

УДК 621.311

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ИНДИИ
И ПЛАН ЕЕ РАЗВИТИЯ ДО 2070 ГОДА
CURRENT STATE OF INDIAN POWER SYSTEM
AND ITS DEVELOPMENT PLAN UP TO 2070

А.В. Казейка, Д.Д. Казыро, А.П. Каменко
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
A. Kazeika, D. Kazyro, A. Kamenko
Supervisor – V. Yanchuk, Assistant
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В работе представлен анализ текущей структуры энергосистемы Индии, подчеркивающий ее многообразие и сложность. В работе рассмотрены ключевые проблемы, тормозящие стабильность и эффективность данного сектора, включая неравномерность распределения ресурсов и высокую зависимость от угля. На основании проецирования и анализа существующих проблем были приведены планы правительства Индии по модернизации и развитию энергосистемы, направленные на достижение её устойчивого развития и обеспечения нулевого уровня выбросов до 2070 года.

Abstract: The paper presents an analysis of the current structure of the Indian power system, emphasizing its diversity and complexity. The paper examines key issues that hinder the stability and efficiency of this sector, including uneven distribution of resources and high dependence on coal. Based on the projection and analysis of existing problems, the Indian government's plans for the modernization and development of the power system were presented, aimed at achieving its sustainable development and ensuring zero emissions by 2070.

Ключевые слова: энергосистема Индии, возобновляемые источники, зеленая энергетика.

Keywords: India's power system, renewable energy, green energy.

Введение

Национальная сеть Индии – это высоковольтная энергопередающая система, соединяющая электростанции и ключевые подстанции с потребителями по всей стране. Национальная сеть управляется государственной компанией Power Grid Corporation of India и операционно координируется компанией Power System Operation Corporation. С установленной мощностью в 442 ГВт по состоянию на январь 2024 года, это одна из крупнейших синхронных систем в мире. [1]

Сеть функционирует на частоте 50 Гц, с допустимым диапазоном изменения частоты от 49,95 до 50,05 Гц, установленным 17 сентября 2012 года. Чтобы поддерживать этот диапазон, правительство Индии требует от штатов платить больше, когда частота снижается. В дополнение к внутренним соединениям, сеть имеет синхронные соединения с Бутаном и асинхронные соединения с Бангладеш, Мьянмой и Непалом. Также предложено подводное соединение со

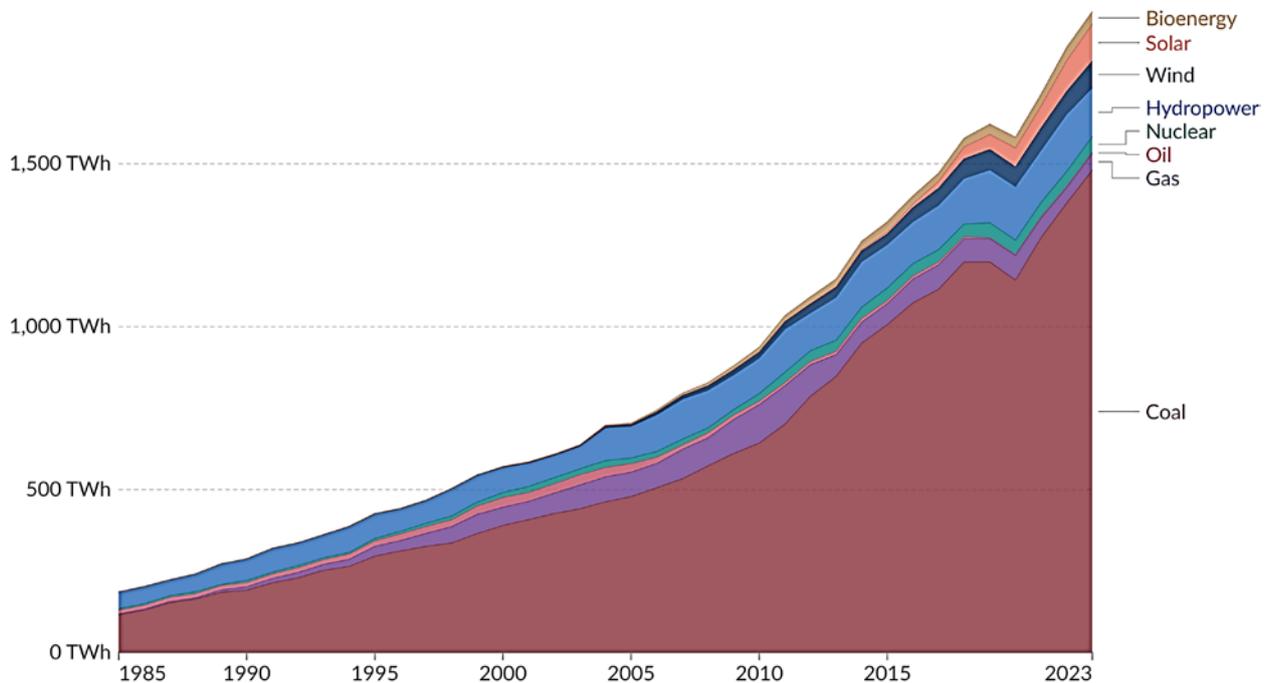
Шри-Ланкой и рассматривается создание соединения между Мьянмой и Таиландом для облегчения торговли электричеством среди стран BIMSTEC. [2]

Основная часть

В структуре установленных энерго мощностей в Индии тепловые электростанции составляют 61,5%, гидроэлектростанции, включая малые, – 13,5%, ветряные электростанции – 10,3%, солнечные электростанции – 10,3%, установки на биомассе – 2,7%, атомные электростанции – 1,8%. В структуре ТЭС по видам топлива уголь занимает 86,4%, природный газ – 10,8%, дизельное топливо – 0,2%.

Среди крупнейших компаний, занимающихся генерацией электроэнергии в Индии, выделяются государственные National Thermal Power Corporation и National Hydroelectric Power Corporation. [3]

На рисунке 1 приведена основная структура энергопотребления Индии по источникам энергии.



TWh – ТВт·ч; Bioenergy – энергия боитоплива; Solar – солнечная энергия; Wind – ветряная энергия; Hydropower – гидроэнергия; Nuclear – ядерная энергия; Oil – мазут/дизельное топливо; Gas –природный газа; Coal – уголь

Рисунок 1 – Структура энергопотребления Индии по источникам энергии [4]

По состоянию на март 2024 года протяженность высоковольтных линий (66 кВ и выше) составляет 817 972 км, тогда как линий ниже 66 кВ – 14 077 053 км. Общая длина линий высокого напряжения (220 кВ и выше) позволяет создать квадратную матрицу площадью 266 км² (с сеткой со стороной 16,3 км), что обеспечивает близкое расположение линий – в среднем 8,15 км друг от друга. Это на 20% больше, чем, к примеру, в США (322 000 км для 230 кВ и выше), хотя индийская сеть передает значительно меньше энергии.

Распространение всех типов линий электропередачи (≥400 В) создает возможность формирования матрицы площадью 0,36 км², т. е. в среднем, по

крайней мере, одна линия электропередачи будет находиться на расстоянии 0,31 км от другой по всей территории страны. Но для будущей сети, в которой доминирует такая децентрализованная генерация энергии, как солнечная и ветровая энергия, ненаучное расширение электрической сети даст отрицательные результаты из-за парадокса Браесса (он гласит, что добавление дополнительных мощностей в сеть при условии, что двигающиеся по сети сущности сами выбирают свой маршрут, может снизить общую производительность). [5]

В настоящее время электроэнергетический сектор Индии сталкивается со многими проблемами, в их числе [6]:

- Имеет место дефицит подключения конечных потребителей к надежным источникам электроэнергии. Более 99% потребителей зависят от дизельных генераторов, которые вырабатывают до 80 миллиардов кВт·ч электроэнергии. Порядка 10 млн домохозяйств используют аккумуляторные источники бесперебойного питания в качестве резервных на случай сбоя;
- Энергоемкие отрасли, такие как металлургия и цементная промышленность, используют недорогую электроэнергию из сети (STOA) вместо строительства собственных ТЭС. Установленная мощность такого потребления составляет 53 ГВт. Использование сетевой электроэнергии позволяет избежать высокой стоимости собственного производства, но при этом усугубляет проблему, указанную выше;
- Угольные электростанции часто имеют завышенные показатели номинальных мощностей, которые выше фактических максимально непрерывных номинальных мощностей (MCR). Такие станции работают на 10-15% ниже заявленной мощности, что влияет на стабильность сетевого снабжения энергией;
- Несмотря на обилие ресурсов, электростанции часто испытывают нехватку угля. Проблемы с поставками являются результатом неэффективных методов добычи, коррупции и плохой инфраструктуры. Большая часть угля расположена в охраняемых лесах или на племенных землях, что затрудняет их разработку, ввиду чего почти весь уголь импортируется;
- Рост населения приводит к увеличению энергопотребления в городах, но среди граждан распространен миф о высокой стоимости энергоэффективных зданий, что препятствует их широкому внедрению;
- Политическая активность в результате катастрофы на Фукусиме негативно сказалась на развитии ядерного сектора, и практическая реализация атомных электростанций в стране не получила должного развития.

На основе перечисленных выше и иных проблем в энергетическом секторе, Индия поставила перед собой цель сократить выбросы углерода на 50% к 2030 году и достичь нулевого уровня выбросов во всей экономике к 2070 году. Это позволит решить часть проблем существующей энергосистемы за счет

внедрения энергоэффективных «зеленых» технологий по всей стране. Для этого была выработана политика устойчивой энергетики, которая определяет политику правительства по продвижению возобновляемых источников энергии и энергоэффективности, а также закон об энергосбережении, который уполномочивает центральное правительство определять схему торговли углеродными кредитами [7].

При этом Индия противостоит попыткам развитых экономик установить крайний срок для поэтапного отказа от ископаемого топлива и вместо этого выступает за переключение внимания на сокращение общих выбросов углерода с помощью «технологий снижения и смягчения последствий», при которых идет параллельное улучшение энергоэффективности существующих ископаемых и внедрение новых неископаемых способов получения энергии.

По состоянию на 2024 год мощность генерации электроэнергии от нетрадиционных возобновляемых источников энергии (энергия солнца, ветра, геотермальная энергия) достигла 100 ГВт и 46 ГВт от традиционной возобновляемой энергии (гидроэлектростанции), порядка 50 ГВт проектов находятся в стадии разработки, а 27 ГВт выставлены на тендер.

Если говорить о существующих положениях развития «зеленой» энергетики в стране, то преобладающими являются ветряная и солнечная энергия.

Потенциал гидроэнергетики Индии оценивается примерно в 125 ГВт при коэффициенте нагрузки 60%. Установленная мощность гидроэлектростанций по состоянию на март 2024 года составляла 46 ГВт.

В 2021 году потенциал ветроэнергетики Индии на суше оценивался в 302 ГВт на высоте 100 м и 696 ГВт на высоте 120 м. Индия занимает четвертое место в мире по установленной мощности ветрогенераторов, которая на август 2023 года составляла 44 ГВт. Потенциал морской ветроэнергетики Индии равен 112 ГВт на расстоянии до 50 м от береговой линии и 195 ГВт на расстоянии до 1000 м. [8]

Сектор солнечной энергетики в Индии обладает огромным потенциалом, однако большая часть этого потенциала остается неиспользованной. Ежегодно на территорию Индии падает около 5000 трлн кВт·ч солнечного излучения, среднесуточный потенциал составляет 0,25 кВт·ч/м². На март 2024 года установленная мощность солнечных электростанций составляла 82 ГВт, позволив Индии занять третье место в мире по данному показателю.

Для солнечных электростанций требуется около 2 гектаров земли на 1 МВт мощности, что сопоставимо с угольными и гидроэлектростанциями. Используя 1% территории Индии (около 32000 км²), можно установить станции мощностью 1,33 млн МВт. В Индии имеется более 8% неплодородных земель, которые идеально подходят для этих целей. [9]

Основной недостаток солнечной энергии заключается в ее выработке только днем, что создает проблемы ночью и в пасмурное время. Этот недостаток можно устранить, используя гидроаккумулирующие электростанции.

Заключение

Можно сделать вывод, что развитие сектора энергетики Индии до 2070 года ожидается как динамичное и многоуровневое. Страна стремится к переходу на

устойчивые источники энергии, что включает в себя значительное увеличение доли возобновляемых источников. Инвестиции в чистые технологии, а также развитие инфраструктуры для хранения и распределения энергии будут ключевыми факторами этого процесса. При этом важной задачей остается улучшение энергетической безопасности и доступности энергии для всех слоев населения.

Литература

1. Central Electricity Authority of India [Электронный ресурс] / All India Installed Capacity of Utility Power Stations. – Режим доступа: https://cea.nic.in/reports/monthly/installedcapacity/2020/installed_capacity-06.pdf. – Дата доступа: 04.10.2024.
2. Financial Express [Электронный ресурс] / BIMSTEC needs a ‘power tool’ here’s why it is time for a green energy revolution. – Режим доступа: <https://www.financialexpress.com/opinion/bimstec-needs-a-power-tool-heres-why-it-is-time-for-a-green-energy-revolution/494732/>. – Дата доступа: 04.10.2024.
3. ЦДУ ТЭК [Электронный ресурс] / Электроэнергетика Индии. – Режим доступа: https://www.cdu.ru/tek_russia/articles/6/1131/. – Дата доступа: 04.10.2024.
4. Our world in data [Электронный ресурс] / Electricity production by source, India. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org/grapher/electricity-production-by-source-stacked?tab=chart&country=~IND>. – Дата доступа: 04.10.2024.
5. Braess, D. Über ein Paradoxon aus der Verkehrsplanung / D. Braess. – Hamburg, 1968. – 268 s.
6. KPMG [Электронный ресурс] / Power Sector in India: White paper on Implementation Challenges and Opportunities. – Режим доступа: https://www.kpmg.de/docs/PowerSector_2010.pdf. – Дата доступа: 04.10.2024.
7. BBC [Электронный ресурс] / COP26: India PM Narendra Modi pledges net zero by 2070. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/world-asia-india-59125143>. – Дата доступа: 04.10.2024.
8. Indian wind turbine manufacturers association [Электронный ресурс] / Installed capacity of wind power projects in India. – Режим доступа: http://www.indianwindpower.com/news_views.php. – Дата доступа: 04.10.2024.
9. WAAREE [Электронный ресурс] / 5 MW Solar Power Energy Plant in India: Profit, Cost & Land Requirement. – Режим доступа: <https://waaree.com/blog/5-mw-solar-power-plant-in-india>. – Дата доступа: 04.10.2024.