



Необходимость ядерной энергетики при переходе Индии к экологически чистой энергии

Ситаканта Мишра, Пранав Бхаскар

Школа гуманитарных наук Университета энергетики им. Пандита Динда-яла, Гуджарат, Индия, <https://pdeu.ac.in/>

Аннотация: Изменение климата – это реальность, и Индия проявляет активность в решении этой проблемы как на национальном уровне, так и вместе с мировым сообществом, несмотря на демографические сложности и задачи развития. Изучая технологические решения по сокращению углеродных выбросов в различных секторах, в ближайшее время Индия также пытается рационализировать свой энергетический баланс для обеспечения долгосрочной устойчивости, выбирая экологически чистые источники энергии. Для такого перехода Индия запланировала разумное сочетание разных источников энергии для достижения поставленной ею цели – достичь нулевых выбросов к 2070 году. При этом она реализует долгосрочную стратегию развития с низким потреблением углерода и стремится к 2030 году получать не менее 50 % электроэнергии из возобновляемых источников. В частности, государство активно поощряет проекты солнечной и ветровой энергетики, что привело к заметному увеличению производства возобновляемой энергии. Тем не менее ядерная энергетика остаётся экономически эффективным и стабильным альтернативным источником энергии, покрывающим базовую нагрузку, и её тоже необходимо развивать, чтобы облегчить плавный переход Индии к чистой энергетике с ограниченным потреблением углерода. В статье утверждается, что ядерная энергетика является реальным вариантом выполнения Индией своих обязательств по борьбе с изменением климата при сохранении высоких темпов экономического развития.

Ключевые слова: Индия, энергетический переход, ядерная энергетика, нулевые выбросы, энергетическая безопасность, изменение климата, зелёная энергетика, варианты чистой энергии.

Вступление

Изменение климата вызвано человеком и требует национальных и общемировых усилий по борьбе с этой угрозой. Хотя в настоящее время углеродные выбросы в Индии ниже среднемирового уровня, она «участвует в коллективных усилиях»,¹ как ответственный член сообщества наций, «делая больше, чем требуется». ² Критики часто упускают из виду необходимость поиска Индией баланса между экономическим развитием и осмысленными климатическими мерами, а также её традиционный «устойчивый образ жизни». ³ Но поскольку это самая большая по населению страна мира, планирующая к 2030 году выйти на третье место по экономике, ожидается, что её потребности в энергии в течение следующих 30 лет будут расти примерно в 1,5 раза быстрее среднемировых. ⁴ Это, в свою очередь, резко увеличит углеродные выбросы в Индии. Если в следующие 10 лет не принять решительных мер, Индию могут обвинить в безответственном отношении к защите уязвимых групп населения, страдающих от изменения климата, внутри страны и за её пределами.

Индия приняла ряд мер по борьбе с изменением климата, включая Национальный план действий по изменению климата (NAPCC) в 2008 году, в котором поставлены восемь национальных климатических задач. ⁵ В рамках обязательств по борьбе с изменением климата Индия взяла на себя индивидуальные обязательства согласно своего национального вклада в сокращение углеродных выбросов «для ограничения роста температуры в мире до 1,5 градусов Цельсия по сравнению с доиндустриальным уровнем». Индия обязалась достичь нулевых выбросов к 2070 году, на 20 лет позже других основных загрязняющих природу стран – США и Китая, поставивших такую цель на середину этого столетия. ⁶

Однако все эти шаги не спасут Индию от давления мира, требующего от неё реальных решений в отношении источников энергии, и особенно – ак-

¹ Government of India, “Climate Change and India: Why We Must Look at the Problem Through Our Lens,” *Economic Survey 2023-24*, Chapter 13, p. 447, <https://www.india.budget.gov.in/budget2024-25/economicsurvey/doc/eschapter/echap13.pdf>.

² Ministry of Environment, Forest and Climate Change, “India Is Part of the Solution and Is Doing More Than Its Fair Share to Address Climate Change,” *Press Release*, February 2, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1895857>.

³ Jyoti Bajpai, “Sustainable Living Through India’s Traditional Practices, Lifestyle and Cultural Wisdom,” *Idealistic Journal of Advanced Research in Progressive Spectrums* 3, no. 10 (October 2024): 181-188, <https://journal.ijarps.org/index.php/IJARPS/article/view/438>.

⁴ International Energy Agency (IEA), *World Energy Outlook 2022*, Revised Version, November 2022, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

⁵ Government of India, Ministry of Science and Technology, “Climate Change Programme,” по состоянию на 15 сентября 2024, <https://dst.gov.in/climate-change-programme>.

⁶ “United States,” CLIMATEWATCH, accessed March 16, 2025, https://www.climatewatchdata.org/countries/USA?end_year=2021&start_year=1990.

тивного перехода к «зелёной и чистой энергетике». Индия должна достичь этой цели менее чем за 50 лет, не нарушая траекторию роста экономики и не снижая качество жизни, хотя определение правильного пути подлежит постоянной оценке. На Конференции стран-участниц (КС-26) Конференции ООН по изменению климата в Глазго в ноябре 2021 года премьер-министр Нарендра Моди представил план действий Индии по борьбе с изменением климата из пяти основных элементов: увеличение мощностей по производству энергии из неископаемых видов топлива, использование возобновляемых источников энергии, сокращение углеродных выбросов, снижение углеродоемкости экономики, и обязательство достичь нулевых выбросов.⁷

По мнению Бхаттачарьи с коллегами, для достижения желаемого экономического роста и нулевых выбросов при ожидаемом росте населения и потребления энергии Индии к 2070 году нужно втрое увеличить выработку энергии (18900–22300 ТВтч/год).⁸ Между тем ожидается, что углеродные выбросы к 2030 году утратятся, а значит, энергетический переход в Индии будет сложным. Акцент на возобновляемые источники энергии оправдан, но для срочной декарбонизации всей экономики нужно разумное сочетание источников энергии при одновременном поддержании темпов роста экономики. Цель покрыть 50 % энергетических потребностей за счёт возобновляемых источников (энергии солнца и ветра) к 2030 году желанна, но их крайняя изменчивость и непостоянство приводят к высоким системным затратам. Как заявил премьер-министр Моди в Глазго, к 2030 году Индии потребуется на «климатическое финансирование» 1 трлн. дол. (около 160 млрд. дол. в год, по данным Международного энергетического агентства),⁹ что говорит о сложности поиска стабильных и экономически эффективных ресурсов для перехода Индии на зелёную энергию. Согласно математической модели энергоперехода Индии со снижением углеродных выбросов, разработанной Индийским технологическим институтом в Бомбее (IIT Bombay) для целевой группы Международного фонда Вивекананды (VIF) в 2021 году, энергопереход Индии к нулевым выбросам до 2070 года обойдется в 11,2 трлн. долларов в сценарии с преобладанием ядерной энергетики, тогда как стоимость перехода Индии на возобновляемые источники энергии будет на 28 % выше – 15,5 трлн. долларов.¹⁰

⁷ Ministry of Environment, Forest and Climate Change, “India’s Stand at COP-26,” *Press Release*, February 3, 2022, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1795071>.

⁸ Rupsha Bhattacharyya et al., “Estimating Minimum Energy Requirement for Transitioning to a Net-Zero, Developed India in 2070,” *Current Science* 122, no. 5 (2022): 517–527, 517, <https://doi.org/10.18520/cs/v122/i5/517-527>.

⁹ Prime Minister’s Office, India, “National Statement by Prime Minister Shri Narendra Modi at COP26 Summit in Glasgow,” *Press Release*, November 1, 2021, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1768712>.

¹⁰ Vivekanand International Foundation (VIF), “India’s Energy Transition in a Carbon-Constrained World,” VIF Task Force Report, 2021, 201–202, www.vifindia.org/sites/default/files/India-s-Energy-Transition-in-a-Carbon-Constrained-World-Final-Report.pdf.

Структура и методология

В статье рассматривается выбор возобновляемых источников энергии в Индии и потребность в ядерной энергетике при переходе к чистой энергетике в сравнении с другими возобновляемыми источниками для достижения нулевых выбросов. Статья начинается с прогноза выработки возобновляемой энергии в связи с поставленной Индией целью энергетического перехода. Далее отмечается важность ядерной энергетике, как реального пути для Индии. Используя сравнительный подход, основанный на эмпирических данных и открытой литературе, исследование рассматривает конкурентоспособность, эффективность и экономичность проектов ядерной энергетике в сравнении с возобновляемыми источниками энергии. При этом в статье рассматриваются все варианты возобновляемой энергетике, как компоненты энергетического сектора Индии при переходе к чистой энергетике. В статье утверждается, что ядерная энергетика наиболее выгодна для удовлетворения растущего спроса на энергию в Индии, при этом позволяя достичь нулевых выбросов.

Отмечая конкурентные преимущества и достоинства ядерной энергетике при переходе Индии к чистой энергетике, статья не обходит вниманием и факторы риска, связанные с развитием атомной энергетике, включая её признание обществом, безопасность и геополитические проблемы региона. В заключительной части статьи предлагается создать равные условия для всех участников и распространить соответствующие льготы на атомную энергетике для эффективной декарбонизации всей экономики без ущерба для экономического роста. В статье также предложен набор инструментов для повышения общественной поддержки проектов атомной энергетике, учитывая, что общественное восприятие всего, что связано с ядерной энергетикой, остаётся в основном негативным.

Прогнозы спроса и поставленные цели

Заменить ископаемое топливо возобновляемыми источниками для декарбонизации всей экономики невозможно. Внимание только к одному сектору, например, энергетике, на долю которой приходится почти 49 % выбросов CO₂ в Индии,¹¹ также не поможет достичь нулевых выбросов. Индии нужно одновременно декарбонизировать транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, сельское хозяйство и промышленность, которым требуется стабильное энергоснабжение. По данным Министерства энергетике, основную часть электроэнергии в Индии вырабатывают тепловые электростанции (преимущественно угольные).¹² По состоянию на июнь 2025 года на их долю

¹¹ Abhijeet Agrawal, "Watts of Change: Power Sector Leads the Charge for a Just Transition," *PowerLine*, December 22, 2023, <https://powerline.net.in/2023/12/22/watts-of-change-power-sector-leads-the-charge-for-a-just-transition/>.

¹² Ministry of Power, "Adequate Capacity Available in the Country to Meet the Rising Demand of Power: Shri R. K. Singh, Union Power & NRE Minister," July 27, 2023, <https://www.pib.gov.in/PressReleaseFramePage.aspx?PRID=1943368>.

приходилось 240 ГВт, или 50,52 % установленных мощностей; далее следуют солнечная, ветровая и гидроэнергетика.¹³ Между тем для обеспечения быстрого роста ВВП (до 8,6 трлн. долларов к 2040 году) и скорейшей индустриализации на фоне быстрого роста населения потребление энергии в Индии к 2040 году увеличится «более чем вдвое»,¹⁴ а спрос на электроэнергию при нынешней политике утроится.¹⁵ По оценке Центрального управления электроэнергетики, спрос на электроэнергию в Индии вырастет с 1566 ТВтч в 2021-2022 гг. до более чем 2047 ТВтч в 2026-2027 гг.¹⁶

Цель достижения нулевых выбросов к 2070 году заключается не только в сокращении выбросов парниковых газов (ПГ) от использования ископаемого топлива за счёт возобновляемых источников энергии. Она также предусматривает удаление ПГ из атмосферы путём создания поглотителей углерода и внедрения технологий улавливания углерода. Переход к зелёной энергетике должен прежде всего создавать возможности для экономики, а не разрушать её. Рост использования возобновляемых источников энергии желателен, но неверно полагать, что вся энергия, необходимая Индии для поддержания достойного уровня жизни, может быть получена только за счёт солнечной, ветровой или биоэнергии, поскольку эти источники имеют серьёзные ограничения. Возобновляемые источники – солнечная, ветровая и геотермальная энергия – перспективны, и Индия активно развивает их использование, но эти источники часто сопряжены с проблемами стабильной и надёжной генерации и масштабируемости для удовлетворения высокого спроса на энергию.¹⁷ Технологии использования возобновляемых источников энергии пока недостаточно развиты для обеспечения базисной нагрузки тяжелой промышленности. За исключением гидроэнергетики в богатых ею районах, ни один такой источник энергии не подходит для стабильной генерации в больших объёмах. Поэтому у Индии есть веские основания для расширения ядерной энергетики, как чистого и стабильного источника базисной нагрузки. Несмотря на скромный вклад в общую выработку электроэнергии сегодня, ядерная энергетика имеет немалый потенциал в качестве реального неископаемого источника энергии для удовлетворения растущих энергетических потребностей Индии и обеспечения перехода к чистой энергетике.

¹³ “India’s Energy Landscape: Powering Growth with Sustainable Energy,” Press Information Bureau, June 22, 2025, <https://www.pib.gov.in/PressNoteDetails.aspx?NoteId=154717&ModuleId=3>.

¹⁴ International Energy Agency (IEA), *India Energy Outlook 2021*, World Energy Outlook Special Report (Paris: IEA, February 2021), <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>.

¹⁵ IEA, *India Energy Outlook 2021*, 78.

¹⁶ IEA, *India Energy Outlook 2021*.

¹⁷ Sudhir Pathak, “The Challenges and Solutions in Scaling up Renewable Energy,” *Hero Future Energies*, October 8, 2024, www.herofutureenergies.com/blog/renewable-energy-challenges-and-solution/.

Необходимость ядерной энергетики

Очевидно, что атомная энергетика в Индии не является приоритетом по сравнению с возобновляемыми источниками энергии при переходе к «зелёной» энергетике из-за высоких капитальных затрат, длительного цикла и опасений общественности. Она также считается «традиционным» и «невозобновляемым источником энергии», который, даже будучи нулевым по выбросам углерода, не может стать «механизмом перехода к энергетике, ориентированной на человека».¹⁸ Сообщалось, что именно поэтому атомная энергетика не вошла в повестку саммита «Большой двадцатки» 2023 года в Индии.¹⁹

Согласно исследованию Яверта (Бюллетень МАГАТЭ), «атомная энергетика является вторым наибольшим низкоуглеродным источником энергии, используемым сегодня для выработки электроэнергии, после гидроэнергетики».²⁰ Глава МАГАТЭ Рафаэль Мариано Гросси в кулуарах саммита G20 на Бали в 2022 году заявил, что «как коллективное сообщество... [мы должны] совершенно ясно понимать, что нам понадобится ядерная энергетика ... и ядерная энергетика заслуживает равных прав с другими низкоуглеродными источниками энергии в процессе перехода к зелёной энергетике...».²¹ Поэтому о безуглеродной природе ядерной энергетике не стоит забывать лишь из-за её невозобновляемости, поскольку в мире мало альтернативных источников энергии.

В настоящее время доля ядерной энергетике в общем объёме производства электроэнергии в Индии составляет около 3 %, что значительно меньше, чем у таких крупных экономик, как Франция (62,6 %), Евросоюз (20 %) и США (20 %). Китай введёт в эксплуатацию «не менее 150 новых реакторов в течение следующих 15 лет»,²² увеличив долю ядерной энергетике до 10 %. В Индии эксплуатируется всего 23 энергетических реактора общей мощностью 7480 МВт, ещё десять реакторов строятся, что скоро добавит ещё 8000 МВт.²³ С постепенным завершением их строительства, при 12

¹⁸ Ministry of Power, Government of India, "G20 Energy Transitions Working Group Deliberations Conclude Successfully with Shared Views and Consensus on Priority Areas," Press Information Bureau, February 6, 2023, <https://www.pib.gov.in/PressReleaseDetailm.aspx?PRID=1896807>.

¹⁹ Ministry of Power, Government of India, "G20 Energy Transitions Working Group Deliberations Conclude Successfully."

²⁰ Nicole Jawerth, "What Is the Clean Energy Transition and How Does Nuclear Power Fit in?" *IAEA Bulletin* 61, no. 3 (2020), <https://www.iaea.org/bulletin/what-is-the-clean-energy-transition-and-how-does-nuclear-power-fit-in>.

²¹ Rafael Mariano Grossi, "The Power of Nuclear," The Global Governance Project, 2022, www.globalgovernanceproject.org/the-power-of-nuclear/rafael-mariano-grossi/.

²² Dan Murtaugh, Krystal Chia, "China's Climate Goals Hinge on a \$440 Billion Nuclear Buildout," *Bloomberg*, November 2, 2021, www.bloomberg.com/news/features/2021-11-02/china-climate-goals-hinge-on-440-billion-nuclear-power-plan-to-rival-u-s.

²³ Department of Atomic Energy, "Government Has Initiated Steps to Increase the Nuclear Power Capacity from 7480 MW to 22480 MW by 2031-32, Says Union Minister

утверждённых и ещё 28 запланированных реакторах, мощности ядерной энергетики к 2031 году достигнут 22480 МВт.²⁴

Индия намерена к 2047 году покрывать 9 % потребностей в электроэнергии за счёт ядерной энергетики,²⁵ что выглядит вполне реальным. При дальнейшем увеличении ядерных мощностей Индия сможет производить 50-60 ГВт ядерной энергии в 2050 и 80-90 ГВт в 2070 гг.,²⁶ что покроет более 25 % её потребностей в электроэнергии. По оценке DAE, «общий объем электроэнергии, выработанной на атомных электростанциях за последние десять лет (с 2013-2014 по 2022-2023 гг.), составил около 411 ТВтч, что позволило предотвратить выброс в окружающую среду около 353 миллионов тонн эквивалента CO₂», и эта цифра со временем будет расти.²⁷ Только в 2020-2021 годах ядерная энергетика позволила избежать 41 миллиона тонн выбросов CO₂ по сравнению с выбросами угольных тепловых электростанций при выработке такого же количества энергии.²⁸

Понятно, что рост ВВП, потребности в энергии и выбросы углерода взаимосвязаны.²⁹ С ростом экономики увеличивается спрос и потребление энергии, углеродные выбросы тоже растут. По данным Министерства энергетики, выбросы на душу населения в Индии в 2022 году выросли на 5,1 %, до 2,29 т, что значительно ниже среднемирового показателя в 6,3 т.³⁰ Ожидается, однако, что при ускорении экономического роста и продолжении ур-

Dr Jitendra Singh," Press Information Bureau Delhi, December 20, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseFramePage.aspx?PRID=1988863>.

²⁴ Department of Atomic Energy, "Dr Jitendra Singh Says Nuclear Power Capacity Set to Increase from 7480 MW to 22480 MW by 2031," Press Information Bureau Delhi, July 20, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1941010>.

²⁵ Ministry of Science & Technology, "India Is Committed to Achieve the Net Zero Emissions Target by 2070 as Announced by MP Modi, Says Dr. Jitendra Singh," Press Information Bureau, September 28, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseFramePage.aspx?PRID=1961797>.

²⁶ Deloitte, FICCI, "India's Energy-Transition Pathways: A Net-Zero Perspective," 2023, 22, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/in/Documents/energy-resources/in-eri-India%E2%80%99s%20energy-transition%20pathways-noexp.pdf>.

²⁷ Department of Atomic Energy, "Union Minister Dr. Jitendra Singh Says, Presently (2020-21) Nuclear Power Is Saving 41 Million Tonnes of CO₂ Emissions Annually, Compared to the Emissions that Would Be Generated by Equivalent Electricity Generation from Coal Based Thermal Power Plants," Press Information Bureau, March 15, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseDetail.aspx?PRID=1907214>.

²⁸ Department of Atomic Energy, "Presently (2020-21) Nuclear Power Is Saving 41 Million Tonnes of CO₂ Emissions Annually."

²⁹ Namit Sharma, Bram Smeets, Christer Tryggestad, "The Decoupling of GDP and Energy Growth: A CEO Guide," *McKinsey & Company*, April 24, 2019, по состоянию на 15 мая 2024, www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-decoupling-of-gdp-and-energy-growth-a-ceo-guide.

³⁰ Livemint, "India's per Capita Carbon Emissions Remain Low amidst Climate Change Concerns: Union Power Minister," July 21, 2023, <https://www.livemint.com/industry/>

банизации выбросы углерода в Индии без принятия специальных мер будут стремительно расти, и страна выйдет на третье место по загрязнению окружающей среды, после США и Китая.

Благодаря активному развитию возобновляемых источников энергии в последние 10 лет доля неископаемых источников энергии в общей установленной мощности электрогенерации Индии (476 ГВт) на июнь 2025 года составила 49 % (235,7 ГВт).³¹ Вероятно, Индия задолго до 2030 года будет покрывать 50 % спроса на электроэнергию за счёт возобновляемых источников энергии, как было обещано на Конференции стран-участниц (КС-26) в Глазго, что позволит сократить выбросы на 45 %.³² Но это не решит проблему энергетического перехода одним махом. В дальнейшем, с ускорением экономического роста на фоне индустриализации и роста населения, спрос на энергию в Индии будет расти экспоненциально – около 24 470 ТВтч, согласно модели прогноза, разработанной Индийским технологическим институтом в Бомбея для целевой группы VIF.³³ Потребность в энергии для обеспечения базовой нагрузки тяжёлой промышленности вынудит Индию искать стабильные источники энергии, и ядерная энергетика – наилучший вариант, помимо гидроэнергетики (в настоящее время строится 42 новых гидроэнергетических объекта).³⁴

Ядерная энергетика предпочтительнее возобновляемых источников ещё по двум весомым причинам. Во-первых, атомные электростанции занимают меньше места, чем возобновляемые. В частности, солнечная энергетика требует гораздо больше земли, чем ядерная. Точный размер необходимой площади может варьировать в зависимости от типа используемых фотоэлектрических панелей, расстояния между рядами панелей, рельефа местности и т.д., но типовая солнечная электростанция промышленного масштаба может занимать 1-2 га земли на мегаватт мощности.³⁵ Согласно исследованию Кизекера и др., обязательство Индии сократить углеродные выбросы за счёт роста выработки возобновляемой энергии до 175 ГВт к 2022 году потребует от 55 000 до 125 000 км² земли (5,5-12,5 млн. га), «что примерно равно площади штата Химачал-Прадеш или Чхаттисгарх, соответ-

[energy/indias-per-capita-carbon-emissions-remain-low-amidst-climate-change-concerns-union-power-minister-11689948764652.html](https://energy.indias-per-capita-carbon-emissions-remain-low-amidst-climate-change-concerns-union-power-minister-11689948764652.html).

³¹ “India’s Energy Landscape: Powering Growth with Sustainable Energy.”

³² Ministry of Power, Government of India, “Need to Shift Climate Change Narrative from Total Emissions to Per Capita Emissions of Each Country: Union Minister for Power and New & Renewable Energy,” Press Information Bureau, August 25, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1952260>.

³³ VIF, “India’s Energy Transition in a Carbon-Constrained World,” Chapter 8.

³⁴ Ministry of Power, “G20 Energy Transitions Working Group Deliberations Conclude Successfully.”

³⁵ KP Group, “Land Requirements for Solar Power Plants in India: Key Insights,” accessed June 24, 2025, <https://kpgroup.co/blog/land-requirements-for-solar-power-plants-in-india/>.

ственно».³⁶ Исследование ван де Вена с коллегами показало, что если к 2050 году 78 % электроэнергии в Индии будет вырабатываться наземными солнечными панелями и около 3 % – установленными на крышах, они займут более 137-182 % городских территорий, 1,9-2,5 % сельскохозяйственных угодий и 1-1,4 % всех земель.³⁷ Более того, к 2023 году около «74 % объектов солнечной энергетики в Индии будет построено на типах земельного покрова, имеющих природоохранную или сельскохозяйственную ценность».³⁸ По мере дальнейшей экспансии солнечной энергетики обострится борьба за землю.

Согласно математическому моделированию Индийского технологического института в Бомбее (целевая группа VIF), Индии «потребуется 14 680 ГВт солнечной энергии, если она будет использовать преимущественно возобновляемые источники», что «потребуется земель общей площадью 412 033 км²».³⁹ Но согласно докладу Сукхатме, в Индии всего 200 000 км² бесплодных и необрабатываемых земель.⁴⁰ Для решения проблемы нехватки земли предлагается устанавливать солнечные панели на крышах домов. Правительство Индии недавно объявило об установке солнечных панелей на крышах 10 миллионов домовладений, но они не заменят наземные солнечные электростанции из-за ограничений, связанных со стихийными бедствиями и обслуживанием.⁴¹ Цель выработки 40 ГВт солнечной энергии на крышах домов к 2022 году фактически недостижима; к концу 2023 года солнечные батареи на крышах дали только 11 ГВт.⁴²

Согласно отчёту Института экономики и финансового анализа в области энергетики (IEEFA), при достижении Индией к середине века нулевых вы-

³⁶ Joseph Kiesecker et al., “Renewable Energy and Land Use in India: A Vision to Facilitate Sustainable Development,” *Sustainability* 12, no. 1 (2019), 281, <https://doi.org/10.3390/su12010281>.

³⁷ Dirk-Jan van de Ven et al., “The Potential Land Requirements and Related Land Use Change Emissions of Solar Energy,” *Scientific Reports* 11, no. 1 (2021), 2907, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82042-5>.

³⁸ Zoya Ada Hussain, “The Balance Between Expanding Renewable Projects and Feeding India’s Population,” *Mongabay*, September 4, 2023, <https://india.mongabay.com/2023/09/the-balance-between-expanding-renewable-projects-and-feeding-indias-population/>.

³⁹ VIF, “India’s Energy Transition in a Carbon-Constrained World,” Chapter 8.

⁴⁰ S.P. Sukhatme, “Can India’s Future Needs of Electricity Be Met by Renewable Energy Sources? A Revised Assessment,” *Current Science* 103, no. 10 (2012): 1153-1161, <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/103/10/1153.pdf>.

⁴¹ Rituraj Baruah, “Rooftop Solar Installations for 10 million Households: PM Modi,” *mint*, January 23, 2024, www.livemint.com/economy/rooftop-solar-installations-for-10-million-households-pm-modi-11705948682002.html.

⁴² “PM Modi Announces Rooftop Solar Scheme, His 1st Decision after Ram Temple Inauguration,” *The Economic Times*, January 22, 2024, <https://economictimes.indiatimes.com/industry/renewables/pm-modi-announces-scheme-to-install-rooftop-solar-systems-in-1-crore-homes-his-first-decision-after-ram-temple-inauguration/articleshow/107058370.cms>.

бросов путём перехода на возобновляемые источники энергии площадь земель под солнечными электростанциями составит от 50 000 до 75 000 км², под ветроэлектростанциями – от 15 000 до 20 000 км² (общая площадь объектов).⁴³ Большинство исследователей этой темы сходятся во мнении, что структура землепользования может сдерживать переход к чистой энергетике в ближайшие десятилетия, поэтому необходимо тщательное планирование. При этом многие утверждают, что «потребность в земле сократится до 183 565 км²», если Индия будет использовать для производства того же количества энергии атомную энергетику.⁴⁴ Более того, солнечные электростанции можно размещать на территории АЭС.

С точки зрения конкурентоспособности затрат, стоимость производства и передачи электроэнергии на атомных электростанциях тоже ниже, чем у возобновляемых источников. Солнечная и ветровая энергия, будучи экологически чистыми источниками энергии, недороги, поскольку их источники бесплатны, и они получают большие государственные субсидии на развитие. Однако они генерируют энергию «очень нестабильно», что приводит к «высоким системным затратам». По данным Всемирной ядерной ассоциации, «системные затраты сети для возобновляемых источников энергии, работающих с перерывами, велики (8-50 дол./МВтч)», в то время как «расходы для ядерной системы составляют 1-3 дол./МВтч».⁴⁵

Несомненно, возобновляемые источники энергии – самый дешёвый путь декарбонизации экономики, но утверждение, что это единственный источник, менее затратный, чем другие виды чистой энергии – миф.⁴⁶ В Индии тариф на солнечную энергию в размере 27 дол./МВтч часто называют низким. Согласно отчёту Пола Баттерворта, первоначальные затраты на строительство в тарифах на солнечную энергию субсидируют, а с учётом субсидий реальная стоимость солнечной энергии приближается к 69 дол./МВтч, что в целом соответствует несубсидируемой стоимости солнечной энергии в других странах.⁴⁷

⁴³ Charles Worringham, “Renewable Energy and Land Use in India by Mid-Century,” Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA), September 2021, https://ieefa.org/wp-content/uploads/2021/09/Renewable-Energy-and-Land-Use-in-India-by-Mid-Century_September-2021.pdf.

⁴⁴ Dinkar P. Srivastava, “Opinion: Climate Change and Energy Transition,” *ETEnergy-world.com*, September 25, 2023, <https://energy.economicstimes.indiatimes.com/news/renewable/opinion-climate-change-and-energy-transition-by-dinkar-p-shrivastava/103922020>.

⁴⁵ World Nuclear Association, “Economics of Nuclear Power,” August 2022, accessed May 16, 2024, <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power>.

⁴⁶ Paul Butterworth, “Indian Solar Is Not Cheap – It Is Simply Subsidised,” *CRU Online*, January 10, 2022, <https://sustainability.crugroup.com/article/indian-solar-is-not-cheap-it-is-simply-subsidised>.

⁴⁷ Butterworth, “Indian Solar Is Not Cheap.”

Согласно отчёту Баттерворта, солнечные электростанции Бхадла в Раджастане и Дхолера в Гуджарате (Индия) установили аукционные тарифы на электроэнергию в диапазоне от 1,99 до 2,62 рупий/кВтч. Однако в основе этих тарифов лежит государственная политика обязательной закупки возобновляемой энергии, которая обязывает крупные компании (дочерние или подчинённые) закупать определённый объём возобновляемой энергии (установленный на уровне 21 % на 2022 год).⁴⁸ Кроме того, в Закон о поправках к Закону об электроэнергетике 2021 года были введены положения о штрафах в размере до 10 миллионов рупий за невыполнение этих обязательств.⁴⁹

Среди других стимулов – «льготный тариф», т.е. «ставка, по которой выработанная электроэнергия будет продаваться в течение срока действия договора купли-продажи», и «переключение» на поставку электроэнергии непосредственному потребителю через сеть.⁵⁰ Кроме того, значительную часть первоначальных инвестиций в проекты возобновляемых источников энергии покрывают правительства штатов и федеральное правительство. Инфраструктура солнечной электростанции Dholera Solar Park была предоставлена и разработана компанией Gujarat Power Corporation Ltd. (GPCL), а солнечная электростанция Bhadla Solar Park разработана рядом совместных предприятий правительства Раджастана при финансовой поддержке федерального правительства. Кроме того, тарифы на возобновляемые источники энергии не включают дополнительные расходы, связанные с балансировкой сети, хранением энергии и разными формами регулирования спроса. С расширением инфраструктуры возобновляемых источников энергии и увеличением её доли в общем энергобалансе со временем увеличится и бремя субсидирования передачи и стабилизации сети.

Наконец, технологии возобновляемых источников энергии ещё не очень совершенны, а системы хранения энергии на основе аккумуляторных батарей только разрабатываются. Учитывая цель нулевых выбросов, Министерство энергетики Индии уведомило о долгосрочной динамике обязательств по хранению энергии, чтобы со временем обеспечить достаточный объём хранилищ. Согласно Национальному плану электроэнергетики 2023 года Центрального управления электроэнергетики (CEA), потребности Индии в мощностях накопления энергии должны вырасти до 82,37 ГВтч в 2026-2027 гг., 411,4 ГВтч в 2031-2032 гг. и 2380 ГВтч в 2047 г. В рамках этой динамики обязательства по хранению энергии будут постепенно увеличиваться с 1 % в 2023-2024 финансовом году до 4 % к 2029-2030 финансовому году, на 0,5 % в год.⁵¹

⁴⁸ Butterworth, "Indian Solar Is Not Cheap."

⁴⁹ Ministry of Power, Government of India, "The Electricity (Amendment) Bill, 2022," August 18, 2024, <https://prsindia.org/billtrack/the-electricity-amendment-bill-2022>.

⁵⁰ VIF, "India's Energy Transition in a Carbon-Constrained World," Chapter 8.

⁵¹ Ministry of New and Renewable Energy, "Energy Storage Systems (ESS) Overview," accessed June 24, 2025, <https://mnre.gov.in/en/energy-storage-systemsess-overview>.

Солнечные электростанции в Индии также пока ещё не доказали свою надёжность и долговечность. Несмотря на очень высокую инсоляцию в Индии, средний коэффициент загрузки солнечных электростанций составляет около 15 % (высоким считается коэффициент загрузки намного выше 20 %). Однако данные свидетельствуют о том, что коэффициент загрузки солнечных электростанций в Индии средний, что указывает на то, что они пока неэффективно используют огромный бесплатный ресурс. Это может быть связано с проблемами обслуживания, очистки, конфигурацией инверторов или использованием некачественных панелей и инверторов.

Для сравнения, проекты атомной энергетики выгоднее в плане долгосрочных предельных издержек. Поскольку они работают в среднем около 40 лет, высокие первоначальные капитальные затраты окупаются в течение более длительного срока службы. Кроме того, атомные электростанции имеют более высокий коэффициент загрузки – около 85 %, по сравнению с солнечными (20 %) и ветровыми (35 %) электростанциями, которые работают в Индии лишь несколько месяцев в году.⁵² Поэтому солнечные электростанции вырабатывают вчетверо меньше электроэнергии, чем атомные. С появлением урана после заключения индо-американского соглашения о гражданской ядерной энергии и отказа от требований ГЯП коэффициент использования установленной мощности индийских атомных реакторов увеличился. Первый блок электростанции Кайга установил мировой рекорд, непрерывно проработав 962 дня, до 31 декабря 2018 года. За это время блок «выработал около 5 ТВтч при коэффициенте загрузки около 99,3 %».⁵³ Некоторые индийские атомные реакторы непрерывно работали более года в 39 случаях.⁵⁴ Три реактора – KGS-1 (962 дня), RAPS-3 (777 дней) и RAPS-5 (765 дней) – бесперебойно отработали более двух лет.⁵⁵ При равных условиях конкуренции с возобновляемыми источниками энергии, а также при освобождении от налога на товары и услуги межгосударственных поставок товаров для реализации ядерных проектов тарифы на атомную электроэнергию снизятся ещё больше, сделав её наиболее выгодным стабильным источником энергии.

⁵² Jyoti Gulia, Vibhuti Garg, “Wind-Solar Hybrid: India’s Next Wave of Renewable Energy Growth: An Analysis of Tariff Trends, Policy and Regulation, and Challenges in a New Market,” Institute for Energy Economics and Financial Analysis, October 2020, https://ieefa.org/wp-content/uploads/2020/10/Wind-Solar-Hybrid-Indias-Next-Wave-of-Renewable-Growth_October-2020.pdf.

⁵³ Nuclear Power Corporation of India Ltd., “KGS-1 Sets New Benchmark in Continuous Operation,” 2019, по состоянию на 13 мая 2024, www.npcil.nic.in/WriteReadData/userfiles/file/Major_Achievements_Report_English_17012019_01.pdf.

⁵⁴ B.V.S. Sekhar, “Nuclear Power in India,” в *Atomic Energy in India: Achievements since Independence*, ed. A.K. Tyagi (Bhabha Atomic Research Centre, 2022), 98, <https://www.barc.gov.in/ebooks/9789356590526/paper08.pdf>.

⁵⁵ Department of Atomic Energy, Government of India, “Annual Report 2019-20,” 2020, IV, https://data.dae.gov.in/publication_Anuual_Reports/English-2019-2020/Annual2019-2020e.pdf.

Индия также заметно ускоряет инновации в атомной энергетике, проводя необходимые законодательные реформы, наращивая потенциал и внедряя передовой опыт международного сотрудничества. Малые модульные реакторы (ММР), которые сегодня доминируют в атомной энергетике, на передовом рубеже ядерных технологий, могут решить существующие в отрасли критические проблемы. Индия намерена повышать роль ММР в своих планах энергетического перехода и планирует развивать эту сферу, сосредоточившись на развитии технологий, нормативно-правовой базы и расширении участия частного сектора на основе стратегического партнёрства.⁵⁶ Поскольку ожидается, что на разработку этой технологии уйдет не менее 20 лет, в бюджете страны на 2025-2026 годы выделено 200 млрд. рупий на реализацию Миссии по ядерной энергии – НИОКР по созданию не менее пяти отечественных ММР, которые планируется ввести в эксплуатацию к 2033 году. Это говорит о том, что Индия видит в ядерной энергетике одну из основ своего энергетического баланса, стремясь к амбициозной цели – нарастить мощности ядерной энергетики до 100 ГВт к 2047 году.⁵⁷

Критические проблемы

Ядерная энергетика прекрасно подходит для достижения Индией целей борьбы с изменением климата и реализации более широких планов энергетического перехода – достижения нулевых выбросов к 2070 году. Тем не менее эти технологии крайне чувствительны из-за присущих им высоких рисков внутри страны и за рубежом, связанных с безопасностью, защитой, гарантиями и геополитической стабильностью. На национальном уровне, несмотря на отсутствие широкого «зелёного движения» и общеполитический консенсус в пользу ядерных технологий, спорадическое общественное сопротивление на местах приводило к задержкам реализации проектов. Поскольку технологии – это выбор общества, а между наукой, технологиями и обществом существует сложная взаимосвязь, ни один амбициозный технический проект не может быть успешным без одобрения общества. Более широкая общественная поддержка ядерных проектов появится только тогда, когда будут вдумчиво учтены все опасения, а полученные выгоды явно перевесят сопутствующие риски. Легких путей здесь нет, поскольку многочисленные аварии за рубежом не раз подогревали общественный скептицизм и антиядерные настроения в Индии.

Во-вторых, на ядерную энергетику в Индии давит региональная геополитика противоречий в стратегическом треугольнике с Пакистаном и Китаем.

⁵⁶ National Institution for Transforming India, “A Report on the Role of Small Modular Reactors in the Energy Transition,” May 2023, <https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2023-06/The-Role-of-Small-Modular-Reactors-in-the-Energy-Transition-05162023.pdf>.

⁵⁷ Government of India, Press Information Bureau, “Nuclear Power in Union Budget 2025-26,” Department of Atomic Energy, February 3, 2025, <https://static.pib.gov.in/WriteReadData/specificdocs/documents/2025/feb/doc202523495401.pdf>.

Активное развитие атомной энергетики Индии, вероятно, не останется незамеченным её конкурентами, что может спровоцировать региональную ядерную гонку. Пакистан может увидеть в этом угрозу и ответить наращиванием своего ядерного арсенала. Поэтому развитие ядерной энергетики в Индии может косвенно повлиять на ядерную стратегию Пакистана и его представления о безопасности. При этом стратегическая связь между Китаем и Пакистаном, вероятно, усилится, а любая нестабильность или эскалация в регионе может негативно повлиять на экономический рост в Индии.

Третья критическая проблема – необходимость сохранения доброй репутации Индии в области ядерной безопасности, защиты и гарантий. Любой сбой из-за человеческой ошибки, стихийного бедствия или геополитической нестабильности может поставить под угрозу амбиции Индии в области ядерной энергетики и подорвать общественный и политический консенсус. Поэтому крайне важно, чтобы Индия поддерживала самые высокие стандарты ядерной безопасности, особенно в этом нестабильном регионе, подверженном терроризму и стихийным бедствиям.

Заключение

В общем и целом, ядерная энергетика вполне может стать важным элементом энергетического баланса Индии, как ключевой фактор перехода страны к чистой зелёной энергетике при условии максимально эффективного управления ею. Прагматичная стратегия Индии по достижению нулевых выбросов к 2070 году предполагает сочетание развития возобновляемых источников энергии и ядерной энергетики. Для этого ядерная энергетика должна быть официально признана источником «чистой» энергии и получить льготы аналогично проектам возобновляемой энергетики. Более того, ядерным энергетическим проектам следует присвоить статус обязательных наравне с возобновляемыми источниками энергии, для рационального подхода к ним в рамках энергетического перехода Индии. Стремясь к ограничению углеродных выбросов, было бы неразумно игнорировать безуглеродную ядерную энергетiku только потому, что она не возобновляема.

Для дальнейшей интеграции ядерной энергетики и укрепления общественной поддержки национальный дискурс по ядерной энергетике следует организовать в контексте «ограниченности энергетического выбора». Этот подход выделяет ядерную энергетiku как реальный вариант при ограниченном наборе ресурсов, способный обеспечить экологичное решение проблем глобальной энергетической безопасности. В течение последних пяти лет в энергетике Индии шли сложные дебаты о смягчении последствий изменения климата, энергетической безопасности и роли ядерных технологий, что позволило привлечь внимание общественности к ядерным проектам. Особенно важно привлекать женщин, которые часто высоко мотивированы на изучение и понимание новой информации. Поэтому точка зрения феминисток должна быть учтена во всех инициативах ядерной отрасли по вовлечению общественности, поскольку женщины составляют значительную часть общества, ежедневно испытывающего дефицит энергии.

Кроме того, необходимо разработать общенациональную систему ядерной грамотности, привлекая социологов, исследователей и женщин, а также экспертов в области ядерной энергетики, чтобы искоренить распространённые в обществе заблуждения о ядерных технологиях. Молодое поколение должно получить фундаментальное понимание ядерных технологий благодаря продвижению ядерной грамотности в высших учебных заведениях. Для расширения образования программы очного и заочного обучения в ВУЗах и аспирантуре должны включать нетехнические курсы для студентов общественных наук, включающие ядерную грамотность, ядерную психологию, ядерную терминологию и общественное восприятие, а также ядерную безопасность и защиту. Чтобы сделать эти курсы более привлекательными, необходимо предлагать трудоустройство: после успешного завершения обучения студенты должны быть интегрированы в систему ядерной грамотности. Это не только привлечёт социологов в атомную отрасль, но и внесёт весомый вклад в преодоление недоверия общества к ядерным проектам.

Поскольку ядерная энергетика – высокотехнологичная сфера, для её успеха важны согласованные усилия по вовлечению общественности и повышению грамотности. Для достижения этих целей Индии необходимо безотлагательно решить проблемы безопасности и защиты. Несмотря на активную работу индийских ядерщиков с общественностью, общий уровень осведомлённости в стране об использовании, нарушении и последствиях применения ядерных технологий остаётся низким. Поэтому следует доносить базовые знания о ядерной энергетике до населения, особенно молодёжи и женщин, с тем, чтобы они не оставались в стороне.

Помимо подготовки учёных и технократов, необходимы целенаправленные усилия по формированию пула «ядерных энтузиастов», не обязательно технократов, доносящих до общественности пользу ядерной энергии. На нынешнем постматериальном этапе социальной эволюции общественная поддержка или противодействие ядерным проектам неразрывно связаны с заботой об окружающей среде, энергобезопасности, перемещении населения, восстановлении и безопасности. В Индии заметно отсутствие харизматичных учёных, популярных и способных поддержать ядерные проекты, особенно после Бхабхи-Неру. Это не означает, что сегодня не хватает дальновидных политических или научных руководителей, а скорее указывает на разрозненность развития науки, общества и технологий в стране, где эти области порой тормозят развитие друг друга. Поэтому важно создать специализированный пул «ядерных энтузиастов», который способствовал бы популяризации технологии, разъясняя озабоченность общества простым языком.⁵⁸

Что касается региональной геополитики, то нужно признать, что развитие ядерных технологий в Индии может спровоцировать проблемы без-

⁵⁸ Sitakanta Mishra, “‘Nuclear Cheerleaders’ for India,” *Nuclear Asia*, March 8, 2018, <https://www.nuclearasia.com/views/nuclear-cheerleaders-india/2036/>.

опасности, гонку вооружений и распространение ядерного оружия в регионе. Для Индии целесообразно было бы привлечь все страны региона к конструктивному диалогу и мерам доверия, определяющим её стремление к развитию ядерной энергетики в гражданских целях.

В Индии пока не было ядерных катастроф, но из-за катастроф в других странах индийская ядерная программа часто подвергалась тщательной проверке на предмет надежности и соответствия стандартам. Вот уже 80 лет ядерная программа Индии остаётся безопасной, не было отмечено ни одного инцидента с выбросом радиоактивности сверх установленных норм. В марте 2024 года безопасная эксплуатация индийских атомных электростанций превысила 611 реакторо-лет.⁵⁹

Наконец, в ядерном секторе стоит подумать о создании аналитического центра по ядерной энергетике, как важном элементе стратегии ядерной грамотности. Этот орган, включающий учёных-социологов и атомщиков, будет отвечать за проведение исследований, решение общественных проблем и вопросов ядерной энергетике по всей стране. Инициатива также поможет снизить нагрузку на учёных, позволив им посвятить своё драгоценное время ускорению ядерных проектов. Аналитический центр сыграет ключевую роль в формировании национального подхода к ядерной энергетике и направлении общественного мнения в продуктивное русло. В конечном счёте, чёткий стратегический план позволит полнее использовать преимущества ядерной энергетике. Это позволит Индии позиционировать ядерную энергетiku как убедительный и реальный выбор для достижения её триединой цели: плавного перехода к чистой энергетике, достижения целей борьбы с изменением климата и долгосрочной энергетической безопасности.

Примечание

Мнения, выводы, заключения и рекомендации в данной публикации принадлежат авторам и могут не отражать официальную политику или позицию Консорциума «Партнёрство ради мира», организаций-участниц и любых правительственных или международных организаций, связанных с его руководящими структурами.

Об авторах

Ситаканта Мишра – декан Школы гуманитарных наук Университета энергетики им. Пандита Диндаяла, Гуджарат, Индия.

Электронная почта: sitakant@gmail.com

Пранав Бхаскар – докторант Школы гуманитарных наук Университета энергетики им. Пандита Диндаяла, Гуджарат, Индия.

⁵⁹ International Atomic Energy Agency (IAEA), “Country Nuclear Power Profiles: India 2024,” <https://cnpp.iaea.org/public/countries/IN/profile/preview>.

Библиография

- "India's Energy Landscape: Powering Growth with Sustainable Energy," Press Information Bureau, June 22, 2025, <https://www.pib.gov.in/PressNoteDetails.aspx?NotelD=154717&ModuleId=3>.
- "PM Modi Announces Rooftop Solar Scheme, His 1st Decision after Ram Temple Inauguration," The Economic Times, January 22, 2024, <https://economic.times.indiatimes.com/industry/renewables/pm-modi-announces-scheme-to-install-rooftop-solar-systems-in-1-crore-homes-his-first-decision-after-ram-temple-inauguration/articleshow/107058370.cms>.
- "United States," CLIMATEWATCH, accessed March 16, 2025, www.climatewatchdata.org/countries/USA?end_year=2021&start_year=1990.
- Agrawal, Abhijeet, "Watts of Change: Power Sector Leads the Charge for a Just Transition," *PowerLine*, December 22, 2023, <https://powerline.net.in/2023/12/22/watts-of-change-power-sector-leads-the-charge-for-a-just-transition/>.
- Bajpai, Jyoti, "Sustainable Living Through India's Traditional Practices, Lifestyle and Cultural Wisdom," *Idealistic Journal of Advanced Research in Progressive Spectrums* 3, no. 10 (October 2024): 181-188, <https://journal.ijarps.org/index.php/IJARPS/article/view/438>.
- Baruah, Rituraj, "Rooftop Solar Installations for 10 million Households: PM Modi," *mint*, January 23, 2024, <https://www.livemint.com/economy/rooftop-solar-installations-for-10-million-households-pm-modi-11705948682002.html>.
- Bhattacharyya, Rupsha, et al., "Estimating Minimum Energy Requirement for Transitioning to a Net-Zero, Developed India in 2070," *Current Science* 122, no. 5 (2022): 517-527, <https://doi.org/10.18520/cs/v122/i5/517-527>.
- Butterworth, Paul, "Indian Solar Is Not Cheap – It Is Simply Subsidised," *CRU Online*, January 10, 2022, <https://sustainability.crugroup.com/article/indian-solar-is-not-cheap-it-is-simply-subsidised>.
- Deloitte, FICCI, "India's Energy-Transition Pathways: A Net-Zero Perspective," 2023, 22, <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/in/Documents/energy-resources/in-eri-India%E2%80%99s%20energy-transition%20pathways-noexp.pdf>.
- Department of Atomic Energy, "Dr Jitendra Singh Says Nuclear Power Capacity Set to Increase from 7480 MW to 22480 MW by 2031," Press Information Bureau Delhi, July 20, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1941010>.
- Department of Atomic Energy, "Government Has Initiated Steps to Increase the Nuclear Power Capacity from 7480 MW to 22480 MW by 2031-32, Says Union Minister Dr Jitendra Singh," Press Information Bureau Delhi, December 20, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1988863>.

Department of Atomic Energy, "Union Minister Dr. Jitendra Singh Says, Presently (2020-21) Nuclear Power Is Saving 41 Million Tonnes of CO₂ Emissions Annually, Compared to the Emissions that Would Be Generated by Equivalent Electricity Generation from Coal Based Thermal Power Plants," Press Information Bureau, March 15, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseDetailm.aspx?PRID=1907214>.

Department of Atomic Energy, Government of India, "Annual Report 2019-20," 2020, IV, https://data.dae.gov.in/publication_Anuual_Reports/English-2019-2020/Annual2019-2020e.pdf.

Government of India, "Climate Change and India: Why We Must Look at the Problem Through Our Lens," *Economic Survey 2023-24*, Chapter 13, <https://www.india-budget.gov.in/budget2024-25/economicsurvey/doc/eschapter/echap13.pdf>.

Government of India, Ministry of Science and Technology, "Climate Change Programme," accessed September 15, 2024, <https://dst.gov.in/climate-change-programme>.

Government of India, Press Information Bureau, "Nuclear Power in Union Budget 2025-26," Department of Atomic Energy, February 3, 2025, <https://static.pib.gov.in/WriteReadData/specificdocs/documents/2025/feb/doc202523495401.pdf>.

Grossi, Rafael Mariano, "The Power of Nuclear," *The Global Governance Project*, 2022, <https://www.globalgovernanceproject.org/the-power-of-nuclear/rafael-mariano-grossi/>.

Gulia, Jyoti, and Vibhuti Garg, "Wind-Solar Hybrid: India's Next Wave of Renewable Energy Growth: An Analysis of Tariff Trends, Policy and Regulation, and Challenges in a New Market," Institute for Energy Economics and Financial Analysis, October 2020, https://ieefa.org/wp-content/uploads/2020/10/Wind-Solar-Hybrid-Indias-Next-Wave-of-Renewable-Growth_October-2020.pdf.

Hussain, Zoya Ada, "The Balance Between Expanding Renewable Projects and Feeding India's Population," Mongabay, September 4, 2023, <https://india.mongabay.com/2023/09/the-balance-between-expanding-renewable-projects-and-feeding-indias-population/>.

International Atomic Energy Agency, "Country Nuclear Power Profiles: India 2024," <https://cnpp.iaea.org/public/countries/IN/profile/preview>.

International Energy Agency (IEA), *India Energy Outlook 2021*, World Energy Outlook Special Report (Paris: IEA, February 2021), <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>.

International Energy Agency, *World Energy Outlook 2022*, Revised Version, November 2022, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>.

- Jawerth, Nicole, "What Is the Clean Energy Transition and How Does Nuclear Power Fit in?" *IAEA Bulletin* 61, no. 3 (2020), <https://www.iaea.org/bulletin/what-is-the-clean-energy-transition-and-how-does-nuclear-power-fit-in>.
- Kiesecker, Joseph, et al., "Renewable Energy and Land Use in India: A Vision to Facilitate Sustainable Development," *Sustainability* 12, no. 1 (2019), 281, <https://doi.org/10.3390/su12010281>.
- KP Group, "Land Requirements for Solar Power Plants in India: Key Insights," accessed June 24, 2025, <https://kpgroup.co/blog/land-requirements-for-solar-power-plants-in-india/>.
- Livemint, "India's per Capita Carbon Emissions Remain Low amidst Climate Change Concerns: Union Power Minister," July 21, 2023, <https://www.livemint.com/industry/energy/indias-per-capita-carbon-emissions-remain-low-amidst-climate-change-concerns-union-power-minister-11689948764652.html>.
- Ministry of Environment, Forest and Climate Change, "India Is Part of the Solution and Is Doing More Than Its Fair Share to Address Climate Change," *Press Release*, February 2, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseframePage.aspx?PRID=1895857>.
- Ministry of Environment, Forest and Climate Change, "India's Stand at COP-26," *Press Release*, February 3, 2022, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1795071>.
- Ministry of New and Renewable Energy, "Energy Storage Systems (ESS) Overview," accessed on June 24, 2025, <https://mnre.gov.in/en/energy-storage-systemsess-overview>.
- Ministry of Power, "Adequate Capacity Available in the Country to Meet the Rising Demand of Power: Shri R. K. Singh, Union Power & NRE Minister," July 27, 2023, <https://www.pib.gov.in/PressReleaseframePage.aspx?PRID=1943368>.
- Ministry of Power, Government of India, "G20 Energy Transitions Working Group Deliberations Conclude Successfully with Shared Views and Consensus on Priority Areas," Press Information Bureau, February 6, 2023, <https://www.pib.gov.in/PressReleaseDetailm.aspx?PRID=1896807>.
- Ministry of Power, Government of India, "Need to Shift Climate Change Narrative from Total Emissions to Per Capita Emissions of Each Country: Union Minister for Power and New & Renewable Energy," Press Information Bureau, August 25, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseframePage.aspx?PRID=1952260>.
- Ministry of Power, Government of India, "The Electricity (Amendment) Bill, 2022," August 18, 2024, <https://prsindia.org/billtrack/the-electricity-amendment-bill-2022>.
- Ministry of Science & Technology, "India Is Committed to Achieve the Net Zero Emissions Target by 2070 as Announced by MP Modi, Says Dr. Jitendra Singh,"

Press Information Bureau, September 28, 2023, <https://pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=1961797>.

Mishra, Sitakanta, “Nuclear Cheerleaders’ for India,” *Nuclear Asia*, March 8, 2018, <https://www.nuclearasia.com/views/nuclear-cheerleaders-india/2036/>.

Murtaugh, Dan, and Krystal Chia, “China’s Climate Goals Hinge on a \$440 Billion Nuclear Buildout,” Bloomberg, November 2, 2021, www.bloomberg.com/news/features/2021-11-02/china-climate-goals-hinge-on-440-billion-nuclear-power-plan-to-rival-u-s.

National Institution for Transforming India, “A Report on the Role of Small Modular Reactors in the Energy Transition,” May 2023, <https://www.niti.gov.in/sites/default/files/2023-06/The-Role-of-Small-Modular-Reactors-in-the-Energy-Transition-05162023.pdf>.

Nuclear Power Corporation of India Ltd., “KGS-1 Sets New Benchmark in Continuous Operation,” 2019, https://www.npcil.nic.in/WriteReadData/userfiles/file/Major_Achievements_Report_English_17012019_01.pdf.

Pathak, Sudhir, “The Challenges and Solutions in Scaling up Renewable Energy,” Hero Future Energies, October 8, 2024, <https://www.herofutureenergies.com/blog/renewable-energy-challenges-and-solution/>.

Prime Minister’s Office, India, “National Statement by Prime Minister Shri Narendra Modi at COP26 Summit in Glasgow,” *Press Release*, November 1, 2021, <https://pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=1768712>.

Sekhar, B.V.S., “Nuclear Power in India,” in *Atomic Energy in India: Achievements since Independence*, ed. A.K. Tyagi (Bhabha Atomic Research Centre, 2022), <https://www.barc.gov.in/ebooks/9789356590526/paper08.pdf>.

Sharma, Namit, Bram Smeets, and Christer Tryggestad, “The Decoupling of GDP and Energy Growth: A CEO Guide,” McKinsey & Company, April 24, 2019, <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/the-decoupling-of-gdp-and-energy-growth-a-ceo-guide>.

Srivastava, Dinkar P., “Opinion: Climate Change and Energy Transition,” *ETEnergyworld.com*, September 25, 2023, <https://energy.economictimes.india.com/news/renewable/opinion-climate-change-and-energy-transition-by-dinkar-p-shrivastava/103922020>.

Sukhatme, S.P., “Can India’s Future Needs of Electricity Be Met by Renewable Energy Sources? A Revised Assessment,” *Current Science* 103, no. 10 (2012): 1153-1161, <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/103/10/1153.pdf>.

Van de Ven, Dirk-Jan, et al., “The Potential Land Requirements and Related Land Use Change Emissions of Solar Energy,” *Scientific Reports* 11, no. 1 (2021), 2907, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82042-5>.

Vivekanand International Foundation (VIF), "India's Energy Transition in a Carbon-Constrained World," VIF Task Force Report, 2021, 201-202, www.vifindia.org/sites/default/files/India-s-Energy-Transition-in-a-Carbon-Constrained-World-Final-Report.pdf.

World Nuclear Association, "Economics of Nuclear Power," August 2022, <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power>.

Worringham, Charles, "Renewable Energy and Land Use in India by Mid-Century," Institute for Energy Economics and Financial Analysis (IEEFA), September 2021, https://ieefa.org/wp-content/uploads/2021/09/Renewable-Energy-and-Land-Use-in-India-by-Mid-Century_September-2021.pdf.