



ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИЙ В УСТОЙЧИВЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ПРИМЕР РОССИИ И БРАЗИЛИИ¹

Е. П. Мочалина, Г. В. Иванкова

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова,
Москва, Россия

С. А. Смирнов

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;
Дурбанский технологический университет, Дурбан, Южная Африка

Андреа Сурза Сантос

Федеральный университет Рио-де-Жанейро, Рио-де-Жанейро, Бразилия

В настоящее время энергетические системы стран переживают существенные изменения, вызванные переходом на устойчивые источники электроэнергии. Процесс энергоперехода в мире идет неравномерно и оказывает существенное влияние на социально-экономические процессы во всем мире. Инвестиции в энергетические проекты необходимо планировать по многим причинам, в том числе экономическим и финансовым. Настоящая статья предлагает подход к планированию инвестиций в электростанции, работающие от устойчивых источников электроэнергии, в том числе СЭС, ВЭС, ГЭС и АЭС. Несмотря на важность данной темы, до сих пор не так много работ в этой области. На основе предложенной модели анализа временных рядов проведен расчет необходимых инвестиций для достижения принятых планов в двух странах BRICS: России и Бразилии. Исследование выявило сходства и различия энергетических систем двух стран, а также динамику генерации электроэнергии от устойчивых источников. Бразилия является одним из мировых лидеров по доле устойчивых источников энергии в энергобалансе и продолжает быстрое развитие почти по всем видам устойчивой энергетики. Россия также показывает высокую динамику развития по отдельным видам устойчивой энергетики. Подход, изложенный в статье, показал эффективность и может применяться для прогнозирования генерации электроэнергии и инвестиций в строительство необходимых мощностей сроком на 1–3 года.

Ключевые слова: анализ временных рядов, нейронные сети, прогнозирование генерации, прогнозирование инвестиций в электроэнергетику, СЭС, ВЭС, ГЭС, АЭС.

APPRAISAL OF INVESTMENT INTO SUSTAINABLE POWER SOURCES: RUSSIA AND BRAZIL

Ekaterina P. Mochalina, Galina V. Ivankova

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Sergey A. Smirnov

Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

Durban University of Technology, Durban, South Africa

Andrea Souza Santos

Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil

Nowadays power systems of countries undergo serious changes caused by passing to sustainable electric power sources. The process of power transfer in the world is rather irregular, which affects social and economic processes

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, проект № 123042000120-3.

all over the world. Investment into power projects shall be planned due to numerous reasons, including economic and finance ones. This article provides an approach to planning investment into electric power stations working on sustainable sources of electric power, such as SES, VES, GES and AES. In spite of the problem importance, not so many works have been published in this field. On the basis of advanced model of analyzing time series estimation of necessary investment was done to reach the set goals in two BRICS countries: Russia and Brazil. The research showed similarities and differences in power systems of two countries and dynamics of electric power generation on sustainable sources. Brazil is one of global leaders by the share of sustainable sources of energy in the power balance and it continues fast development in all types of sustainable power. Russia also shows high dynamics of development in certain types of sustainable power engineering. The approach demonstrated in the article proves its effectiveness and can be used to forecast electric power generation and investment into building necessary capacities for the period of 1-3 years.

Keywords: analysis of time series, neuron nets, generation forecasting, investment into electric power engineering forecasting, SES, BES, GES, AES.

Введение

Мировой энергетический рынок переживает турбулентный период, на него оказывают влияние несколько факторов, взаимодействие которых сложно прогнозировать. Энергопереход и постепенное замещение ископаемых видов топлива возобновляемыми источниками оказывают нарастающее влияние на рост потребления электроэнергии. Другой фактор – растущее потребление электроэнергии новыми цифровыми технологиями (ИИ и криптовалютой), влияние которого нельзя игнорировать, но сложно прогнозировать. Однако в целом предложение электроэнергии достаточно инерционно и зависит в большой степени от структуры генерации электроэнергии в конкретно взятой стране и тенденций, которые сложились и продолжаются в среднесрочной перспективе.

В статье предложен подход к прогнозированию инвестиций для выработки электроэнергии в двух странах BRICS – России и Бразилии. Страны обладают целым рядом похожих черт. Обе страны имеют огромную территорию, обладают большими запасами ископаемого топлива, имеют высокий потенциал развития и относительно низкую базу роста, геополитические и экономические амбиции, а также похожую историю развития социально-экономической среды.

Россия и Бразилия являются ярко выраженными экспортерами, экономики этих стран уязвимы к колебаниям рыночных цен.

Россия – один из главных бенефициаров роста стоимости энергоресурсов за последние 25 лет. Это сильная, но одновременно слабая сторона, так как остается высокая зависимость бюджета и в целом экономики от экспортной выручки за энергоресурсы.

Россия не заинтересована в слишком быстром энергопереходе, замещении ископаемых видов топлива на возобновляемые, однако собирается остаться одним из ведущих игроков рынка и после энергоперехода. Именно поэтому устойчивая энергетика выступает важным стратегическим приоритетом развития экономики страны.

Бразилия имеет огромный потенциал роста экономики, влияния на континенте и в мире. Она обладает многими ресурсами, имеет молодое население, инфраструктуру для развития стартапов, постепенно пробуждается и включается в мировую повестку.

Обе страны наиболее близки по размеру и социально-экономическим характеристикам в объединении BRICS.

В статье представлены результаты исследования необходимых инвестиций в возобновляемую энергетику и новые технологии в России и в Бразилии. Цель исследования – построение моделей прогнозирования будущего развития отрасли энергетики в двух странах и оценка достижимости поставленной цели и дальнейших шагов, которые они должны предпринять для дальнейшего развития.

Значимость результатов состоит в первую очередь в том, что появляется воз-

возможность оценить необходимые инвестиции с учетом уже сложившихся трендов.

В целом инвестирование в развитие новых направлений и технологий в энергетическом секторе стран BRICS является достаточно проблемным вопросом и требует построения и разработки различных сценариев. С одной стороны, отрасли энергетике присуща инерция, вызванная инфраструктурными ограничениями и длительным инвестиционным циклом. С другой стороны, инвестиционные решения стали приниматься более динамично с учетом актуальных прогнозов и доступных технологий. В период энергоперехода прогнозирование инвестиций имеет особое значение, поскольку все виды устойчивой энергетики развиваются быстро, а планирование в изменчивой внешней среде сопряжено с дополнительными сложностями.

Методика построения прогноза, на основе которого были сделаны расчеты, может найти применение для стратегических инвестиционных решений на уровне крупных регионов и стран. Полученные результаты могут применяться для стратегического планирования и инвестиционного проектирования в электроэнергетике, а также в сфере государственного планирования и инвестиционного проектирования. Финансовые институты смогут более качественно оценивать инвестиции в новые проекты. Заинтересованные органы государственной власти получают инструмент независимой оценки, точность которой является приемлемой для среднесрочного горизонта решений.

Обзор литературы

Прогнозирование генерации электроэнергии важно для планирования развития, реконструкции и загрузки сетей, эффективного распределения и интеграции электроэнергии от устойчивых источников. В рассмотренной литературе использовались разные модели для прогнозирования спроса и генерации электроэнергии. Особое внимание было уделено тем рабо-

там, где авторы прогнозируют генерацию или инвестиции по отдельным странам.

Детальный анализ инвестиций в возобновляемую энергетику в странах BRICS проведен в статье С. Цзэн, Ю. Лю, С. Лю и Х. Нан [15]. Авторы используют схожий подход к анализу трендов инвестиций, но основной задачей являлся обзор текущего состояния и государственной поддержки инвестиций в странах BRICS.

В статье Р. Шивакоти, С. Чароенларпношарут и К. Чапагайн [13] анализируется применение моделей SARIMA для прогнозирования спроса на электроэнергию в Таиланде. Авторы разработали собственную модель, которая учитывает сезонность и погодные условия, используя при этом данные за 7 лет. Для этого был применен метод Хольта – Винтерса, а в качестве базовой модели взята SARIMA. В статье акцентируется внимание на том, что модель может применяться как для стран, так и для отдельных регионов. Однако стоит отметить, что для использования этого подхода требуется обширная база данных.

Исследователи А. Мистакидис, П. Кукарас, Н. Цаликидис, Д. Иоаннидис и С. Тьортжис [11] провели систематический литературный обзор доступных работ по методам, используемым для прогнозирования спроса и генерации электроэнергии. Ими был проведен масштабный анализ и выделены четыре группы методов прогнозирования, которые используются в электроэнергетике: статистические методы (ARIMA, SAR, ARMA, ряды Фурье и т. д.), машинное обучение, глубокое обучение и нейронные сети и комбинированные методы. Отметим, что в работе в основном обсуждается вопрос о применении этих методов в краткосрочном периоде, вплоть до одного часа. Фокус работы – это методы машинного и глубокого обучения, однако авторы подчеркивают, что часто простые линейные модели дают неплохие результаты. В своем литературном обзоре исследователи упоминают десятки работ, в которых предлагаются модели прогнозирования спроса и генерации электроэнергии.

В качестве показателей оценки качества прогноза используется несколько базовых метрик: R^2 , MAE, MSE, MAPE, RMSE, CVRMSE.

В статье К. Линдберга и др. [9] отмечается важность долгосрочного планирования выработки электроэнергии на период от 10 до 50 лет. Авторы показывают изменения в структуре выработки и потребления, а значит, в будущем придется по-новому балансировать генерацию и спрос с учетом устойчивых источников энергии с целью достижения интеграции между разными сегментами. Исследование начинается с гипотетического предположения, что вся энергетика уже состоит только из возобновляемых источников. Как это должно изменить существующую систему? В статье отмечается, что методология долгосрочного прогнозирования рынка электроэнергии базируется на экстраполяции существующего положения. Особо подчеркивается, что долгосрочный рост, в отличие от краткосрочного, должен интегрировать в модель складывающиеся тренды и в генерации, и в потреблении.

Т. Адитья, С. Джайпурия и П. Дадабада [4] рассматривают работы по прогнозированию рынка электроэнергии и отмечают, что долгосрочному планированию (от одного года) уделяется относительно мало внимания. Исследований немного, несмотря на высокую актуальность в современных условиях. Тем не менее авторы в итоге находят 48 эмпирических и 7 обзорных исследований по теме долгосрочного прогнозирования спроса на электроэнергию. Среди исследований значительную часть занимают те, в которых используется сценарный анализ (социоэкономические, демографические и метеорологические факторы).

Довольно любопытной является работа норвежских авторов [6], которые в своем исследовании проанализировали 43 сценария на базе 15 прогнозов рынка электроэнергии в странах Северной Европы. В своих рекомендациях они показывают, что все предположения о ценах на газ и

углерод до 2050 г. включают высокую степень неопределенности. Авторы также отмечают, что большинство сценариев предполагают незначительный рост потребления электроэнергии до 2050 г.

Долгосрочные исследования рынка электроэнергии представляют значительную ценность для принятия среднесрочных и долгосрочных решений. В то же время сама публикация таких прогнозов способна формировать будущее, оказывая влияние на лиц, принимающих решения.

Прогнозированию генерации гидроэнергетики посвящено исследование Х. Каруманчи и М. Сантош [8]. Их прогноз строится на базе модели ARIMA, в качестве базы данных используются наблюдения с начала 1970-х гг. Авторы отмечают, что модель ARIMA оказалась подходящей для прогнозирования генерации (что вполне естественно: в их распоряжении были данные за 50 лет). Было проведено прогнозирование выработки гидроэлектроэнергии на следующее десятилетие, которое показало рост на 12,5% от достигнутого в 2019 г. уровня.

Похожее исследование было выполнено для Ганы [12]. Там также использовалась модель ARIMA для прогнозирования выработки гидроэлектроэнергии на 3 года. Расчеты показали, что выработка будет иметь нисходящую тенденцию ввиду снижения притока воды на плотины. Основываясь на проведенном анализе, авторы предлагают правительству меры, которые позволят исправить ситуацию в среднесрочной перспективе.

Отдельный блок работ можно найти по инвестициям в энергетику. Эти работы более сфокусированы на финансовых аспектах рынка электроэнергетики, схемах финансирования, а также в них исследуется баланс между возобновляемыми и традиционными источниками электроэнергии. Так, например, Г. Хосейн, П. Хосейн, С. Бахадурсинг, Р. Мартинес и С. Шарма [7] предложили использовать машинное обучение для построения прогноза по инвестициям в ВИЭ. Они исходят из предпо-

сылки, что линейные связи больше не работают и нужно искать более сложные модели, учитывающие несколько факторов. Предлагаемая ими модель учитывает ценовой фактор в качестве одного из важнейших, влияющих на инвестиции. Свою собственную модель они обучали на данных 53 стран. Как пример использования модели в работе приводится прогноз для Тринидад и Тобаго, где для достижения целевого значения генерации энергии, согласно ИИ, понадобится увеличить тариф на электроэнергию более чем на 300%, что, конечно, недостижимо в реальных условиях и, соответственно, вызывает вопросы к авторам относительно эффективности такого подхода.

Отметим, что все вышеперечисленные модели давно опробованы и неплохо работают. Но их существенным недостатком (как у моделей временных рядов, так и у нейронных сетей и моделей машинного обучения) является необходимость предоставления обширной исторической базы наблюдений. Ее отсутствие или недостаточный объем сильно скажутся на результате прогноза (что, собственно, и произошло).

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это молодая отрасль. Обширной базы данных просто нет, поскольку некоторые ее составляющие активно используются лишь в последние 20 лет. Еще одним существенным моментом является корректировка модели на первом прогнозном шаге с учетом фактических данных. Апробация модели – это необходимый и неотъемлемый шаг исследования, пропускать который недопустимо.

Все вышеперечисленное и стало основанием для авторов использовать альтернативные методики построения прогнозов. Также стоит отметить, что все представленные в данной статье модели прошли апробацию.

Методология исследования

Настоящая работа представляет собой прикладное исследование на основе при-

менения трендового проецирования для различных видов устойчивой энергетики. К устойчивым источникам энергии относятся все основные виды, а именно СЭС, ВЭС, ГЭС и АЭС. Атомная энергетика не во всех источниках рассматривается как устойчивая, однако, учитывая рост потребности в электроэнергии в последние годы, высокую долю генерации электроэнергии за счет угля (самого грязного источника топлива), даже такая лидирующая страна в области устойчивой энергетики, как Германия [1], рассматривает возобновление строительства АЭС.

В исследовании представлен прогноз выработки электроэнергии с пересчетом необходимых инвестиций, осуществленный методом трендового проецирования, по вышеперечисленным источникам в двух странах BRICS. Для каждой страны и каждого вида электростанций осуществлялся подбор модели, которая наиболее качественно отражает тренд выработки электроэнергии определенного типа. В качестве критерия для сравнения и выбора принимаемой модели выступал коэффициент детерминации R^2 . В качестве данных были использованы официальные отчеты Energy Institute. Далее на основе имеющихся оценок стоимости строительства в пересчете на единицу мощности выработки осуществлялся расчет необходимых инвестиций в конкретный тип устойчивой энергетики.

На рис. 1 представлена схема, суммирующая все описанное выше.

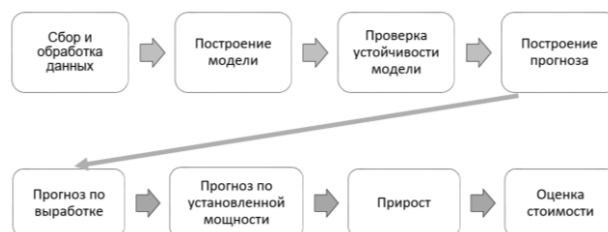


Рис. 1. Шаблон оценки стоимости инвестиционного проекта (два этапа)

В качестве финальной точки прогноза мы использовали имеющиеся планы по развитию отдельных видов электроэнергии и оценивали необходимые инвестиции до достижения данного уровня.

Результаты

Солнечные электростанции (СЭС)

Солнечные электростанции – относительно новый вид энергии для России, имеющий ограниченные возможности применения на территории Российской Федерации, что обусловлено прежде всего двумя факторами: резко континентальным климатом на большей части России и низким количеством солнечных дней. Количе-

ство солнечных дней варьируется в пределах от 60 дней для Мурманска до 100 дней для Астрахани. Это оказывает существенное негативное влияние на КПД солнечных электростанций в России.

Соответственно, можно сделать вывод, что эффективное применение такой технологии возможно только на субтропической части территории Российской Федерации и на Дальнем Востоке. Несмотря на такой ограниченный климатическим фактором потенциал, за последние 10 лет количество энергии, производимой этим способом, неуклонно растет (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Данные по выработке солнечной энергии в Российской Федерации*

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Выработка электроэнергии	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6	1,0	1,9	2,3	2,4	2,6

* Источник: URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 19.07.2025).

Отрасль динамично развивается во многом благодаря эффекту низкой базы. Ее потенциал, несмотря на означенные выше естественные ограничения, определенно велик. Отметим сразу, что анализ временных рядов или машинное обучение тут использовать не получится: база данных слишком скудна. Поэтому проведем трендовое проецирование различными методами, а в качестве критерия качества будем использовать коэффициент детерминации.

В качестве базовых авторы рассмотрели следующие три модели: линейную (она проста, давно известна и во многих случаях неплохо работает), логарифмическую и экспоненциальную.

Результаты, полученные на основе исходных данных (табл. 1), представлены на рис. 2.

Как мы видим, коэффициент детерминации 0,9112 максимален у линейной модели. В данном случае выбор очевиден. Такое значение R^2 свидетельствует о до-

статочно высокой точности модели и возможности ее использования для определения перспектив СЭС на период 1–3 года.

Большая глубина прогноза малопродуктивна: отрасль слишком быстро развивается. А оценка инвестиций зависит от выбора модели и ее достоверности, поэтому модели необходимо перестраивать (для того, чтобы понимать действительную стоимость инвестиций в текущей ситуации), иначе в проект будет заложена избыточная стоимость. Согласно построенному прогнозу, в следующие два года количество производимой в Российской Федерации солнечной энергии будет неуклонно расти и дойдет до показателя 3,2 ТВт (рис. 3).

Это вполне соответствует Сахалинскому климатическому проекту¹, начатому в 2022 г., в рамках которого, в частности,

¹ URL: <https://energypolicy.ru/sahalinskij-eksperiment-dostizheniya-uglerodnoj-nejtralnosti/regiony/2023/20/27/> (дата обращения: 19.07.2025).

предполагается переход на возобновляемые источники энергии. Для этого впервые в России построена станция на

648 солнечных батарей установленной мощностью 250 кВт.

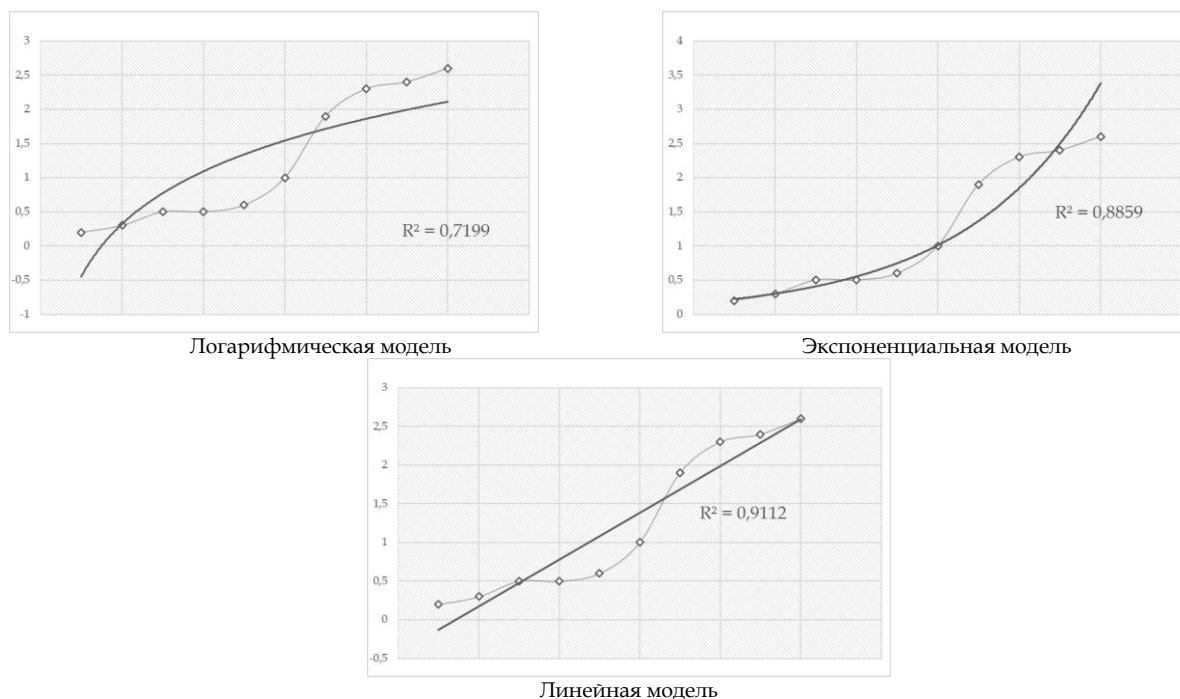


Рис. 2. Выбор модели для построения прогноза по выработке солнечной энергии

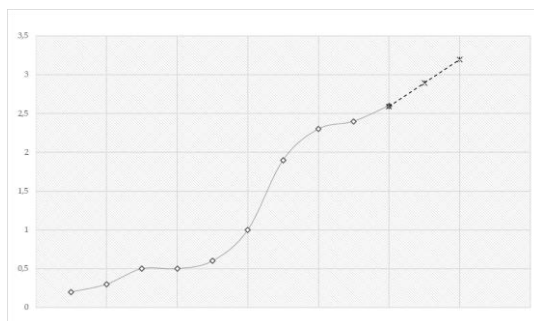


Рис. 3. Построение прогноза с использованием модели линейной регрессии

Далее перейдем к основной цели нашей работы – оценке инвестиций в эту отрасль. С учетом построенного прогноза и на основе принятых данных относительно стоимости выработки 1 кВт солнечной энергии (средняя стоимость строительства солнечных электростанций составляет 1 695 (2 783) долл/кВт) инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в 3,2 ТВт должны составить не менее 1,11 (0,678) млрд долларов. Действительно, текущая выработка составляет 2,6 ТВт, что соответствует установленной мощности в

1 788 МВт. Таким образом, планируется увеличение мощностей на величину порядка 400 МВт, откуда и получается величина требуемой инвестиции в такой проект (рис. 4).



Рис. 4. Вычисление стоимости инвестиционного проекта

Рассмотрим перспективы этой отрасли в Бразилии. Исторически основным источником энергии в стране были ГЭС (очевидное решение для страны, через которую течет Амазонка). Климатические катастрофы последних лет (в основном страшная засуха 2021 г. – худшая за более чем 90 лет) изменили правила игры в этом регионе. Было принято стратегическое решение диверсифицировать источники выработки, в результате чего начался бурный рост ВЭС и СЭС (их можно построить значительно быстрее и дешевле, чем АЭС). Дополнительным бонусом такой переориентации стало то, что Бразилия превратилась в мирового лидера в области чистой электроэнергетики.

Большая часть территории Бразилии находится в тропическом поясе, и только самая южная ее часть – в субтропическом. Расположение в низких широтах обуславливает большое количество солнечных дней (от 100 до 200 в год) и высокие среднегодовые температуры, которые колеблются от +14,7 до +28,3 °С. Все вышеперечисленное служит основными предпосыл-

ками для широкого использования одного из самых чистых видов энергии – солнечной. Отметим, что до 2012 г. 99,9% фотоэлектрических панелей в Бразилии использовались только в изолированных регионах без доступа к централизованной электросети. И только в 2012 г. с внедрением регламента ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica – Национальное агентство по электроэнергетике), разрешающего обмен энергией с общей электросетью, этот сектор начал расти. По данным ABSCOLAR, с 2012 г. инвестиции в солнечную энергетику составили 22,5 млрд долларов [14]. Они создали около 705 тыс. рабочих мест, а также позволили избежать выбросов CO₂ в размере 33,3 млн тонн. Соответственно, можно сделать вывод, что использование этой технологии является одним из основных трендов в бразильской энергетике последних лет, причем весьма эффективным. Также стоит отметить, что производство солнечной энергии удваивается каждый год за последние 10 лет (табл. 2), а общий рост за последние два года составил порядка 150%.

Т а б л и ц а 2

Данные по выработке солнечной энергии в Бразилии*

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Выработка электроэнергии	0,02	0,06	0,09	0,8	3,5	6,7	10,7	16,8	30,1	51,5

* Источник: URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 19.07.2025).

Рассмотрим перспективы этой отрасли при практически галопирующих темпах роста. На основе обзора моделей (максимизируя R²) получим следующую картину:

1. Линейная регрессия: R² = 0,7369.
2. Экспоненциальная модель: R² = 0,9464.
3. Логарифмическая модель: R² = 0,4864 (т. е. недостоверна).
4. Полиномиальная модель: R² = 0,964.

Посмотрим, какая из моделей лучше поддерживает настоящий энергобум в Бразилии. Действительно, солнечная энергетика росла стремительно уже в 2023 г.: генерация за этот год составила порядка 50,6 ТВт (а это прирост на 68% к 2022 г.)

при установленной мощности около 37,8 ГВт (прирост по мощности составляет 54%). Тренды Бразильского сектора энергетике и сейчас продолжают быть крайне нетипичными: за 2024 г. установленная мощность Бразилии увеличилась на 10,9 ГВт¹, что является *самым высоким ростом, когда-либо зарегистрированным с 1997 г.* В целом в 16 бразильских штатах была установлена 301 новая электростанция, из которых более 91% были электростанциями на возобновляемых источниках энер-

¹ URL: <https://www.gov.br/aneel/pt-br> (дата обращения: 19.07.2025).

гии. Новая установленная мощность распределилась следующим образом: 147 СЭС (5 630 МВт), 121 ВЭС (4 261 МВт), 22 ТЭС (907 МВт), девять малых гидроэлектростанций (52 МВт) и две гидроэлектростанции (4,6 МВт). В итоге на конец 2024 г. установленная мощность выросла до 209 ГВт. Это настоящий *галолирующий* рост.

Формально сравним, как работают на примере Бразилии полиномиальная и экс-

поненциальная модели. Построим прогноз по каждой из них и посмотрим его качество, сравнив с реальными результатами, хотя уже понятно, что лучше взять за основу. Заметим при этом, что экспоненциальная модель нуждается в предварительной калибровке, поскольку дает слишком большую ошибку на последнем известном шаге (рис. 5, а). Соответственно, проведем калибровку (рис. 5, б).

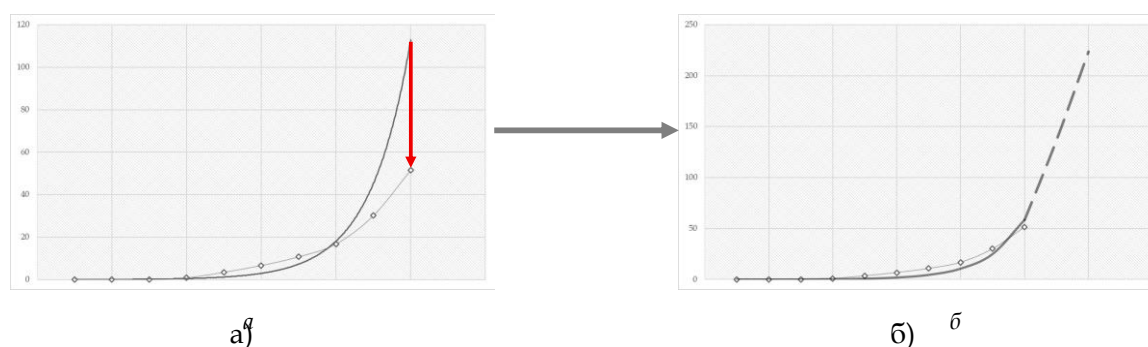


Рис. 5. Прогноз по росту мощностей: экспоненциальная модель с ошибкой (а) и калибровкой (б)

Проведем тестирование полученной модели. В итоге наша обновленная модель предсказала выработку в 136,7 ТВт, что соответствует мощности в 9 372 МВт. Это в свою очередь означает годовой прирост в 5 846 МВт (за 2024 г.). Фактически, по данным Enerdata [5], прирост мощности составил 5 630 МВт. Таким образом, точность составляет порядка 96% и является вполне приемлемой для дальнейшего использования. Теперь мы готовы предположить, что ситуация во многом сохранится, и оценить вложения в эту часть экономики, необходимые для *поддержания такого же уровня роста и развития*. С учетом применения откалиброванной модели и того, что стоимость строительства СЭС в пересчете на выработку 1 кВт солнечной энергии составляет ≈ 727 долл/кВт, получаем, что инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в размере 223,2 ТВт (рис. 5, б) должны составить не менее 8,5 млрд долларов.

Ветроэнергетика (ВЭС)

Перейдем ко второму виду возобновляемой энергии – энергии ветра. Отметим только, что ветроэнергетика России – отнюдь не новое явление (первые ветряки появились в 1920-х гг.). Однако и здесь есть определенные проблемы в использовании этого ресурса: основные ветровые зоны России – это южные степи и морские побережья, а также некоторые отдельные ветровые зоны (Карелия, Алтай, Тыва, Байкал). К этому добавляется еще и сезонный фактор: максимальная средняя скорость ветра тут приходится на осень и зиму. В итоге в настоящее время примерно 30% ветрогенерации приходится на Дальний Восток, 14% – на Северный экономический район, 16% – на Западную и Восточную Сибирь [2]. Дополнительно стоит отметить, что этот тип электростанций используется в основном в малонаселенных регионах (сейчас это 1 человек на 2 км²).

В настоящее время рынок поделен следующими ключевыми игроками: ПАО «Фортум», ГК «РОСНАНО», АО «Нова-

Винд» (ГК «Росатом») и ПАО «ЭЛ5-Энерго». Остановимся чуть подробнее на том, что за проекты вводятся в эксплуатацию. Например, АО «НоваВинд» запустил в 2023 г. Труновскую ВЭС. Сейчас в эксплуатации уже две очереди: 38 ветроустановок общей установленной мощностью 95 МВт¹. Это девятый ветропарк компании на Юге и седьмой в Ставропольском крае. А общая мощность введенных объектов компании достигла одного гигаватта (сопоставимо с мощностью реактора АЭС).

Лидером кластера сейчас является Ростовская область: в третий раз она стала на первом месте по ветрогенерации в рейтинге регионов России и получила статус самого индустриального региона возобновляемой энергетики Российской Федерации. В настоящее время здесь действуют шесть ветропарков общей мощностью 610 МВт. При этом планируется построить ветропарк мощностью до 750 МВт. Одновременно заметим, что проблему энергодефицита на Дальнем Востоке как раз планируется решать путем построения ВИЭ этого типа – это один из самых чистых и перспективных способов ее решения.

Логично в такой перспективе построить прогноз по масштабам роста производства этого вида энергии на территории Российской Федерации. Используем опробованный выше подход в выборе модели:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,7515$.
2. Логарифмическая модель: $R^2 = 0,4927$ (т. е. недостоверна).
3. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9675$.

С учетом того, что стоимость строительства ветряной электростанции в России зависит от многих факторов, но в среднем составляет от 1,2 до 2 млн долларов за 1 МВт установленной мощности, а полиномиальная модель дает порядка 3 365 МВт (т. е. прогнозируется прирост порядка 1 ГВт), получаем, что реализация проекта потребует вложений на сумму от 1,2 до 2 млрд долларов. Заметим, что и в

этом случае авторский подход вполне коррелирует с общепринятым прогнозом, согласно которому предполагается, что установленная мощность ВЭС в перспективе двух лет должна составить порядка 3,5 ГВт.

Теперь рассмотрим перспективы этой отрасли в Бразилии.

Развитие ветровой энергетики сконцентрировано преимущественно на северо-востоке страны, где отличные ветровые ресурсы. С 2011 г. среднегодовой темп роста ветроэнергетической отрасли в Бразилии оценивается примерно в 36%. В последние годы страна интенсивно строит ветровые электростанции. Сама ветроэнергетика играет все более важную роль в энергетическом секторе страны. Уже в 2019 г. 10% от общего объема потребляемой в стране энергии было получено с ветровых электростанций, а установленная мощность достигла 15,4 ГВт.

Установленная мощность ВЭС динамично и постоянно растет: на 15,2% за 2022 г. и на 20,3% за 2023 г. Аналогична ситуация с выработкой энергии ветра: на 12,9% за 2022 г. и на 17,4% за 2023 г. Такие высокие поступательные темпы связаны с государственными аукционами по закупке ВИЭ, притоком частных инвестиций и программой поддержки распределенной генерации и, собственно, амбициозными планами развития: согласно ANEEL², в 2024 г. планировалось ввести в эксплуатацию около 4,9 ГВт ветровых мощностей. Это во многом удалось: прирост составил 3,85 ГВт. В конкретных цифрах это 613 ветровых электростанций и 7 536 ветровых турбин (за последние годы). Эти объекты все чаще устанавливаются в районах со сложными экологическими условиями, постепенно заменяя ими энергию ископаемого топлива. В настоящее время крупнейшими штатами по производству ВЭС являются Баия и Риу-Гранди-ду-Норти. В период с августа по сентябрь здесь наблюдается пик производства, известный как «урожай ветров» (*safrá dos ventos*).

¹ URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2024/03/04/143700> (дата обращения: 19.07.2025).

² URL: <https://www.gov.br/aneel/pt-br> (дата обращения: 19.07.2025).

Используем опробованный выше подход в выборе модели:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,9776$.
2. Экспоненциальная модель: $R^2 = 0,8891$.
3. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9956$.

Заметим, что за последний год новые 121 ВЭС добавили 4 261 МВт, что позволило снова сделать калибровку модели (как и в случае с СЭС, рост очень быстрый) и получить следующие результаты: ожидаемая выработка – 150,9 ТВт, что при стоимости строительства в 1 млн долларов за 1 МВт дает оценку стоимости проекта порядка 10 млрд долларов.

Гидроэнергетика (ГЭС)

Гидроэнергетические ресурсы являются возобновляемым и наиболее экологически чистым источником энергии, использование которого позволяет сократить выбросы в атмосферу от тепловых электростанций и сохранить запасы углеводородного топлива для будущих поколений. Из всех возобновляемых источников гидравлическая энергия является наиболее распространенной в мире. Около 9% мировых запасов гидроэнергии сосредоточено на территории Российской Федерации. Россия входит в список стран с самыми высокими показателями суммарной мощности и выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях, уступая только Китаю, Бразилии, США и Канаде. Мощность гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций в мире превысила 1 100 ГВт. Мощность гидроэлектростанций в Российской Федерации превышает 50 ГВт, что составляет около 20% от общей мощности электростанций страны. В 2024 г. российские гидроэлектростанции выработали около 200 ТВт электроэнергии¹.

В настоящее время в России 15 крупных гидроэлектростанций (ГЭС) (более 1 000 МВт), 34 средних (от 100 до 1 000 МВт), 58 малых (от 10 до 100 МВт) и около 90 мини (менее 10 МВт). Общее количество ГЭС достигает 200. В планах до 2040 г. постро-

ить восемь ГЭС и шесть гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) общей мощностью 12,5 ГВт, общий приток инвестиций оценен в 960 млрд рублей. Одна из крупнейших компаний «РусГидро» приступила к разработке и проектированию Нижне-Зейской и Селемджинской ГЭС в Амурской области².

Отечественные гидроэлектростанции вырабатывают 16–17% всей электроэнергии в России, что составляет практически весь объем электроэнергии, вырабатываемой с использованием возобновляемых источников энергии в нашей стране. Себестоимость производства электроэнергии на гидроэлектростанциях в 5 раз ниже, чем на тепловых и атомных электростанциях, что способствует снижению тарифов на электроэнергию для потребителей. Отечественная гидроэнергетика имеет огромный потенциал роста в ближайшие десятилетия.

Приоритетом для российской гидроэнергетики в ближайшие годы является не только строительство новых ГЭС, но и модернизация существующих энергообъектов, большинство из которых старше 50 лет. Необходимо строить новые ГЭС, хотя это и долгосрочные инвестиции.

Потребление электроэнергии в России в 2024 г. превысило показатели 2023 г. на 3,1% и составило 1 174 ТВт³. Задача состоит в привлечении новых инвесторов, что станет возможным после утверждения механизма возврата инвестиций, который будет рассчитан на долгосрочную перспективу.

Проекты строительства гидроэлектростанций долгосрочные (не менее 10 лет) и направлены на развитие низкоуглеродной энергетики. Частные деньги также могут пойти в энергетику, однако для этого необходимо в том числе расширить гори-

¹ URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/ups/ups2022/> (дата обращения: 19.07.2025).

² URL: https://rushydro.ru/?utm_source=eng.rushydro.ru&utm_medium=referral&utm_campaign=eng.rushydro.ru&utm_referrer=eng.rushydro.ru (дата обращения: 19.07.2025).

³ URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 19.07.2025).

зонт планирования до 15–20 лет. Сегодня инвестиционный цикл слишком короток – 5 лет. Такой подход уже доказал свою эффективность в Китае: за 10 лет там было построено 109 новых гидроэлектростанций общей установленной мощностью 107 ГВт. В России за это же время было введено всего 4,5 ГВт новых мощностей гидроэлектростанций.

Мировой рынок гидроэлектростанций, по прогнозам, к 2030 г. достигнет 318,3 млрд долларов при CAGR 3% в этот же период. Ожидается, что растущее использование проектов малой гидроэнергетики откроет значительные возможности роста для заинтересованных сторон на рынке гидроэлектростанций. Заметим, что рынок подразделяется на малые, средние и крупные ГЭС. Стоимость строительства ГЭС может превышать 1 млрд долларов. Например, строительство крупнейшей в мире ГЭС «Три ущелья» в Китае обошлось в 137 млрд долларов¹. Стоимость строительства средних ГЭС может составлять от 2 до 7 млн долларов за 1 МВт установленной мощности. Стоимость строительства мини-ГЭС мощностью 500 кВт может составлять от 200 000 до 500 000 долларов.

Вернемся к идее и основной методологии нашего исследования – оценке инвестиций с использованием прогнозных значений по выработке электроэнергии ГЭС. Мы провели построение моделей разными методами. Наша цель – максимизация коэффициента детерминации. Предлагаем рассмотреть линейную и полиномиальную модели как базовые. На основе выбранных моделей получаем следующие коэффициенты детерминации:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,6685$.
2. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9264$.

Очевидно, выбираем полиномиальную модель. Заметим, что все модели построены по данным до 2023 г. включительно. Далее проводилась калибровка выбранной модели по данным за 2024 г.

Используя предположение о том, что темп развития экономики будет возрастать, перейдем к оценке инвестиций в эту отрасль. Сделаем оценку стоимости строительства малых гидроэлектростанций. С учетом построенного прогноза и на базе известных данных относительно стоимости выработки 1 МВт гидроэнергии (средняя стоимость строительства гидроэлектростанций составляет 0,2 млн долл/МВт; эта цена зависит от множества факторов, таких как географическое расположение, геологические условия, сложность проекта и используемые технологии) можно предположить, что инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в 202,3525 ТВт должны составить не менее 700 млн долларов. Действительно, текущая выработка составляет 200,86 ТВт, что соответствует установленной мощности в 52,754 МВт.

Таким образом, прогнозируется увеличение мощностей на величину порядка 0,39 ГВт, откуда и получается оценка такого проекта.

Бразилия как страна континентальных размеров нуждается в масштабных и эффективных решениях. Электроэнергетическая система страны в основном состоит из гидроэлектростанций. Все крупнейшие и важнейшие компании этого сектора принадлежат государству, и система функционирует под его строгим контролем. Доля частных инвесторов невелика. Это позволяет принимать важнейшие решения в короткие сроки, поддерживая надежную и эффективную работу отрасли.

В 2021 г. в Бразилии в эксплуатации находились 219 крупных ГЭС, 425 малых и 739 мини-ГЭС (рис. 6). Установленная мощность крупных ГЭС составляла 102,2 ГВт, при этом 29 крупных ГЭС обладают мощностью свыше 1 ГВт каждая. Суммарная мощность малых ГЭС составляет 5,4 ГВт, мини-ГЭС – 865 МВт.

Бразилия обладает значительным гидроэнергетическим потенциалом – 260 ГВт, и по этому показателю она занимает третье место в мире после Китая и России. Сего-

¹ URL: <https://www.energyinst.org/statistical-review> (дата обращения: 19.07.2025).

дня в стране используется 41,7% этого значения. По данным EPE (Empresa de Pesquisa Energética) Министерства горнодобывающей промышленности и энергетики Бразилии, 70% неиспользуемых мощностей находятся в бассейнах рек Амазонки и Токантинса-Арагуа¹.

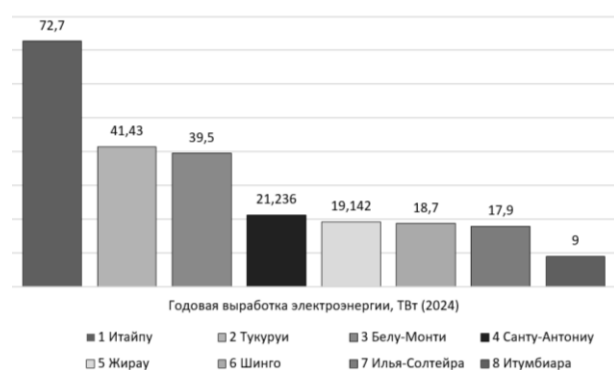


Рис. 6. Крупнейшие ГЭС Бразилии

Настоящий прорыв в развитии гидроэнергетики в Бразилии произошел в результате нефтяного кризиса 1973 г. В то время, находясь в сильной зависимости от импортных поставок нефти, страна столкнулась с серьезными экономическими и финансовыми проблемами. Именно тогда началось активное строительство гидроэлектростанций как возможность для снижения зависимости от поставок нефти. Однако засухи, о которых упоминалось выше, представляют собой серьезную проблему и грозят затяжным эффектом [10]. В северном регионе уже приходилось частично останавливать ГЭС (например, Санту-Антониу на реке Мадейра) из-за рекордно обмелевшей реки. Для покрытия пиковых нагрузок оператор ONS вновь задействовал дорогие резервные станции на ископаемом топливе.

Продолжим построение оценки инвестиций в эту отрасль. Также предлагаем рассмотреть линейную и полиномиальную модели как базовые. На основе выбранных моделей получаем следующие коэффициенты детерминации:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,6248$.

2. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9049$.

С учетом построенного прогноза и на базе известных данных относительно стоимости выработки 1 МВт гидроэнергии (средняя стоимость строительства крупных гидроэлектростанций ≈ 35 млн долл/ГВт) можно предположить, что инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в 434,5 ТВт должны составить не менее 55 000 млн долларов. Действительно, текущая выработка составляет 429,5 ТВт, что соответствует установленной мощности в 110 МВт. Таким образом, планируется увеличение мощностей на величину порядка 1,5 ГВт (отсюда получаем оценку проекта).

Атомные электростанции (АЭС)

Атомная энергетика является одним из низкоуглеродных способов производства электроэнергии, как и возобновляемые источники энергии. Так, в России производство электроэнергии на АЭС является регламентированным законодательно проектом устойчивого развития страны и представлено государственной компанией «Росатом». С октября 2020 г. Госкорпорация «Росатом» является участником Глобального договора ООН – крупнейшей международной инициативы ООН для бизнеса в сфере корпоративной социальной ответственности и устойчивого развития².

В настоящее время Госкорпорация «Росатом» производит 20% от общего объема производства электроэнергии и является одним из основных исполнителей заказов на проектирование и строительство АЭС в мире.

«Росатом» – это компания, имеющая технологию полного ядерного топливного цикла. В настоящее время она строит в России три новых энергоблока. В портфеле зарубежных заказов 33 энергоблока на разных стадиях реализации, в том числе АЭС «Аккую» (Турция), АЭС «Куданкулам» (Индия). Таким образом, ГК «Роса-

¹ URL: <https://www.epe.gov.br/> (дата обращения: 19.07.2025).

² URL: <https://www.rosatom.ru/production/generation/> (дата обращения: 19.07.2025).

том» предоставляет передовые разработки в области развития ядерных технологий, логистических решений и тем самым открывает широкие перспективы для расширения стратегического партнерства между ключевыми игроками BRICS.

В 2024 г. АЭС России выработали 214,033 млрд кВт электроэнергии, что составляет примерно 18% от общего объема производства электроэнергии в стране. В 2024 г. общая выработка электроэнергии в России составляла 1,2 трлн кВт, что на 2,4% больше, чем в 2023 г. Стоит также отметить, что для АЭС нет зависимости от климатических изменений¹.

Средний срок строительства атомной электростанции в России составляет от 10 до 15 лет начиная с момента принятия решения о строительстве. Этот срок включает в себя не только строительные работы, но и подготовительный период, лицензирование, а также период ввода в эксплуатацию. В стоимость строительства входят оценка стоимости всех перечисленных этапов, утилизация отходов и вывод энергоблоков из эксплуатации.

Продолжим построение оценки инвестиций в эту отрасль. Предлагаем рассмотреть линейную и полиномиальную модели как базовые. На основе выбранных моделей получаем следующие коэффициенты детерминации:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,8714$.
2. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9823$.

С учетом построенного прогноза и на базе известных данных относительно стоимости выработки 1 МВт энергии инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в 220,45 ТВт могут составить не менее 6 000 млн долларов.

Бразилия уже давно пользуется преимуществами атомной энергии. На данный момент единственная действующая АЭС в Бразилии находится в г. Ангра-дус-Рейс (штат Рио-де-Жанейро) и имеет 2 действующих энергоблока с реакторами

PWR общей электрической мощностью 1 884 МВт. 15 ноября 2022 г. Eletronuclear возобновила строительство 3-го блока после 7 лет перерыва. Реакторы Ангра-1 и Ангра-2 обеспечивают стабильное энергоснабжение².

Планируемое внедрение малых и средних модульных реакторов (ММР) идеально подходит для решения энергетических проблем Бразилии. В стране с огромной территорией и разбросанными региональными центрами они могут обеспечить стабильное энергоснабжение в местах, где прокладка сетей или строительство крупных АЭС экономически нецелесообразны. Малые модульные реакторы могут быть развернуты быстрее, а компактность ММР позволяет использовать их как в отдаленных районах, так и на промышленных объектах с высоким потреблением энергии³.

Продолжим построение оценки инвестиций в эту отрасль. Также предлагаем рассмотреть линейную и полиномиальную модели как базовые. На основе выбранных моделей получаем следующие коэффициенты детерминации:

1. Линейная регрессия: $R^2 = 0,8079$.
2. Полиномиальная модель: $R^2 = 0,9338$.

Стоимость строительства одного энергоблока АЭС в Бразилии может варьироваться и, как правило, оценивается в несколько миллиардов долларов. Например, строительство нового энергоблока может обойтись примерно в 8 млрд долларов. Однако конкретная стоимость может зависеть от множества факторов, таких как тип реактора, местоположение, используемые технологии и т. д.

Выбираем полиномиальную модель и получаем, что прогнозные значения выработки составляют 15,9 ТВт. Таким образом, на базе известных данных относительно стоимости выработки 1 ГВт энергии

¹ URL: <https://www.so-ups.ru/news/press-release/press-release-view/news/26552/> (дата обращения: 19.07.2025).

² URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2022/11/14/130295> (дата обращения: 19.07.2025).

³ URL: <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Rosatom-says-to-supply-uranium-products-for-Brazil> (дата обращения: 19.07.2025).

(≈ 8 млрд долл/МВт) можно оценить, что инвестиции в отрасль для достижения поставленной цели в прирост порядка 1,43 ТВт должны составить не менее 10 млрд долларов.

Заключение

Данное исследование направлено на оценку инвестиционной привлекательности и прогнозирование развития устойчивых источников электроэнергии (СЭС, ВЭС, ГЭС, АЭС) на примере двух стран BRICS – России и Бразилии. Обе страны обладают огромной территорией, богаты энергетическими ресурсами и демонстрируют амбициозные цели в рамках национальных и международных энергетических стратегий. Прогнозировать инвестиции в устойчивую электроэнергетику важно по многим причинам, а в условиях, когда ИИ, блокчейн и цифровые сервисы требуют колоссальных объемов электроэнергии, вопрос устойчивости и надежности генерации стоит особенно остро. В статье приводится методика и предлагается конкретный прогнозный расчет инвестиций, необходимых для выполнения плана по генерации электроэнергии от устойчивых источников. Критерием качества модели служит коэффициент детерминации (R^2). Оценка инвестиций проводилась на основе среднерыночной стоимости строительства мощностей, пересчитанной на прирост установленной мощности согласно прогнозу.

Построенные модели показывают высокий коэффициент детерминации (более 0,9), что свидетельствует о точности полученного результата и подтверждает пригодность подхода для краткосрочного прогнозирования. Глубина предлагаемого прогноза – 1–3 года, но, как было показано выше, необходима динамическая коррекция на основе вновь поступивших данных: модели следует постоянно перестраивать и обучать, с тем чтобы они оставались релевантными. В табл. 3 приведены итоговые прогнозы для России и Бразилии.

Как можно заметить, Россия лидирует по атомной энергетике, в то время как по остальным видам устойчивой энергетики положение обратное. Вместе с тем темпы развития устойчивой энергетики в России высокие.

Солнечные электростанции являются инвестиционными проектами. Ввиду компактности и легкой масштабируемости предприятия и фермерские хозяйства могут устанавливать солнечные панели для снабжения отдельных объектов. С развитием технологий по сохранению энергии такие проекты имеют большой потенциал в обеих странах.

Для наглядности аккумулируем все полученные результаты в общую таблицу.

Как видно из табл. 3, СЭС и ВЭС показывают наибольшую эффективность в Бразилии. Россия, несмотря на потенциал, ограничена климатически и, как было отмечено выше, делает ставку на атомную промышленность и гидроэнергетику.

В Бразилии ярко выражен вектор на быструю диверсификацию генерации и стимулирование ВИЭ, в том числе через государственные аукционы. Россия действует более осторожно, делая ставку на государственные корпорации и проверенные технологии. С одной стороны, это означает потенциал роста, а с другой – фактически свидетельствует о барьерах, стоящих на пути таких проектов. Частично это связано с монополизацией отрасли крупными компаниями, работающими с ископаемым топливом. Однако в условиях роста тарифов на электроэнергию темпами, превышающими инфляцию, децентрализованные, точечные проекты становятся более предпочтительными для потребителей, а значит, следует ожидать возникновения деловых кластеров, специализирующихся на проектировании, поставках оборудования и эксплуатации таких электростанций. Цифровизация экономики будет способствовать нарастанию темпов таких процессов.

Надо понимать, что энергобаланс страны является одним из ключевых факторов

российской экономики. Государство не допустит резких изменений, а значит, в целом продолжится инерционное развитие, на которое и рассчитан наш подход.

Т а б л и ц а 3

Сравнительная таблица: Российская Федерация vs Бразилия

Россия		Бразилия	
СЭС			
Прогноз по выработке: 3,2 ТВт. Прогноз по мощности: 2 188 МВт. Прирост мощности: 400 МВт	Средняя стоимость строительства СЭС: 1 695 (2 783) долл/КВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 0,678–1,11 млрд долл.	Прогноз по выработке: 223,3 ТВт. Прогноз по мощности: 15 300 МВт. Прирост мощности: 11 775 МВт	Средняя стоимость строительства СЭС: 727 долл/КВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 8,5 млрд долл.
ВЭС			
Прогноз по выработке: 8,4761 ТВт. Прогноз по мощности: 3,3655 ГВт. Прирост мощности: 911 МВт	Средняя стоимость строительства ВЭС: 1,2–2 млн долл/МВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 1,1–1,8 млрд долл.	Прогноз по выработке: 150,9 ТВт. Прогноз по мощности: 38,1 ГВт. Прирост мощности: 10 ГВт	Средняя стоимость строительства ВЭС: 0,9 млн долл/МВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 10 млрд долл.
Российская Федерация: малые ГЭС; Бразилия: ГЭС			
Прогноз по выработке: 202,3525 ТВт. Прогноз по мощности: 53,14 ГВт. Прирост мощности: 0,39 МВт	Средняя стоимость строительства малой ГЭС: 0,2 млн долл/МВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 0,7 млрд долл.	Прогноз по выработке: 434,5 ТВт. Прогноз по мощности: 111,5 ГВт. Прирост мощности: 1,5 ГВт	Средняя стоимость строительства ГЭС: 35 млн долл/МВт. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 55,75 млрд долл.
АЭС			
Прогноз по выработке: 220,4 ТВт. Прогноз по мощности: 29,9 ГВт. Прирост мощности: 1,3 ГВт	Средняя стоимость строительства АЭС*: 5–10 млрд долл. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 5–10 млрд долл.	Прогноз по выработке: 15,99 ТВт. Прогноз по мощности: 2,8 ГВт. Прирост мощности: 1,3 ГВт	Средняя стоимость строительства АЭС**: 5–15,1 млрд долл. Оценка стоимости инвестиционного проекта: 10 млрд долл.

* АЭС с реакторами поколения III+ (например, EPR или AP1000) могут стоить от 6 млрд до 10 млрд долларов за блок мощностью 1–1,6 ГВт.

** По данным Атомной энергии 2.0 (<https://www.atomic-energy.ru/>), стоимость строительства АЭС на базе малых модульных реакторов может составлять около 15,1 млрд долларов за четыре реактора.

Среди ограничений исследования можно отметить краткосрочную глубину прогноза. Также отметим, что есть изменения, вызванные развитием и зрелостью технологий, а также ростом глобализации рынка оборудования для электростанций. Для отдельных прогнозов можно строить более сложные модели, учитывающие тренды изменения стоимости единицы мощности. Еще одним ограничением является использование открытых данных, доступных любому пользователю.

Сравнение России и Бразилии показывает большой потенциал устойчивой энергетики в обеих странах. Негативные климатические изменения возникают по всему миру, поэтому так или иначе адаптироваться придется всем странам. Именно поэтому важно анализировать имеющиеся тренды, рассчитывая необходимые инвестиции и заранее создавая инвестиционные возможности для устойчивых видов электроэнергетики.

В качестве направлений дальнейших исследований авторы видят следующие возможности:

– во-первых, разработка интегральной инвестиционной модели, учитывающей не только стоимость, но и риски, срок окупаемости и ESG-факторы;

– во-вторых, существует возможность учета климатических изменений в моделировании ГЭС (засухи, обмеление рек);

– в-третьих, еще только предстоит начать исследование трансграничного сотрудничества в рамках BRICS по передаче технологий и совместному финансированию.

Список литературы

1. В Германии отменили госпрограмму по отказу от атомной энергетики. – URL: <https://oilcapital.ru/news/2025-05-21/v-germanii-otmenili-gosprogrammu-po-otkazu-ot-atomnoy-energetiki-5395676> (дата обращения: 19.07.2025).
2. Ветроэнергетика по-русски: ветер – отдельно, энергетика – отдельно. – URL: <https://novostienergetiki.ru/vetroenergetika-po-russki-veter-%E2%80%93-otdelno-energetika-%E2%80%93-otdelno/> (дата обращения: 19.07.2025).
3. Солнечная энергетика: стоимость строительства и эффективность. – URL: <https://ecotek.pro/news/energolikbez/solar-energy/?ysclid=mapjszbz64753653680> (дата обращения: 19.07.2025).
4. Aditya T., Jaipuria S., Dadabada P. A Review of Methods for Long Term Electric Load Forecasting // Journal of Forecasting. – 2024. – Vol. 44. – P. 1403–1423.
5. Brazil added 11 GW of new capacity in 2024, 91% of which were solar and wind. – URL: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/brazil-added-11-gw-new-capacity-2024-91-which-were-solar-and-wind.html> (дата обращения: 19.07.2025).
6. Chen Y., Hexeberg A., Rosendahl K., Bolkesjø T. Long-Term Trends of Nordic Power Market: A Review // Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment. – 2021. – Vol. 10. – P. 1–23.
7. Hosein G., Hosein, P., Bahadoorsingh S., Martinez R., Sharma C. Predicting Renewable Energy Investment Using Machine Learning // Energies. – 2020. – Vol. 13. – P. 4494.
8. Karumanchi H., Santhosh M. Forecasting of Hydropower Generation of India using Autoregressive Integrated Moving Average Model // Journal of Algebraic Statistics. – 2022. – Vol. 13. – N 3. – P. 3124–3128.
9. Lindberg K., Seljom P., Madsen H., Fischer D., Korpås M. Long-Term Electricity Load Forecasting: Current and Future Trends // Utilities Policy. – 2019. – Vol. 58. – P. 102–119.
10. Lopes M. P. C., Nogueira T., Santos A. J. L., Branco D. C., Pouran H. Technical Potential of Floating Photovoltaic Systems on Artificial Water Bodies in Brazil // Renewable Energy. – 2022. – Vol. 18. – P. 1023–1033.
11. Mystakidis A., Koukaras P., Tsalikidis N., Ioannidis D., Tjortjis C. Energy Forecasting: A Comprehensive Review of Techniques and Technologies // Energies. – 2024. – Vol. 17. – P. 1662.
12. Sarpong S., Agyei A. Forecasting Hydropower Generation in Ghana Using ARIMA Models // International Journal of Statistics and Probability. – 2021. – Vol. 11. – P. 20–30.
13. Shiwakoti R., Charoenlarnopparut C., Chapagain K. Time Series Analysis of Electricity Demand Forecasting Using Seasonal ARIMA and an Exponential Smoothing Model // International Conference on Power and Renewable Energy Engineering (PREE). – 2023. – P. 131–137.

14. What does solar energy bring to Brazil? – URL: <https://www.absolar.org.br/en/home-en/> (дата обращения: 19.07.2025).

15. Zeng S., Liu Y., Liu C., Nan X. A Review of Renewable Energy Investment in the BRICS Countries: History, Models, Problems and Solutions // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2017. – Vol. 74. – P. 860–872.

References

1. V Germanii otmenili gosprogrammu po otkazu ot atomnoy energetiki [Germany Cancelled State Program on Rejection Nuclear Power Engineering]. (In Russ.). Available at: <https://oilcapital.ru/news/2025-05-21/v-germanii-otmenili-gosprogrammu-po-otkazu-ot-atomnoy-energetiki-5395676> (accessed 19.07.2025).

2. Vetroenergetika po-russki: veter – otdelno, energetika – otdelno [Wind Power Engineering according to Russian Standards: Wind is one Thing and Power Engineering is another]. (In Russ.). Available at: <https://novostienergetiki.ru/vetroenergetika-po-russki-veter-%E2%80%93-otdelno-energetika-%E2%80%93-otdelno/> (accessed 19.07.2025).

3. Solnechnaya energetika: stoimost stroitel'stva i effektivnost [Solar Power Engineering: Construction Cost and Effectiveness]. (In Russ.). Available at: <https://ecotek.pro/news/energolikbez/solar-energy/?ysclid=mapjszbz64753653680> (accessed 19.07.2025).

4. Aditya T., Jaipuria S., Dadabada P. A Review of Methods for Long Term Electric Load Forecasting. *Journal of Forecasting*, 2024, Vol. 44, pp. 1403–1423.

5. Brazil added 11 GW of new capacity in 2024, 91% of which were solar and wind. Available at: <https://www.enerdata.net/publications/daily-energy-news/brazil-added-11-gw-new-capacity-2024-91-which-were-solar-and-wind.html> (accessed 19.07.2025).

6. Chen Y., Hexeberg A., Rosendahl K., Bolkesjø T. Long-Term Trends of Nordic Power Market: A Review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 2021, Vol. 10, pp. 1–23.

7. Hosein G., Hosein, P., Bahadoorsingh S., Martinez R., Sharma C. Predicting Renewable Energy Investment Using Machine Learning. *Energies*, 2020, Vol. 13, p. 4494.

8. Karumanchi H., Santhosh M. Forecasting of Hydropower Generation of India using Autoregressive Integrated Moving Average Model. *Journal of Algebraic Statistics*, 2022, Vol. 13, No. 3, pp. 3124–3128.

9. Lindberg K., Seljom P., Madsen H., Fischer D., Korpås M. Long-Term Electricity Load Forecasting: Current and Future Trends. *Utilities Policy*, 2019, Vol. 58, pp. 102–119.

10. Lopes M. P. C., Nogueira T., Santos A. J. L., Branco D. C., Poursan H. Technical Potential of Floating Photovoltaic Systems on Artificial Water Bodies in Brazil. *Renewable Energy*, 2022, Vol. 18, pp. 1023–1033.

11. Mystakidis A., Koukaras P., Tsalikidis N., Ioannidis D., Tjortjis C. Energy Forecasting: A Comprehensive Review of Techniques and Technologies. *Energies*, 2024, Vol. 17, p. 1662.

12. Sarpong S., Agyei A. Forecasting Hydropower Generation in Ghana Using ARIMA Models. *International Journal of Statistics and Probability*, 2021, Vol. 11, pp. 20–30.

13. Shiwakoti R., Charoenlarnnopparut C., Chapagain K. Time Series Analysis of Electricity Demand Forecasting Using Seasonal ARIMA and an Exponential Smoothing Model. *International Conference on Power and Renewable Energy Engineering (PREE)*, 2023, pp. 131–137.

14. What does solar energy bring to Brazil? Available at: <https://www.absolar.org.br/en/home-en/> (accessed 19.07.2025).

15. Zeng S., Liu Y., Liu C., Nan X. A Review of Renewable Energy Investment in the BRICS Countries: History, Models, Problems and Solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, Vol. 74, pp. 860–872.

Поступила: 17.08.2025

Принята к печати: 14.10.2025

Сведения об авторах

Екатерина Павловна Мочалина

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры высшей математики
РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова»,
109992, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: Mochalina.EP@rea.ru

Галина Владимировна Иванкова

старший преподаватель кафедры
высшей математики
РЭУ им. Г. В. Плеханова.

Адрес: ФГБОУ ВО «Российский экономический
университет имени Г. В. Плеханова»,
109992, Москва, Стремянный пер., д. 36.
E-mail: Ivankova.GV@rea.ru

Сергей Анатольевич Смирнов

кандидат экономических наук, доцент
кафедры экономики предприятия
и предпринимательства СПбГУ;
приглашенный исследователь
кафедры операций и управления
качеством Дурбанского технологического
университета.

Адрес: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет»,
199034, Санкт-Петербург,
Университетская набережная, д. 7/9;
Дурбанский технологический университет,
Дурбан, 41 ML Султан Род, Южная Африка.
E-mail: s.a.smirnov@spbu.ru

Андреа Сурза Сантос

профессор Федерального университета
Рио-де-Жанейро.

Адрес: Федеральный университет
Рио-де-Жанейро, 21941, Бразилия,
Рио-де-Жанейро, Авеню Орасио Маседо, 2030.
E-mail: andrea.santos@pet.coppe.ufrj.br

Information about the authors

Ekaterina P. Mochalina

PhD, Associate Professor of the Department
for Higher Mathematics of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992,
Russian Federation.
E-mail: Mochalina.EP@rea.ru

Galina V. Ivankova

Senior Lecture of the Department
for Higher Mathematics of the PRUE.

Address: Plekhanov Russian University
of Economics, 36 Stremyanny Lane,
Moscow, 109992,
Russian Federation.
E-mail: Ivankova.GV@rea.ru

Sergey A. Smirnov

PhD, Associate Professor of the Department
for Enterprise Economics and Entrepreneurship
of the SPbSU;

Honorary Research Associate
of the Department of Operations
and Quality Management
of the Durban University of Technology.
Address: Saint-Petersburg State University,
7/9 Universitetskaya Embankment,
Saint Petersburg, 199034,
Russian Federation;
Durban University of Technology,
41 ML Sultan Road, Durban, South Africa.
E-mail: s.a.smirnov@spbu.ru

Andrea Souza Santos

D.Sc. COPPE of the Federal University
of Rio de Janeiro.

Address: Federal University of Rio de Janeiro,
2030 Horácio Macedo Avenue,
Rio de Janeiro, 21941, Brazil.
E-mail: andrea.santos@pet.coppe.ufrj.br