 г. ВВП Китая увеличился в 43 раза. Декомпо-

зиция этого прироста показывает, что 54,5% было израсходовано на конечное потребление населения и органов государственного управления, 43,0 – на валовое накопление капитала и 2,5% приходилось на чистый экспорт (Готовский, 2023).

Доля валового накопления основного капитала в ВВП Китая с течением времени изменялась: по 2000 г. она составляла 25–30%; с 2001 по 2008 г. – 30–40%; с 2009 по 2022 г. – 40–45%<sup>2</sup>. Сложно оценить долю инвестиций именно в энергетический сектор, поскольку он затрагивает такие виды деятельности, как добыча полезных ископаемых, коммунальное хозяйство, машиностроение. По данным за 2006–2010 гг., около 4% от общего объема инвестиций направлялось в добывающие отрасли, а около 6% – в электроэнергетику (Grigoryev, Zharonkina, 2023. P. 277). В совокупности общий объем инвестиций в энергетический сектор можно оценить в 10% от общего объема инвестиций, или в 4% к ВВП.

Взаимосвязь энергопотребления и экономического роста определяется коэффициентами эластичности, рассчитываемыми Национальным бюро статистики КНР. Коэффициент эластичности показывает, на какой процент увеличивается производство или потребление определенного вида топлива или источника энергии при увеличении ВВП на 1%. Ежегодные значения коэффициентов меняются, но их усреднение за длительный период времени позволяет сделать вывод о зависимости энергопотребления от экономического роста. По данным<sup>3</sup>, получены коэффициенты эластичности, усредненные за период с 1980 по 2021 г. Прирост ВВП в постоянных ценах на 1% обеспечивает прирост показателей:

общего производства и потребления всех видов энергии на 0,6%;

общего производства и потребления электроэнергии на 0,95%.

Следовательно, экономический рост Китая существенно опережает рост энергопотребления в целом, но примерно соответствует темпам роста потребления элек-

<sup>1</sup> China Energy Statistical Yearbook 2022. Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. Beijing, China Statistics Press. URL: <https://www.chinayearbooks.com/china-energy-statistical-yearbook-2022.html>

<sup>2</sup> URL: <https://tradingeconomics.com/china/gross-fixed-capital-formation-percent-of-gdp-wb-data.html>

<sup>3</sup> URL: <https://www.chinayearbooks.com/china-energy-statistical-yearbook-2022.html>

троэнергии. Действительно, аналитики констатируют буквальное совпадение темпов экономического роста и потребления электроэнергии, и не только в Китае<sup>4</sup>. Что касается потребления всех первичных энергоресурсов, то их потребление в расчете на процент прироста ВВП со временем сокращается во всех странах, о чем свидетельствует снижение показателей энергоёмкости ВВП.

За 40 лет (1980–2020) энергоёмкость ВВП Китая в постоянных ценах снизилась в 4,2 раза. Исключением является пятилетка с 2000 по 2005 г., когда энергоёмкость оставалась почти неизменной, все остальное время она снижалась (рис. 2).

Только за период с 2000 по 2022 г. энергоёмкость ВВП снизилась в 3 раза. Для сравнения, в Европейском союзе энергоёмкость ВВП с 1995 по 2015 г. снизилась на 22%, с 0,09 до 0,07 т. н. э. на 1000 долл. США, а в балтийских странах за тот же период снижение показателя проходило быстрее – с 0,28 по 0,13 т. н. э. на 1000 долл. США (Vehmas, Kaivo-oja, Luukkanen, 2018), или в 2,15 раза. Таким образом, темпы снижения энергоёмкости ВВП Китая превышают европейские, что объясняется более быстрым экономическим ростом.

<sup>4</sup> Удивительная связь между ростом мировой экономики и производством электроэнергии в мире URL: <https://aftershock.news/?q=node/1307795&full>

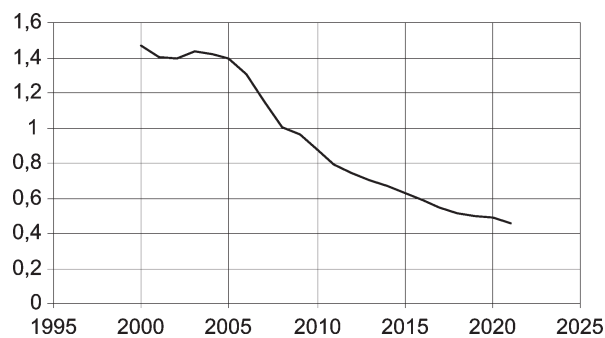


Рис. 2. Динамика энергоёмкости ВВП Китая по производству первичной энергии, в текущих ценах, в угольном эквиваленте, т. у. т. / 10 000 юаней

*Источник.* Авторская разработка по данным: China Energy Statistical Yearbook 2022. Department of Energy Statistics, National Bureau of Statistics. Beijing, China Statistics Press. URL: <https://www.chinayearbooks.com/china-energy-statistical-yearbook-2022.html>

Важным фактором снижения энергоёмкости ВВП является технологический. Новые технологии обеспечивают рост эффективности трансформации энергии. Например, за период с 1980 по 2021 г. коэффициент полезного использования (КПИ) энергии при трансформации первичных энергоресурсов в электрическую и тепловую энергию вырос с 36 до 47%. При этом, однако, КПИ нефтепереработки за тот же период не увеличился и варьировал в пределах 95–99%. КПИ по всей энергии вырос с 69,5 до 73,2% – не столь существенно.

Другим фактором снижения энергоёмкости является изменение отраслевой структуры экономики в пользу отраслей с более низким энергопотреблением. Как правило, такие отрасли представляют сферу услуг.

При анализе динамики энергоёмкости ВВП важно не только сравнивать удельное потребление физической энергии на денежную единицу ВВП, но также оценить, какой показатель растёт быстрее – ВВП или стоимостной эквивалент потребленной энергии. Такой анализ будет проведен далее.

Как правило, структура энергопотребления индивидуальна для каждой страны и определяется природными, географическими, технологическими и прочими факторами. Китай не является исключением, и традиционно в энергобалансе КНР доминирует уголь, занимающий 60–70% в общем объеме первичных энергоресурсов, потребляемых китайской экономикой. В 2021 г. из общего объема потребления первичных энергоресурсов на минеральные ресурсы – уголь, нефть и газ – приходилось 79,4% энергопотребления. Соответственно, на атомную энергетику, гидро- и другие возобновляемые источники – 20,6% (рис. 3). Постепенный рост использования возобновляемой энергии помогает если не снижать потребление минерального топлива, то хотя бы стабилизировать его. За период с 1980 по 2022 г. объем потребления первичной энергии в Китае вырос в 6,13 раза, поэтому приходится увеличивать объемы использования всех источников энергии, как возобновляемых, так и традиционных.

Согласно пятилетней программе Государственного совета КНР на 2016–2020 гг., было запланировано к концу пятилетки довести долю нетрадиционных и возобнов-

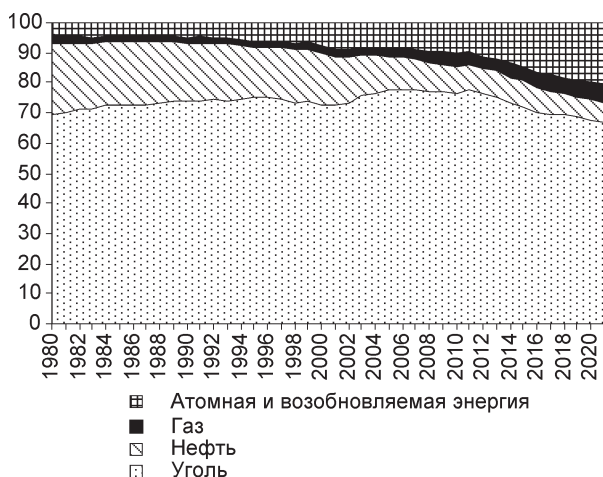


Рис. 3. Доля видов первичных энергоресурсов в энергопотреблении китайской экономики, %

Источник. Авторская разработка по данным: URL: <https://www.chinayearbooks.com/china-energy-statistical-yearbook-2022.html>

ляемых источников энергии в структуре энергобаланса страны до 15%, а долю угля снизить до 55%. На самом деле отмечается тенденция роста использования угля: с 2000 по 2017 г. потребление угля в Китае выросло в 4 раза, половина угля идет на выработку электроэнергии. Мощность угольных ТЭС за этот период выросла в 5 раз. Принятие Государственным советом КНР экологической энергетической политики не мешает местным корпорациям продолжать строительство угольных мощностей по 200 ГВт за пятилетку вплоть до 2030 г. (Рубан, Гриб, 2020).

Существует мнение, что ввиду ограниченности собственной добычи минеральных ресурсов Китай будет вынужден наращивать их импорт. Действительно, запасы природного газа и нефти в КНР ограничены, и их импорт уже превышает объемы собственной добычи. Кроме того, Китай был и остается крупнейшим в мире импортером каменного угля<sup>5</sup>. При этом статистика об объемах добычи и импорта угля показывает обратное: собственная добыча угля превосходит объемы импорта в десятки раз, и темпы ее роста также превышают темпы роста импорта (рис. 4). Судя по всему, уголь

<sup>5</sup> Китай снимает все ограничения на импорт австралийского угля. 2023. *Коммерсантъ*. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/58744856> United Nations 2015. Paris Agreement. URL: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)

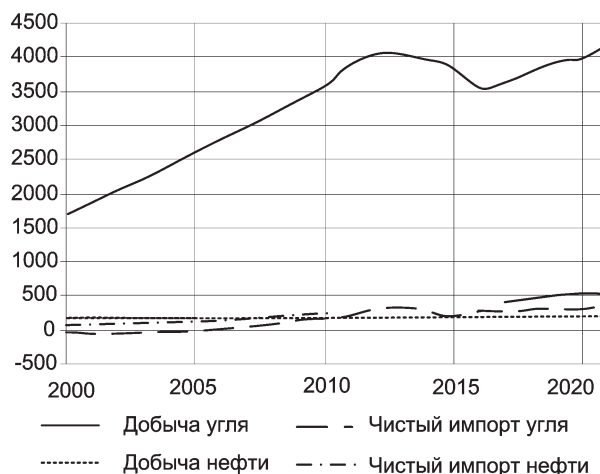


Рис. 4. Добыча и чистый импорт угля и нефти в Китае, млн т

Источник. Авторская разработка по данным: URL: <https://www.chinayearbooks.com/china-energy-statistical-yearbook-2022.html>

еще долгое время будет доминировать в энергобалансе Китая как основной первичный энергоресурс.

Несмотря на преобладание минерального топлива в энергобалансе, Китай стал мировым лидером не только в развитии традиционной, но и возобновляемой энергетики. Доля Китая в глобальной установленной мощности возобновляемой энергетики с 2012 по 2022 г. выросла с 20,9 до 34,4%. Этот показатель существенно выше, чем его мировая доля в потреблении всей энергии, составляющей 26%. Для сравнения, доли США и ЕС-27 в мировой установленной мощности возобновляемой энергетики за тот же период упали – соответственно, с 11,4 до 10,4 и с 22,1 до 16,9%. Китай вышел в мировые лидеры по установленной мощности отдельных сегментов возобновляемой энергетики. Его доля в установленной мощности ветроэнергетики в 2022 г. составила 40,7%; солнечной энергетики – 37,3%; гидроэнергетики – 29,7%. Кроме того, Китай опережает с отрывом другие страны по объему инвестиций в возобновляемую энергетику, которая по итогам 2021 г. составила 37% от общемировых инвестиций. Для сравнения, по данному показателю на инвестиции ЕС пришлось 22%, США – 13% (Клавдиенко, 2023).

Несомненно, будущее китайской энергетики связано с расширением доли возобновляемых источников. Эта тенденция оп-

ределяется не только ограниченностью запасов минерального топлива, но главным образом все более пристальным вниманием китайского руководства к экологическим проблемам.

### **Влияние энергетического сектора Китая на экологию: литературный обзор и анализ статистики**

Ввиду бурного роста энергопотребления при доминировании минерального топлива в энергобалансе Китай стал крупнейшим загрязнителем по выбросам парниковых газов в атмосферу (рис. 5). По состоянию на 2022 г. он генерирует 31% выбросов диоксида углерода от мирового уровня.

Примечательно, что в большей части научных публикаций, посвященных обзору энергетического сектора Китая, важнейший акцент делается на статистику выбросов парниковых газов и на меры, реализуемые с целью снижения выбросов.

В частности, особенности энергетической политики Китая исследуют Н.В. Тершин и И.Ш. Хасанов (2023). По мнению ученых, угольный энергетический сектор был поначалу необходим КНР для быстрого экономического роста. Однако наложение на китайскую энергетику Парижским соглашением по климату обязательств по переходу на чистые или близкие к ним источники получения энергии послужило

фактором качественной трансформации структуры энергетики Китая в пользу отказа от угля и постепенного замещения его газовыми и атомными возобновляемыми источниками энергии. Тем не менее ученые отмечают проблемы загрязнения окружающей среды, а также отсутствия диверсификации энергетического сектора Китая в качестве источников энергетической безопасности его промышленности и экономики страны в целом.

Р.А. Епихина (2021) оценивает положительные (разработка инновационных технологий, собственное производство высокотехнологичного оборудования; рост доли «чистых» источников энергии в структуре генерации; усиление позиций китайского бизнеса в мировой электроэнергетике) и отрицательные эффекты реализации промышленной политики в электроэнергетике КНР (избыточное расходование ресурсов, трудности, связанные со сложностями координации между центральным правительством Китая, местными властями и крупными госкомпаниями).

С.В. Жуков и О.Б. Резникова (2023) оценили тенденции трансформации топливно-энергетического сектора в США, Европе и Китае. По мнению исследователей, структура и скорость энергетического перехода определяются специфическими условиями развития, а также индивидуальными особенностями стран и интеграционных объединений. США стали стремительно развивать «зеленую» энергетику с акцентом на декарбонизацию. В Европе наблюдается попытка ускорить энергопереход за счет опережающего развития ветровой и солнечной генерации, а также таких инструментов координации энергетического сектора, как торговля разрешениями на эмиссию парниковых газов и трансграничное углеродное регулирование. Авторы отмечают, что, несмотря на тот факт, что основой энергетического сектора Китая продолжает оставаться угольная энергетика, страна развивает новые возобновляемые источники энергии в совокупности с такими инструментами координации энергетического сектора, как торговля разрешениями на выбросы углерода и природные решения. По мнению авторов, США и Китай

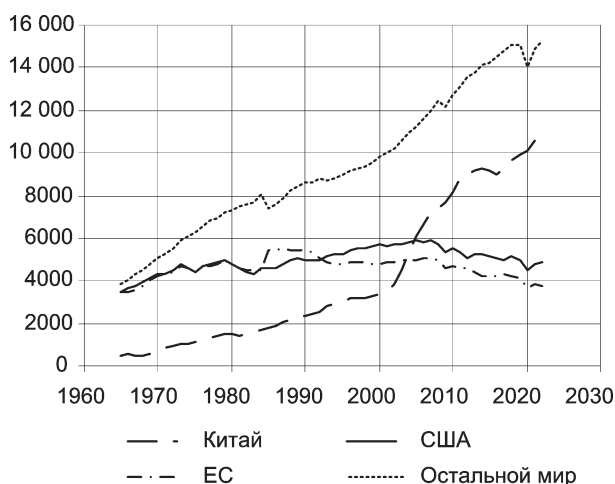


Рис. 5. Выбросы CO<sub>2</sub> при производстве и потреблении энергии, млн т

Источник. Авторская разработка по данным: The Energy Institute Statistical Review of World Energy 2023. URL: <https://www.energyinst.org/>

придерживаются более прагматичного курса и в большей мере опираются на рыночные решения, а вот в Европе энергопереход осуществляется под влиянием идеологических установок.

Ю.Ю. Ковалев и О.С. Поршнева (2021), используя методы структурного, сравнительного и контент-анализа, оценили климатические политики стран БРИКС. Ученые подчеркнули, что без комплексной климатической трансформации климатических политик стран объединения, занимающего первое место в мире по выбросам CO<sub>2</sub>, невозможно будет удержать рост глобальных средних температур воздуха к 2100 г. на уровне 1,5-2°C, что является основной целью Парижского соглашения по климату 2015 г.<sup>6</sup> Они отмечают, что страны БРИКС придерживаются в своих климатических политиках принципа «общей, но дифференцированной ответственности», т. е. страны объединения выступают за устойчивый экономический рост на основе инновационных технологий и в то же время – против ограничений, которые могут сдерживать развитие их экономик. В четырех странах объединения – Китае, Индии, Бразилии и ЮАР – реализовываются проекты в энергетическом секторе, позволяющие декарбонизировать экономики этих стран, а также приближают их к так называемой углеродной нейтральности. А вот что касается российской экономики, то ее высокая зависимость от добычи и экспорта топливных ресурсов осложняет процессы экологической модернизации. По мнению ученых, в России сформировалось негативное отношение к климатическим преобразованиям, так как они воспринимаются в качестве угрозы для нефтяного и газового секторов экономики.

Оценку экологической устойчивости Китая осуществили С.Н. Бобылев, А.В. Барбошкина, С. Джун (2020). Проведенное исследование позволило им выявить факторы формирования низкоуглеродной модели развития энергетического сектора китайской экономики и предложить пути трансформации энергетического сектора страны. По мнению ученых, приоритетами

развития энергетической системы Китая должны стать «зеленое» развитие, а также энергетический переход к возобновляемым источникам энергии с одновременным снижением доли ископаемых видов топлива в энергетическом балансе. Исследователи считают, что это даст возможность Китаю, как основному потребителю энергоресурсов в мире и, одновременно, лидеру по выбросам углекислого газа, уменьшить энергоемкость экономики страны, повысить национальную энергобезопасность, а также существенно снизить загрязнение окружающей среды. Реализация предложенных приоритетов, по мнению ученых, поспособствует раскрытию инновационного потенциала страны на основе развития инструментов «зеленого» финансирования и повышению конкурентоспособности китайских товаров на внешних рынках. Также российские исследователи отмечают результаты, которых достигает Китай в переходе к низкоуглеродному развитию, и обращают внимание стран – экспортеров углеводородов, в том числе России, на возможный рост рисков в сфере экспорта сырья.

Перспективы и препятствия энергетического перехода в Китае оценивают Ю.А. Макеев, А.И. Салицкий, Н.К. Семёнова, С. Чжао (2022). Авторы говорят об ускорении конверсии китайской энергетики наряду с тем фактом, что уголь до сих пор остается основным источником энергии КНР, на него приходится порядка 56% от общего потребления. Ученые описывают текущие планы по ускорению преобразования энергетики Китая, а также рассматривают исторический путь энергетического сектора китайской экономики в нынешнем столетии и описывают реализацию гигантских китайских проектов, меняющих природу, например массовую переброску воды из южных рек в северные регионы.

Г.О. Халова и Т.А. Жучкова (2022) оценивают пути развития и возможность декарбонизации китайской энергетики, при этом особое внимание ученые уделяют альтернативным источникам энергии – развитию солнечных, ветряных и атомных электростанций, перспективе ухода от ископаемых источников энергии с целью достижения углеродной нейтральности к 2060 г.

<sup>6</sup> United Nations 2015. Paris Agreement. URL: [https://unfccc.int/files/essential\\_background/convention/application/pdf/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf)

В.А. Крюков и Я.В. Крюков (2022), рассматривая интересы энергетического сотрудничества России и КНР в контексте китайского «зеленого перехода», считают, что основным направлением сотрудничества в энергетике стран будет газовая сфера, причем газ выступает «переходным» топливом на пути от угля к возобновляемым источникам энергии. Ученые отмечают, что Китай уже активно переходит на использование газа в энергетике, а также в жилом секторе, однако акцентируют внимание, что уголь еще долго будет востребован, так как резкий отказ от него в пользу менее углеродоемких видов энергоресурсов не представляется возможным в связи с технологическими и экономическими причинами. Исследователи видят интерес России в стремлении Китая к низкоуглеродному развитию при значительных объемах угольной генерации, так как это стремление обеспечит энергетическое сотрудничество с Китаем на ближайшие десятилетия. Авторы говорят о разных позициях стран в отношении проблемы низкоуглеродного развития, и разница эта обусловлена разной ролью энергоресурсов в экономике каждой из стран. Например, КНР стремится к самодостаточности и поэтому целенаправленно избрала путь «зеленого перехода», а вот Россия старается реализовать свои интересы исходя из относительной продолжительности эпохи невозобновляемых энергоресурсов.

Факторы энергетического кризиса при переходе к углеродной и климатической нейтральности стран ЕС и Китая исследовали С.С. Беликова и А.В. Беликов (2022). Ученые описали сложности, которые возникли при снижении показателей антропогенного влияния на климатические изменения и явились причиной энергетического кризиса 2021 г. в странах ЕС и Китае, и предложили пути трансформации энергетического сектора, которые позволят не спровоцировать аналогичные энергетические кризисы для экономик стран, только начавших стремиться к углеродной нейтральности.

Возможности развития возобновляемой энергетики в Китае исследуют А.Ш. Акулова и Е.М. Острина (2020). По мне-

нию ученых, стремительный рост экономики Китая в последние годы в значительной степени поспособствовал росту спроса на электроэнергию. Однако в то же время китайская экономика сталкивается с нехваткой электричества, а также негативно влияет на экологическую ситуацию, так как потребляет много углеводородных источников энергии. Таким образом, перед Китаем стоят задачи увеличения производства электричества с одновременным усилением экологического контроля. Добиться этого ученые считают возможным путем развития производства энергии из возобновляемых источников, в том числе гидроэнергетики, ветряной и солнечной генерации, энергии из биомассы. В своем исследовании экономисты дают оценку перспектив, а также рассматривают вероятные тенденции динамики возобновляемой энергетики в Китае на ближайшие десятилетия.

По мнению китайских ученых Н. Chen, J. Chen, G. Han, Q. Cui (2022), достижение углеродной нейтральности требует значительного ускорения перехода на возобновляемые источники энергии. Исследование авторов направлено на поиск путей ускорения интеграции ветроэнергетики в китайский энергетический комплекс. Для изучения факторов, влияющих на неоднородное развитие ветроэнергетики, ученые использовали систему оценки, основанную на расчете логарифмического среднего индекса Дивизиа. Индексы Дивизиа и тесно связанные с ними индексы Монтгомери, Фогта и др. используются в экономическом факторном анализе и, несмотря на вычислительные трудности, обладают серьезными методическими достоинствами (Блюмин, Суворов, Чеботарев, 2000). Ученые приходят к выводу, что в национальном масштабе основными факторами, влияющими на развитие ветроэнергетики, являются местный спрос на электроэнергию, экспорт электроэнергии, а также структура электроэнергетического комплекса. Однако региональные факторы неоднородного развития ветроэнергетики могут существенно отличаться.

Опыт развития государственной политики разных стран в области ветроэнергетики исследуют J. Zhang, J. Lu, J. Pan, Y. Tan, X. Cheng, Y. Li (2022). Так, приня-

тые в Дании два энергетических плана позволили стране стать мировым лидером в области ветроэнергетики. В Германии государственная политика направлена на выкуп и поддержку развития оффшорной ветроэнергетики с целью стимулирования роста своей ветроэнергетической отрасли. Развитие ветроэнергетики в США авторы связывают с налоговой моделью и политической стимулирующей. Что касается опыта Китая, то после бурного развития в период с 2000 по 2021 г. его ветроэнергетика вступила, по мнению исследователей, в «эпоху паритета». С учетом национальных условий в стране применяются стратегии «углеродной нейтральности», «углеродного пика» и др. Однако анализ, проведенный китайскими учеными, показывает, что ветроэнергетика в КНР используется недостаточно эффективно. Например, в 2020 г. ежегодный показатель свертывания ветроэнергетики в Китае достиг 16,61 млрд кВт·ч, что эквивалентно общему объему производства энергии в некоторых странах за год. В северо-западном регионе, где это явление достигло наиболее серьезных масштабов, суммарное сокращение ветра достигает 1,95 млрд кВт·ч. В то же время в первой половине 2021 г. объем заявок на ветроэнергетику на национальном открытом рынке Китая достиг 32,92 ГВт, что сопоставимо с годовым объемом заявок в 2020 г. В итоге страна столкнулась с дефицитом энергетических субсидий на возобновляемые источники энергии. Авторы на основе изучения опыта ведущих стран в ветроэнергетике предлагают пути развития ветроэнергетики Китая.

Исследователь К. Ло (2020) рассматривает систему целевой ответственности за энергосбережение в КНР и отмечает, что управление энергопотреблением в стране имеет важное экологическое значение с точки зрения предотвращения локального загрязнения воздуха и глобального изменения климата. К. Ло объясняет роль системы целевой ответственности за энергосбережение в авторитарной, но децентрализованной системе управления Китая; прослеживает развитие системы целевой ответственности за энергосбережение за последнее десятилетие, акцентируя внима-

ние на реформы, проведенные в рамках 13-го пятилетнего плана (2016–2020 гг.); анализирует ограничения системы целевой ответственности за энергосбережение и дает прогноз политики Китая с учетом внутренних и международных интересов в области энергосбережения.

Учеными J. Diao, J. Liu, Z. Zhu, X. Wei, M. Li (2022) разработана модель связи углеродного цикла, которая потенциально подходит для моделирования экосистем плантационных лесов Китая и поддержки учета углерода для контроля пиковых выбросов CO<sub>2</sub> и достижения углеродной нейтральности.

Китайские исследователи F. Zhao, F. Bai, X. Liu, Z. Liu (2022) оценили возможности развития возобновляемой энергетики Китая. По мнению авторов, наибольшим потенциалом для развития обладают ветроэнергетика и фотоэлектричество, которые в скором времени могут обойти гидроэнергетику и стать основными видами возобновляемой энергии КНР. С точки зрения географического распределения, большинство возобновляемых источников энергии в Китае демонстрируют огромный дисбаланс: казалось бы, Западный Китай, который обладает богатыми возобновляемыми ресурсами, должен быть центром поставок, однако большая часть энергопотребления приходится на Восточный Китай. Ученые отмечают, что в развитии возобновляемых источников энергии Китай добился значительных успехов, занимая первое место в мире по установленной мощности и выработке электроэнергии. В прошлом стимулирующая политика КНР способствовала росту возобновляемой энергетики, однако в настоящее время большинство проектов в области возобновляемой энергетики в Китае больше не субсидируются, так как он находится на критическом этапе перехода от директивного развития к рыночному. Исследователи обращают внимание, что достижение углеродной нейтральности потребует в ближайшие 40 лет ускоренными темпами наращивать установленные объемы возобновляемой энергии в Китае. Кроме того, исследователи указывают на проблемы с хранением энергии.

Возможности достижения КНР углеродного пика к 2030 г., а затем углеродной



нейтральности к 2060 г. оценили китайские ученые Y. Shu, L. Zhang, Y. Zhang, Y. Wang, G. Lu, B. Yuan, P. Xia (2021). На основе оценки углеродного бюджета энергетики исследователи разработали три сценария низкоуглеродной трансформации (глубокий низкоуглеродный, нулевой и отрицательный) и на их основе создали оптимизационную модель планирования, определив пути низкоуглеродной трансформации для структуры энергетики Китая, выбросов углерода и затрат на энергоснабжение при различных сценариях.

D. Jie, X. Xu, F. Guo (2021) разработали мультирегиональную модель углеснабжения Китая до 2050 г., так как для реализации низкоуглеродного развития необходимо, чтобы уголь производился и потреблялся экологически чистым и эффективным способом. В модели учтены региональные различия, классификация угля и развитие чистых угольных технологий. В модели также приняты во внимание процессы добычи, обогащения, переработки и транспортировки угля. Кроме того, модель позволяет учесть эффекты развития неископаемой энергетики и цены на углерод. Предложенная авторами модель предоставляет возможность оптимизировать будущее системы поставок угля в Китае. Результаты проведенного исследования дают основания полагать, что: добыча угля в Китае достигнет пика в 2030 г. по сценарию «бизнес как обычно», в то время как по сценарию GREEN и по сценарию снижения цен на углерод она уже достигла пика; количество угля, используемого в конечном потреблении и перерабатываемого в кокс, снижается, в то время как объем угля, перерабатываемого в жидкое топливо и СПГ, увеличивается с 11 Мт в 2015 г. до 221 Мт в 2050 г. по сценарию «бизнес как обычно»; стратегии развития неископаемых видов топлива и ценообразования на углерод оказывают положительное влияние на регулирование поставок угля и снижение выбросов парниковых газов, связанных с углем; цена на углерод может способствовать внедрению технологии улавливания и хранения углерода – CCS (carbon capture and storage technology) и эффективному снижению выбросов парниковых газов, связанных с углем.

Обзор развития накопителей энергии на сжатом воздухе в КНР осуществлен в работе исследователей Z. Tong, Z. Cheng, S. Tong (2021). Китай стал крупнейшей в мире страной по производству электроэнергии из возобновляемых источников, однако проблемы для стабильности существующей энергосистемы создает прерывистый характер возобновляемой энергии. Ученые считают, что накопители энергии на сжатом воздухе (CAES – Compressed Air Energy Storage), аккумулирующие энергию в виде воздуха под высоким давлением, способны решить проблему нестабильного снабжения возобновляемой энергией в крупных масштабах в стране. В данном исследовании представлен подробный обзор последних разработок CAES в Китае, включая анализ целесообразности, варианты хранения воздуха для установок CAES и пилотные проекты CAES. В соответствии с энергетической структурой Китая, применение CAES рассматривается с точки зрения регулирования энергосистемы, производства энергии и управления спросом. Анализ затрат и выгод показывает, что развитие рынка торговли электроэнергией может позволить CAES реализовать арбитраж высокого уровня в районах с большим потреблением электроэнергии, а интеграция CAES с возобновляемыми источниками энергии в регионах «трех Северов» Китая дает значительные экономические и экологические преимущества.

Достигнет ли Китай целевых показателей по портфелю возобновляемых источников энергии, оценивают ученые J.L. Fan, J.X. Wang, J.W. Hu, Y. Yang, Y. Wang (2021). Для содействия интеграции возобновляемых источников энергии в энергосистемы республики правительство ввело стандарты портфеля возобновляемых источников энергии. В данном исследовании авторами анализируется целесообразность введения такого портфеля с точки зрения спроса и предложения электроэнергии. Для прогнозирования спроса на возобновляемую электроэнергию в 30 провинциях страны по различным сценариям создана модель множественной регрессии. Предложение такой электроэнергии оценивается на основе планов провинций по спросу на нее. Полученные результаты позволяют сделать четыре основных вывода: если все провинции смо-

гут реализовать свои планы развития возобновляемой энергетики, то объем предложения этой электроэнергии превысит целевые показатели портфеля возобновляемых источников примерно на 488 ТВт·ч (включая 155 ТВт·ч негидроэнергетических источников); наибольший дефицит возобновляемой электроэнергии будет наблюдаться в провинциях Гуандун, Шанхай, Цзянсу, Чжэцзян и Чунцин; наибольший дефицит негидроэлектроэнергии ожидается в Пекине, Цзянсу, Тяньцзине и Чжэцзяне, а вот в Синьцзяне, Цинхае, Внутренней Монголии и Ганьсу объем негидроэнергетических поставок значительно превысит целевые показатели; политика портфельного стандарта возобновляемых источников энергии в Китае будет способствовать оптимальному распределению ресурсов возобновляемой энергии между провинциями посредством межпровинциальных сделок.

О парадоксе энергетической революции в Китае пишет S. Xu (2021). Ученый считает, что страна переживает энергетическую революцию, стремясь к созданию низкоуглеродной экономики и коренному изменению структуры энергетики. Планируется, что к 2050 г. доля возобновляемых источников энергии в энергопотреблении страны составит 50%, а к 2030 г. интенсивность выбросов углерода снизится на 6–65% по сравнению с уровнем 2005 г. Эта энергетическая революция важна для энергетической безопасности и устойчивого развития Китая, а также для выполнения международных обязательств по борьбе с изменением климата. Однако, по мнению S. Xu, сокращение использования возобновляемых источников энергии и расширение применения ископаемых видов энергии представляют собой парадокс этой энергетической революции. Несмотря на прогресс в развитии возобновляемой энергетики в Китае, этот парадокс не позволяет возобновляемой энергетике в краткосрочной перспективе противостоять доминированию ископаемой энергии. Ученый считает, что энергетическая революция может рассматриваться как процесс социотехнического перехода, который требует коэволюции социальных, экономических, политических и

технических факторов. Проведенное исследование позволило выявить, что этот парадокс обусловлен в основном социально-экономическими препятствиями на макро- и мезоуровне, а не технологическими факторами на микроуровне. Энергетическая трилемма, расхождение интересов и слабый контроль являются основными социально-экономическими факторами, влияющими на обеспечение приоритета возобновляемой энергетики. Ограничение развития возобновляемой энергетики и произвольный отказ от традиционной ископаемой энергии – две нежелательные крайности. Исследователь приходит к выводу о необходимости создания соответствующих механизмов для ускорения переходного процесса, признавая при этом инерционность и важность традиционной энергетики.

Таким образом, объемы выбросов CO<sub>2</sub> являются маркером влияния китайской энергетики на экологию, а также важнейшим целевым показателем ее развития, который должен стремиться к снижению. Несмотря на это, показатель выбросов может также косвенно характеризовать динамику общего потребления минерального топлива и энергии с учетом эффективности их использования в энергетическом секторе. Чем выше коэффициент полезного действия энергоустановок, тем ниже удельное потребление минерального топлива на единицу отпускаемой энергии и тем в меньшей степени выбросы CO<sub>2</sub> дают возможность оценить интегральный эффект от использования НВИЭ и роста энергоэффективности экономики. Анализ факторов, влияющих на выбросы CO<sub>2</sub>, позволил бы определить пути роста энергоэффективности экономики. И тут возникает вопрос: от каких факторов зависят выбросы диоксида углерода и по каким направлениям ведется их снижение?

Сравнение выбросов диоксида углерода с потреблением первичной энергии в динамике показывает довольно тесную связь между показателями (рис. 6). Однако построить регрессионную модель оказалось сложно. На первом этапе была построена однофакторная модель, связывающая выбросы CO<sub>2</sub> (Y) с энергопотреблением (X) по данным за 1965–2021 гг. (58 измерений во временных рядах). Коэффициент детерми-

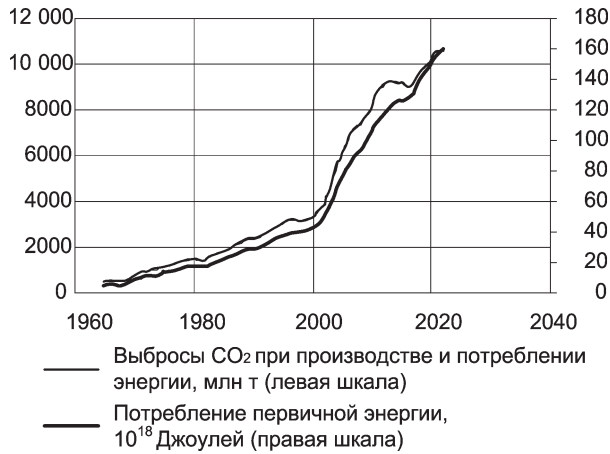


Рис. 6. Зависимость выбросов CO<sub>2</sub> от энергопотребления

Источник. Авторская разработка по: URL: <https://www.energyinst.org/>

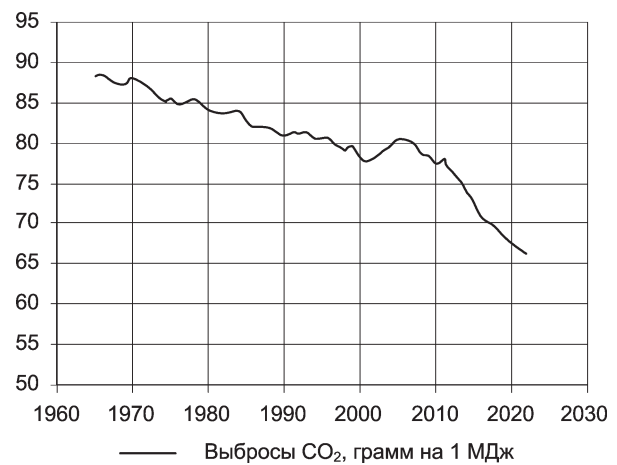


Рис. 7. Выбросы CO<sub>2</sub> в Китае, грамм на 1 МДж первичной энергии в год

Источник. Авторская разработка по: URL: <https://www.energyinst.org/>

нации  $R^2 = 0,99$ ,  $p$ -уровни коэффициентов  $< 0,001$ . При этом распределение значений  $X$  и  $Y$  не является нормальным, присутствуют признаки автокорреляции остатков, что было подтверждено соответствующими тестами.

На втором этапе построена однофакторная линейная модель вида  $\log(Y) = a \cdot \log(X) + b$ , в которой также  $R^2$  и  $p$  были в норме, но наблюдались признаки автокорреляции остатков. Коэффициент  $a$  в такой модели представляет собой коэффициент эластичности, характеризующий процентное изменение выбросов CO<sub>2</sub> при изменении энергопотребления на 1%.

На третьем этапе выборка была разделена на две части: 46 измерений с 1965 по 2010 г. и 12 измерений с 2011 по 2022 г., построены уравнения вида  $\log(Y) = a \cdot \log(X) + b$  отдельно для каждой выборки. В результате коэффициент эластичности выбросов по энергопотреблению для первой выборки оказался равным 0,95, для второй выборки он равен 0,54.

Таким образом, в течение последних 12 лет на каждый процент прироста потребления первичной энергии приходится почти вдвое меньше выбросов двуокиси углерода, чем это было раньше.

Если рассматривать динамику удельных выбросов CO<sub>2</sub> в расчете на 1 МДж потребленной первичной энергии, то можно проследить ее более интенсивное снижение после 2010 г. (рис. 7). Причинами

этого стали, вероятно, увеличение общей эффективности производства вторичной энергии за счет роста КПД энергоустановок, а также рост доли возобновляемых источников энергии в энергобалансе. Вероятно, с 2010 г. начали проявляться реальные последствия действий китайского правительства, направленных на улучшение экологической ситуации.

**Отраслевая структура энергопотребления: анализ с использованием таблиц «Затраты – Выпуск»**

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 раз-

личных 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 определить зависимость выбросов CO<sub>2</sub> 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 сегодня проводятся для выявления вклада конечного спроса на товары и услуги отдельных стран или даже городов в глобальные выбросы парниковых газов (Shirov, Kolpakov, 2022; Широ́в, Никитин, Горбунова, Нелюбина, Колпаков, 2023).

Для расчета полных энергозатрат в стоимости продукции отдельных отраслей в Китае использовались таблицы «Затраты – Выпуск», публикуемые Азиатским банком развития. Общие подходы к использованию данных таблиц при анализе китайской экономики рассматривались в работе (Быков, Толкачев, Пархименко, Шаблинская, 2021). Показатели таблиц измеряются в долларах США. К сожалению, данный вариант таблиц не позволяет оценить полные затраты на первичные минеральные энергоресурсы – уголь, нефть и газ, поскольку при отраслевом делении экономики КНР энергетические и неэнергетические природные ресурсы объединены в одну отрасль «Добыча полезных ископаемых».

В этой связи, учитывая наличие доступных данных, есть возможность только оценить стоимость потребления вторичной энергии, к которой относится электрическая и тепловая энергия. Показатели выпуска, потребления и структура затрат на электрическую и тепловую энергию показаны в разрезе отрасли «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды».

На первом этапе анализа за период с 2000 по 2022 г. нами проведена оценка затрат на электрическую и тепловую энергию в Китае в процентах к ВВП. Все затраты разделены на три группы: конечное использование (включает потребление конечной продукции электротеплоснабжения домохо-

зяйствами, госсектором и на экспорт); промежуточное потребление всеми другими отраслями и промежуточное потребление в самой отрасли электротеплоснабжения (рис. 8).

Как видим, общие затраты на электрическую и тепловую энергию в китайской экономике варьируют от 8 до 11% к ВВП. Наибольшая доля электроэнергии в денежном эквиваленте идет на потребление в отраслях экономики. Промежуточное потребление в самом секторе энергоснабжения составляет примерно 1/3 от общего объема энергопотребления. В данном случае промежуточное потребление в секторе энергоснабжения включает, например, использование электроэнергии для подогрева воды, а также потери в процессе генерации и в энергосетях.

На следующем этапе проведена оценка полных затрат на электрическую и тепловую энергию в составе конечной продукции отраслей экономики. Оценка полных энергетических затрат в структуре стоимости продукции каждой отрасли определяется с помощью коэффициентов полных затрат на энергию:

$$e_{total_j} = \sum_{i=1}^n electr_{ij}, \quad (1)$$

где  $e_{total_j}$  – коэффициент полных затрат на энергию в отрасли  $j$ , отн. ед.;

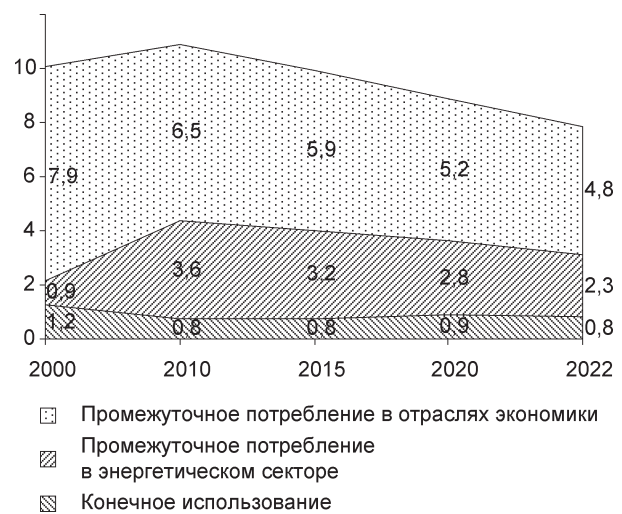


Рис. 8. Потребление продукции (услуг) электроэнергетики Китая в разрезе секторов экономики, в оптовых ценах, % к ВВП

Источник. Авторская разработка по данным Азиатского банка развития.

$electr_{ij}$  – элементы матрицы *ELECTR* коэффициентов полных затрат на энергию, отн. ед.

Сама матрица рассчитывается по формуле:

$$ELECTR = \hat{ELT} \cdot (E - A_{отеч})^{-1}, \quad (2)$$

где *ELECTR* – матрица полных затрат электрической и тепловой энергии в расчете на 1 долл. США конечного использования продукции (конечного потребления, валового накопления и экспорта), отн. ед.;

*E* – единичная матрица соответствующей размерности ( $n \times n$ );

$A_{отеч}$  – матрица прямых затрат отечественных товаров и услуг размерностью ( $n \times n$ ), вида:

$$A_{отеч} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

$\hat{ELT}$  – диагональная матрица, построенная из вектора-столбца прямых затрат электрической и тепловой энергии в расчете на 1 долл. США выпуска продукции:

$$\hat{ELT} = \begin{bmatrix} elt'_{11} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & elt'_{nn} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Элементы  $elt'_{ij}$  получают путем транспонирования вектор-строки прямых затрат энергии на выпуск продукции *ELT*, каждый элемент которой находится по формуле:

$$elt'_{ej} = \frac{eld_{ej} + eli_{ej}}{x_j}, \quad (5)$$

где  $eld_{ej}$  – затраты на потребление электрической и тепловой энергии отечественного производства в отрасли *j*;

$eli_{ej}$  – затраты на потребление электрической и тепловой энергии импортного производства в отрасли *j*;

$x_j$  – выпуск товаров и услуг в отрасли *j*.

Индекс *e* соответствует в данном случае номеру вида деятельности «Производство

и распределение электрической и тепловой энергии» в таблицах «Затраты – Выпуск».

Результаты расчета полных энергетических затрат в структуре стоимости продукции каждой отрасли  $e_{total_j}$  показаны на рис. 9 (показатель «доля затрат на электро(тепло)энергию, % к оптовой цене»). Далее этот показатель взвешен с учетом конечного использования продукции каждой отрасли, равного



\* Только косвенные затраты, прямые составляют 100%. Косвенные затраты включают: энергозатраты на добычу энергоресурсов, потери в процессе преобразования первичной энергии и передачи вторичной энергии.

Рис. 9. Потребление электрической и тепловой энергии в Китае в разрезе отраслей экономики по полным затратам, в оптовых ценах, 2017 г.

Источник. Авторская разработка по данным Азиатского банка развития.

сумме конечного потребления, валового накопления и экспорта. Получен показатель общего вклада отрасли в промежуточное потребление электро(тепло)энергии.

Наиболее энергоемкими по потреблению вторичной энергии являются отрасли производства товаров – сама электроэнергетика, а также металлургия, промышленность стройматериалов, химическая промышленность. Среди услуг несколько более высокую энергоемкость имеет здравоохранение (см. рис. 9).

Что касается общего объема промежуточного потребления электрической и тепловой энергии, то в китайской экономике наибольший вклад в данный показатель обеспечивает строительство. Во-первых, объемы строительства в исследуемом периоде были велики. Китай является мировым лидером по объему строительно-монтажных работ. Во-вторых, эта отрасль характеризуется достаточно высокой энергоемкостью по полным затратам. В строительстве используются металлы и цемент, производство которых требует значительных затрат энергии.

На втором месте по объему потребления энергии находится группа отраслей, производящих машины, оборудование, транспортные средства, электронику. Удельное потребление электроэнергии на 1 долл. США валового выпуска в данной группе отраслей сравнительно невелико и составляет чуть более 9 центов. Вместе с тем масштабы деятельности данной группы отраслей огромны, поскольку Китай сегодня является «мировой фабрикой», обеспечивая другие страны мира сложной технической продукцией. В результате на их производство в общей сложности потребляется свыше 20% от стоимости отпускаемой электроэнергии.

\* \* \*

Бурный рост китайской экономики в течение нескольких десятков лет превратил КНР в крупнейшего в мире потребителя топливно-энергетических ресурсов. Учитывая, что основным видом энергоресурсов в топливно-энергетическом балансе страны остается уголь, Китай стал крупнейшим в мире источником выбросов CO<sub>2</sub>.

Масштабы китайской экономики столь велики, что даже при относительно небольшой доле нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в общем объеме энергопотребления (до 21%) страна является мировым лидером по объему генерации в данном секторе.

Сегодня энергетический сектор КНР развивается фактически в двух направлениях, в некотором смысле противоречивых: с одной стороны, развивается безуглеродная энергетика, которая позволяет уменьшить вредные выбросы в атмосферу в расчете на единицу потребленной энергии; с другой стороны, продолжает расти использование наиболее грязного минерального энергоресурса, угля, по причине наличия его запасов в Китае.

Это противоречие, когда Китай является одновременно мировым лидером и по выбросам парниковых газов, и по уровню развития возобновляемой энергетике, определяет значительный потенциал для будущих инвестиций в энергетический сектор. Именно поэтому исследования энергетического сектора Китая представляет собой глобальный научный тренд, и на эту тему во всем мире публикуется огромное количество результатов научных исследований.

Расчеты показали, что есть три ключевые отрасли, от которых больше всего зависит энергопотребление в Китае, если рассматривать производство и распределение электрической и тепловой энергии: строительство; машиностроение; сама энергетическая отрасль.

Вполне вероятно, что в будущем объемы строительства будут увеличиваться более скромными темпами, поскольку важнейшие инфраструктурные и социальные объекты уже построены. Отрасль машиностроения будет и далее потреблять значительные объемы энергии, однако ее доля в структуре затрат также должна снижаться вследствие перехода к выпуску более наукоемкой, сложной технической продукции.

В объемах энергопотребления на душу населения Китай уже вплотную приблизился к странам ЕС, почти в два раза превзошел среднемировой показатель, но более чем в два раза уступает США. Все эти дан-

ные свидетельствуют о том, что в будущем энергетический сектор Китая ожидают в большей мере качественные, чем количественные изменения, связанные с ростом энергоэффективности экономики и снижением негативного воздействия на окружающую среду.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

- Акулова А.Ш., Острина Е.М.** 2020. Перспективы развития возобновляемой энергетики в Китае. *Инновационная наука*. № 11. С. 83–87. [Akulova A.Sh., Ostrina E.M. 2020. Prospects for the Development of Renewable Energy in China. *Innovatsionnaya nauka*. No 11. PP. 83–87. (In Russ.)]
- Беликова С.С., Беликов А.В.** 2022. Восток и Запад: глобальные вызовы на пути достижения углеродной нейтральности. *Управление*. № 2. С. 5–13. [Belikova S.S., Belikov A.V. 2022. East and West: Global Challenges to Achieving Carbon Neutrality. *Upravlenie*. No 2. PP. 5–13. (In Russ.)] DOI: 10.26425/2309-3633-2022-10-2-5-13
- Блюмин С.Л., Суворов В.А., Чеботарев С.В.** 2000. Индексы Дивизиа в экономическом факторном анализе: методические аспекты. *Вестник российских университетов. Математика*. Т. 5. Вып. 4. С. 419–422. [Blyumin S.L., Suvorov V.A., Chebotarev S.V. 2000. Division indices in economic Factor Analysis: Methodological Aspects. *Vestnik rossiyskikh universitetov. Matematika*. Vol. 5. Iss. 4. PP. 419–422. (In Russ.)]
- Бобылев С.Н., Барабошкина А.В., Джу С.** 2020. Приоритеты низкоуглеродного развития для Китая. *Государственное управление. Электронный вестник*. № 82. С. 114–139. [Bobylev S.N., Baraboshkina A.V., Zhu X. 2020. Priorities of Low-carbon Development for China. *Gosudarstvennoe upravlenie*. No 82. PP. 114–139. (In Russ.)] DOI: 10.24411/2070-1381-2020-10095
- 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., Rodnyansky D., Khaustovich N., Shutsilin V. 2019. «Embodied Energy» Economic Analysis: Methodology and Applications. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 4. PP. 71–85. (In Russ.)]
- Быков А.А., Толкачев С.А., Пархименко В.А., Шаблинская Т.В.** 2021. Экономический рост Китая в 2010–2017 годы: анализ с позиций методологии «затраты-выпуск» и современной денежной теории. *Финансы: теория и практика*. № 25. С. 166–184. [Bykov A.A., Tolkachev S.A., Parhimenko V.A., Shablinskaya T.V. 2021. China's Economic Growth in 2010–2017: Analysis from the Perspective of the Input-Output Model and Modern Monetary Theory. *Finansy: teoriya i praktika*. No 25. PP. 166–184. (In Russ.)] DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-2-166-184
- Готовский А.В.** 2023. Углубление сотрудничества с КНР в контексте китайской модели экономического роста. *Вопросы экономики*. № 9. С. 84–102. [Gotovsky A.V. 2023. Deepening Cooperation with China in the Context of its Economic Growth Model. *Voprosy Ekonomiki*. No 9. PP. 84–102. (In Russ.)] DOI: 10.32609/0042-8736-2023-9-84-102
- Епихина Р.А.** 2021. Промышленная политика в электроэнергетическом секторе как инструмент реализации стратегии глобального лидерства Китая. *Вестник Российского университета дружбы народов*. Т. 23. № 2. С. 243–253. [Epihina R.A. 2021. Industrial Policy in the Electric Power Sector as Part of China's Global Leadership Strategy. Vol. 23. No 2. PP. 243–253. (In Russ.)] DOI: 10.22363/2313-1438-2021-23-2-243-253
- Жуков С.В., Резникова О.Б.** 2023. Энергетический переход в США, Европе и Китае: новейшие тенденции. *Проблемы прогнозирования*. № 4. С. 15–31. [Zhukov S.V., Reznikova O.B. 2023. Energy Transition in the United States, Europe and China: Latest Trends. *Problemy prognozirovaniya*. No 4. PP. 15–31. (In Russ.)] DOI: DOI: 10.47711/0868-6351-199-15-31
- Клавдиенко В.П.** 2023. Возобновляемая энергетика Китая: тенденции, новации, перспективы. *Вестник Института экономики Российской академии наук*. № 4. С. 134–156. [Klavdienko V.P. 2023. Renewable Energy in CHINA: Trends, Innovations, Prospects. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiyskoy akademii nauk*. No 4. PP. 134–156. (In Russ.)] DOI: 10.52180/2073-6487\_2023\_4\_134\_156
- Ковалев Ю.Ю., Поршнева О.С.** 2021. Страны БРИКС в международной климатической политике. *Вестник Российского университета дружбы народов*. Т. 21. № 1. С. 64–78. [Kovalev Yu.Yu., Porshneva O.S. 2021. BRICS Countries in International Climate Policy. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov*. Vol. 21. No 1. PP. 64–78. (In Russ.)] DOI: 10.22363/2313-0660-2021-21-1-64-78
- Крюков В.А., Крюков Я.В.** 2022. ТЭК Китая и России в контексте перехода на траекторию низкоуглеродного развития. *Пространственная экономика*. Т. 18. № 3. С. 141–167. [Kryukov V.A., Kryukov Y.V. 2022. The Fuel and Energy Industry of China and Russia in the Context of the Transition to the Low-Carbon Development Trajectory. *Prostranstvennaya ekonomika*. Vol. 18. No 3. PP. 141–167. (In Russ.)] DOI: 10.14530/se.2022.3.141-167
- Макеев Ю.А., Салицкий А.И., Семенова Н.К., Чжао С.** 2022. Энергетический переход в

Китае: перспективы и препятствия. *Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право*. Т. 15. № 2. С. 9–32. [Makeev Yu.A., Salitskii A.I., Semenova N.K., Zhao X. 2022. Energy Transformation in China: Perspectives and Obstacles. *Kontury global'nykh transformatsiy: politika, ekonomika, pravo*. Vol. 15. No 2. PP. 9–32. (In Russ.)] DOI: 10.23932/2542-0240-2022-15-2-1

**Рубан Л.С., Гриб Н.С.** 2020. Энергетические стратегии Китая и их реализация. *Бурение и нефть*. № 4. С. 4–9. [Ruban L.S., Grib N.S. 2020. China Energy Strategies and Their Implementation. *Burenie i neft'*. No 4. PP. 4–9. (In Russ.)]

**Терешин Н., Хасанов И.Ш.** 2023. Энергетическая политика Китайской Народной Республики в современных условиях. *Глобальная экономика и образование*. Т. 3. № 1. С. 55–64. [Tere-shin N.V., Khasanov I.Sh. 2023. Energy Policy of the People's Republic of China in Modern Conditions. *Global'naya ekonomika i obrazovanie*. Vol. 3. No 1. PP. 55–64. (In Russ.)]

**Халова Г.О., Жучкова Т.А.** 2022. Переход на альтернативную энергетику как фактор декарбонизации энергетического сектора Китая. *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. № 10. С. 59–66. [Khalova G.O., Zhuchkova T.A. 2022. The Transition to Alternative Energy as a Factor of the Energy Sector Decarbonization in China. *Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom*. No 10. PP. 59–66. (In Russ.)] DOI: 10.33285/1999-6942-2022-10(214)-59-66

**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. № 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. *Ekonomika regiona*. Vol. 19. Iss. 1. PP. 244–258. (In Russ.)] DOI: 10.17059/ekon.reg.2023-1-19

**Chen H., Chen J., Han G., Cui Q.** 2022. Winding Down the Wind Power Curtailment in China: What Made the Difference? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 167. DOI: 112725. 10.1016/j.rser.2022.112725

**Diao J., Liu J., Zhu Z., Wei X., Li M.** 2022. Active Forest Management Accelerates Carbon Storage in Plantation Forests in Lishui, Southern China. *Forest Ecosystems*. Vol. 9. DOI: 10.1016/j.fecs.2022.100004

**Fan J.L., Wang J. X., Hu J.W., Yang Y., Wang Y.** 2021. Will China Achieve its Renewable Portfolio Standard Targets? An Analysis from the Perspective of Supply and Demand. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 138. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110510

**Grigoryev L.M., Zharonkina D.** 2023. China's Capital Formation in the Volatile Time. *BRICS. Journal of Economics*. No 4. PP. 265–283. DOI: 10.3897/brics-econ.4.e105980

**Jie D., Xu X., Guo F.** 2021. The Future of Coal Supply in China Based on Non-fossil Energy Development and Carbon Price Strategies. *Energy*. Vol. 220. DOI: 10.1016/j.energy.2020.119644

**Lo K.** 2020. Governing energy consumption in China: a Comprehensive Assessment of the Energy Conservation Target Responsibility System. *Energy Transitions*. No 4. PP. 57–67. DOI: 10.1007/s41825-020-00023-0

**Shirov A., Kolpakov A.** 2022. Russia's Contribution to Achieving Global Decarbonization Goals. *Global Challenges of Climate Change*. Vol. 1. PP. 207–213. DOI: 10.1007/978-3-031-16470-5\_13

**Shu Y., Zhang L., Zhang Y., Wang Y., Lu G., Yuan B., Xia P.** 2021. Carbon Peak and Carbon Neutrality Path for China's Power Industry. *Strategic Study of Chinese Academy of Engineering*. Vol. 23. Iss. 6. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2021.06.001

**Tong Z., Cheng Z., Tong S.** 2021. A Review on the Development of Compressed Air Energy Storage in China: Technical and Economic Challenges to Commercialization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 135. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110178

**Vehmas J., Kaivo-oja J., Luukkanen J.** 2018. Energy Efficiency as a Driver of Total Primary Energy Supply in the EU-28 Countries – Incremental Decomposition Analysis. *Heliyon*. Vol. 4. Iss. 10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2018.e00878

**Xu S.** 2021. The Paradox of the Energy Revolution in China: A Socio-technical Transition Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 137. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110469

**Zhang J., Lu J., Pan J., Tan Y., Cheng X., Li Y.** 2022. Implications of the Development and Evolution of global Wind Power Industry for China – an Empirical Analysis is Based on Public Policy. *Energy Reports*. Vol. 8. S. 4. PP. 205–219. DOI: 10.1016/j.egyr.2022.01.115

**Zhao F., Bai F., Liu X., Liu Z.** 2022. A Review on Renewable Energy Transition under China's Carbon Neutrality Target. *Sustainability*. No 14. DOI: 10.3390/su142215006



## ENERGY CONSUMPTION IN CHINA: DYNAMICS, MAIN DRIVERS AND CONSEQUENCES

**Volha Kolb**<sup>1</sup> (<https://orcid.org/0000-0003-3096-7450>)

**Wang Qiang**<sup>2</sup> (<https://orcid.org/0009-0002-7348-845X>)

<sup>1</sup> Belarusian State Economic University (Minsk, Belarus);

<sup>2</sup> Sinohydro Corporation Limited (Minsk, Belarus).

*Corresponding author:* Volha Kolb ([olgakolb@gmail.com](mailto:olgakolb@gmail.com)).

**ABSTRACT.** An analysis of energy consumption statistics in China for the period from 1965 to 2022 was carried out. The following indicators are considered: China's share in world energy consumption, the structure of energy resources used, energy intensity, and CO<sub>2</sub> emissions. It is shown, based on an analysis of literary sources, that the problem of developing the energy sector in China is considered exclusively in the context of analyzing the environmental effects of this development. The relationship between energy consumption and economic growth in China is assessed. Using input-output tools, the contribution of specific industries to energy consumption in China has been assessed. It has been established that the greatest contribution to the consumption of electrical and thermal energy, along with the energy sector itself, is made by such industries as construction, as well as the production of machinery, equipment, vehicles and electronics.

**KEYWORDS:** China, energy consumption, input-output analysis, CO<sub>2</sub> emission, energy intensity.

**JEL-code:** O53, Q43, Q52.

**DOI:** 10.46782/1818-4510-2023-4-44-60

*Received 21.11.2023*

---

In citation: Kolb V., Wang Qiang. 2023. Energy Consumption in China: Dynamics, Main Drivers and Consequences. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal*. No 4. PP. 44–60. DOI: 10.46782/1818-4510-2023-4-44-60 (In Russ.)

---

