

Рыбакова Виктория Александровна

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Самойлов Дмитрий Олегович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Куваев Андрей Александрович

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

**Прогнозирование изменения структуры потребления электроэнергии, как
инструмент управления спросом**

Аннотация. В статье была проанализирована текущая структура электропотребления в Российской Федерации, выделены основные группы потребителей, учитываемые при составлении электробаланса. Авторы выявили основные факторы и темпы развития новых крупных потребителей и, связанный с ними темп роста электропотребления в среднем по РФ. В каждом из регионов новые потребители могут демонстрировать неравномерный рост, ввиду разрывов в экономическом развитии субъектов и климатических характеристик регионов. По результатам исследования был смоделирован прогноз развития электропотребления новых крупных потребителей: майнинговых ферм, центров обработки данных, электромобилей. Также был проведен многофакторный анализ факторов, оказывающих влияние на величину потребления электрической энергии теми или иными потребителями. Результаты анализа позволяют с некоторой точностью прогнозировать увеличение энергопотребления, вместе с тем определяя возможность энергосистемы к его обеспечению. Изменение величины и, что важнее, структуры потребления в силу сезонности и подверженности влиянию внешних факторов, способно оказать воздействие на энергосистему и надёжность энергоснабжения. Авторы предлагают учесть предпосылки изменения электробаланса и многофакторный анализ для повышения готовности энергосистемы к стабильной работе.

Ключевые слова: структура электропотребления, изменение электробаланса, центры обработки данных, майнинговые фермы, рынок электромобилей

Rybakova Viktoria Aleksandrovna

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Samoylov Dmitry Olegovich

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Kuvaev Andrey Aleksandrovich

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Forecasting changes in the structure of electricity consumption as a demand
management tool**

Abstract. The article analyzes the current structure of electricity consumption in the Russian Federation, identifies the main consumer groups that are taken into account when compiling an electrical balance. The authors have identified the main factors and the pace of development of new large consumers and the associated growth rate of electricity consumption on average in the Russian Federation. In each of the regions, new consumers may show uneven growth due to gaps in the economic development of the regions and the climatic characteristics of the regions. Based on the results of the study, the forecast of the development of electricity consumption of new large consumers was modeled: mining farms, data centers, electric vehicles. A multifactorial analysis of the factors influencing the amount of electricity consumption by certain consumers was also

conducted. The results of the analysis allow us to predict with some accuracy the increase in energy consumption, while determining the ability of the energy system to provide it. Changes in the amount and, more importantly, the structure of consumption due to seasonality and exposure to external factors can affect the energy system and the reliability of energy supply. The authors propose to take into account the prerequisites for changing the electrical balance and multifactorial analysis to increase the readiness of the power system for stable operation.

Keywords: the structure of electricity consumption, changes in electrical balance, data centers, mining farms, the electric vehicle market

Введение

Научно-технический прогресс (НТП) активно меняет структуру электропотребления, так как развитие новых технологий уже привело к появлению потребителей с уникальными характеристиками. Согласно утвержденному сценарию развития экономики и увеличения электрификации РФ на период с 2025 по 2040 годы, ожидается, что спрос на электроэнергию в регионах будет расти со среднегодовыми темпами 1,4–1,8 %. Согласно же исследованию сценарного развития электрификации Института энергетических исследований Российской академии наук, дополнительный спрос на электроэнергию составит 4,5% от общего объема электропотребления в плановом сценарии, 6,5% в ускоренном и 7,8% в интенсивном. Авторы выдвигают гипотезу, что центры обработки данных (ЦОД), майнинговые фермы (МФ) и рынок электромобилей (ЭМ) могут стать ключевыми элементами этой трансформации, влияя как на общий объем потребляемой электроэнергии, так и на распределение нагрузки в энергосистеме. Эти категории потребителей объединяет высокая энергозатратность, что требует адаптации существующих энергетических балансов и инфраструктуры для прогнозирования и обеспечения надежности. Для наглядности данного факта приведена диаграмма на рисунке 1, сопоставляющая затраты электроэнергии, приходящиеся на группу «Население», выделяемую в электробалансе, и затраты новых электропотребителей



Рисунок 1 – Потребление электроэнергии 2023 год, млн кВт*ч в РФ

Затраты электроэнергии на электромобили, согласно исследованиям, на 2023 составляют 57 млн кВт*ч на порядок 40 тыс. электромобилей, что составляет 0,005% от потребления э/э в России. Однако в дальнейшем прогнозируется рост данной доли до 0,1% (1 млрд кВт*ч) по мере роста парка электрокаров до 660 тыс. штук.

Необходимость повышения гибкости управления потреблением и доказывают недавние прецеденты аварийных ситуаций в РФ из-за резких скачков в электропотреблении и неспособности электросетевого комплекса к митигации подобных явлений. Так, по данным СО ЕЭС, повсеместные отключения в энергодефицитной ОЭС Юга летом 2024 года были усугублены аварийным отключением 1,3 ГВт мощности на Ростовской АЭС, резким

ростом электропотребления в регионе, высокими температурами наружного воздуха. Данные факты привели крупному дисбалансу мощности в регионе и поставили под угрозу надежность системы. Несмотря на исправление ситуации, проблема энергодефицита как нельзя остро стоит для южного региона РФ, что предопределяет необходимость реализации механизмов сдерживания в данной энергосистеме изменений структуры энергобаланса с ЦОД и МФ.

Объектом исследования является структура баланса электропотребителей.

Предметом исследования выступают прогнозы развития новых видов потребителей электроэнергии, таких как: рынок электромобилей РФ, центры обработки данных и майнинговые фермы и изменения, вносимые ими в перспективные энергетические балансы.

Целью работы является прогнозирование влияния новых электропотребителей на структуру и параметры энергобаланса.

Задачи исследования: выделить основные группы потребителей электроэнергии в электробалансе Российской Федерации и провести сравнительный анализ изменения российского электробаланса с электробалансом зарубежных стран; выявить основные тенденции в развитии новых электропотребителей и отразить предпосылки к дальнейшей динамике их развития с учетом сценарного подхода; произвести оценку рисков развития данных потребителей.

Методы и материалы исследования

Для проведения исследования использовались следующие методы научного познания: систематизация, теоретическое обобщение и данных производился на основе открытых источников информации, платформ государственной статистики.

Литературный обзор

Исследованием энергобалансов занимаются научные институты, университеты, государственные и частные энергетические компании, а также международные организации. Особенность изучения таких оперативно возникающих проблем в том, что их надо решать в сжатые сроки, о чем говорилось на XVI Международном Энергетическом Форуме EnergySpace. Факторный и трендовый подход к прогнозированию также рассматривается исследователями.

Исследованием проблемы прогнозирования развития электропотребления занимается Институт энергетических исследований РАН и Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. Результаты прогноза говорят о фундаментальных изменениях энергетического рынка, причиной которого стал эффект накопившихся технологических инноваций. В ходе исследования авторы приходят к заключению, что тенденция активной электрификации производственных, транспортных и коммунально-бытовых процессов даже при двойной интенсификации экономии электроэнергии увеличит ее потребление к 2040 г. на 36 %.

Директор центра организации научной деятельности и управления проектами Института экономики естественных монополий РАНХиГС, в своем исследовании говорит об отсутствии унифицированной методики прогнозирования спроса на электроэнергию. Самым часто используемым является эконометрический подход, однако объективности оценки препятствует ограниченность статистических данных. Ещё одной проблемой становится комплексность системы сбора, агрегирования и публикации отраслевой отчетности, применение дифференцированных методик расчета ключевых показателей функционирования отрасли, а также проводимое в последние годы реформирование структур, отвечающих за сбор и агрегирование статистических данных (Росстат, ФАС России и др.) [2].

Изучение проблемы происходит как в масштабе всего государства, так и на региональном уровне. Например, по результатам анализа спальных районов мегаполиса исследователями отмечается преобладание в структуре электропотребления бытового сектора и сферы услуг [1]. Анализ же структуры электропотребления Республики Тыва показывается преобладание промышленного, жилищно-коммунального,

сельскохозяйственного сектора, транспорта и связи, а также энергодефицитность региона [5].

Аналитиками отмечается использование сценарного подхода как основного метода при долгосрочном прогнозировании. Он строится на экспертных оценках, отвечающих на вопросы о формировании той или иной ситуации и ее временных параметрах, о наличии у экономической системы научно-технического и организационного потенциала для ее преодоления [7]. В основу сценариев ложатся темпы роста ВВП, конечного потребления и инвестиций в основной капитал, структурой и объемами экспорта и импорта продукции, демографической политикой и др. [24]. Помимо этого, применение находят вспомогательные поисковые процедуры, предоставляющие данные для корректировки сценариев экспертным группам. Так, применение в прогнозах на долгосрочную перспективу метода простой экстраполяции тенденции может выявить поворотные точки, за которыми невозможно ресурсное обеспечение для удовлетворения спроса на электроэнергию.

Исследователи подчеркивают значительные изменения в энергосистеме: снижение объема промышленной нагрузки, рост нагрузки непромышленных потребителей (население и коммерческие структуры), что приводит к увеличению неравномерности нагрузки в течение года, а также суточной нагрузки [3].

Научный труд исследователей Новосибирского государственного технического университета ставит в фокус внимания вопрос об актуальности текущих прогнозов электропотребления. При прогнозировании существует пороговое значение точности в 2–3%. В 2000 году модели электропотребления давали погрешность в 3%, на момент 2017 года этот показатель достиг уже 4–5%. Это может значить только то, что появились новые факторы, влияющие на электропотребление [9].

Многие авторы рассматривают возможность применения искусственного интеллекта для прогнозного моделирования структуры регионального электропотребления, приводится зарубежный опыт данной практики. Для объективности и точности прогноза посредством данного метода автор подчеркивает важность использования полных входных параметров, отражающих, как инфраструктурное состояние, так и социально-экономические аспекты в регионе [4]. Данный инструмент обладает рядом преимуществ: обработка больших объемов данных, учет сложных зависимостей, адаптивность и обучение на ходу, автоматизация и масштабируемость [8]. Возможность применения искусственных нейронных сетей рассматривается и в контексте прогнозирования суточных графиков нагрузки. Различные типы ИНС дают минимальную погрешность прогнозирования в разные часы суточного графика. Унифицировать ИНС для прогноза минимальной погрешности в течение всего периода прогнозирования невозможно, поэтому повышение достоверности прогноза электропотребления может дать лишь объединение нейронных сетей в многоуровневую систему [30].

В исследовании Института энергетических исследований текущий (ИНЭИ) РАН текущий этап развития знаменуется как «новая технологическая революция», которая влечет за собой не только рост спроса на э/э, но и изменение её структуры [25].

Результаты и обсуждение

В последние годы в структуре электропотребления России появились «новые» крупные потребители электроэнергии, такие как ЦОД, МФ и электромобили. Несмотря на то, что их фактическое появление в РФ было не одновременным (электромобили 2010 г., первые майнинговые фермы – 2017 г., ЦОД – конец 90-х годов прошлого столетия), эффекты от их деятельности становятся ощутимыми только сейчас ввиду глобальной электрификации и цифровизации общества.

Структура электропотребления главным образом определяется нагрузкой, оказываемой промышленностью (более половины потребляемой э/э) и населением. За 2023 год экономикой Российской Федерацией было потреблено 1 172 288,30 млн кВт*ч

электроэнергии. Структура электропотребления за 2023 год на основе данных Федеральной государственной службы статистики приведена на рисунке 2.

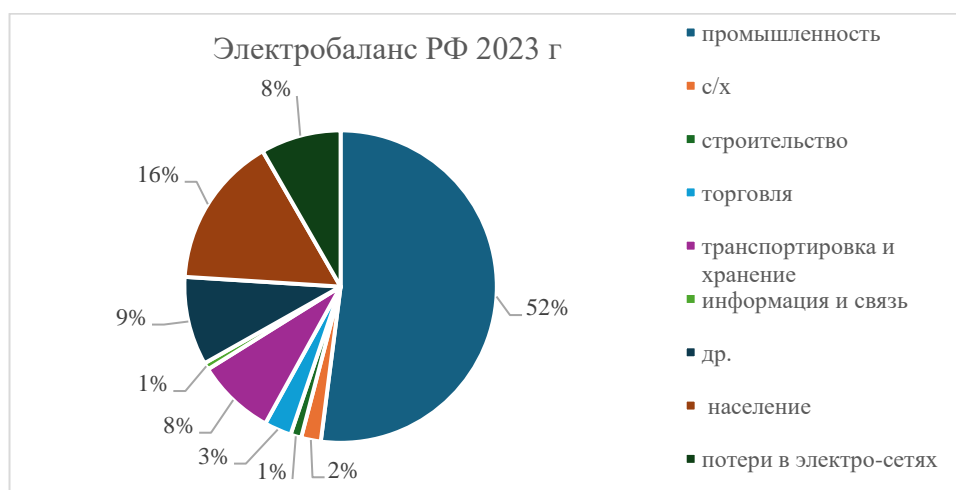


Рисунок 2 – Электробаланс Российской Федерации, 2023 год³

Каждая из групп классической структуры электробаланса обобщает эффект по следующим видам потребителей/направлениям потребления э/э:

1. Промышленность: добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений.
2. Сельское хозяйство, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство.
3. Строительство зданий жилого и нежилого фонда, объектов инфраструктуры, облагораживание территорий.
4. Оптовая и розничная торговля, ремонт автотранспортных средств.
5. Транспортировка и хранение, логистические услуги.
6. Деятельность в области информации и связи.
7. Бытовое потребление: городское и сельское население.
8. Потери в электросетях.
9. Другие виды экономической деятельности.

Многие из упомянутых новых потребителей не всегда правильно классифицируются в рамках существующих групп, что приводит к искажению данных о потреблении и, как следствие, к недостаточной эффективности планирования энергетических ресурсов. Например, крупные ЦОД могут оказаться на грани между промышленным, коммерческим и прочим потреблением, и их истинные нагрузки не всегда отражены в актуальных отчетах; проблема «серого майнинга» приводит к учету потребления электроэнергии данными потребителями в счет потребления электроэнергии населением. При этом характерные режимы потребления у них разные.

Прогнозирование электропотребления можно рассматривать как прием декомпозиции при решении сложной задачи по частям, то есть как промежуточный этап исследования электроэнергетического баланса территории [6].

Использование цифровых технологий, связанное с мониторингом, получением, обработкой больших объемов данных во всех сферах экономики и жизни населения уже сегодня приводит к потреблению более 5% электроэнергии в мире и предполагается дальнейший рост этого потребления [10]. В течение последних лет наблюдается стремительный рост числа ЦОД, что является ключевым фактором глобализации данных и цифровой трансформации общества. ЦОДы обеспечивают хранение, обработку и передачу огромных объемов информации, поддерживая работу облачных сервисов, социальных

сетей, онлайн-торговли и других цифровых услуг.

Согласно данным Mordor Intelligence, в 2024 году объем мирового рынка ЦОД оценивается в 45,30 тыс. МВт, а к 2029 году ожидается его увеличение до 71,98 тыс. МВт, что соответствует среднегодовому темпу роста 9,70%.

ЦОДы являются неотъемлемой частью цифровой экономики, обеспечивая хранение, обработку и передачу огромных объемов информации. Согласно данным iKS-Consulting, по итогам 2023 года в России в коммерческих ЦОДах введено 70100 стойко-мест, что на 20,9% больше, чем годом ранее. Крупнейшие операторы, такие как «Ростелеком-ЦОД», IXcellerate и DataPro, активно увеличивают свои мощности.

На данный момент Россия входит в ТОП-10 стран по количеству дата-центров, занимая 9 место (по состоянию на март 2024 г.) и ежегодно показывает значительные темпы роста: с 2017–2021 гг – прирост в среднем 10,7% ежегодно, к концу 2023 года рост на 20%. К концу 2024 года прогнозируется рост на 30%. Данная динамика приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Количество стойко-мест ЦОД в РФ, 2017–2024 гг, шт.

Согласно приведенной статистике, объем мощностей ЦОД увеличивается от года к году как в абсолютном, так и относительном значении (увеличиваются темпы прироста). Сектор бизнеса реагирует на растущий спрос: в 2022 году компанией BitRiver в Иркутской области был введен ЦОД мощностью 87,2 МВт. Предполагалось, что он будет доступен для размещения

вычислительных мощностей в том числе для клиентов из зарубежных стран, но события 2022 года ставят под сомнение реализацию данных планов. В первом полугодии 2023 года компанией был запущен ещё один ЦОД на 100 МВт в Бурятии. Это говорит о том, что даже несмотря на ограничения в сотрудничестве с зарубежными странами, существует внутренний спрос на мощности ЦОД, который готов покрывать введение новых мощностей.

Из числа наиболее заметно прогрессирующих электропотребителей в мире выделяется и сектор электромобилей, который отдельно в балансе не обозначен. В настоящее время внедрение электротранспорта постепенно вводится во все сферы жизни: от самостоятельного передвижения до доставки продуктов до дома с помощью роботов-доставщиков (Яндекс) [29]. ЭМ стремительно интегрируются в транспортную систему, что приводит к значительным изменениям в структуре транспорта и требует развития соответствующей инфраструктуры. Рост числа ЭМ стимулирует расширение сети электрозарядных станций (ЭЗС). Анализ рынка ЭМ развитых стран говорит о том, что перевод 1% автопарка на электрическую тягу влечет за собой рост электропотребления на 0,25% [14].

В России наблюдается динамичное развитие зарядной инфраструктуры. По данным на июнь 2024 года, количество публичных ЭЗС достигло 7410 единиц, что на 66,6% больше по сравнению с началом года. И это несмотря на санкционные ограничения. В некоторых регионах существуют конкретные целевые показатели количества ЭЗС: в Санкт-Петербурге к концу 2024 года планируется установить 311 точек, из которых как минимум 106 будут быстрыми. К концу 2026 года зарядить электрокар в городе можно будет на 511 станциях - темп прироста составит 64. Это свидетельствует о стремительном росте сети зарядных станций, необходимой для удовлетворения потребностей увеличивающегося парка электромобилей.

На 2022 год доля электромобилей на транспортном рынке составляла 0,4%. За год этот показатель увеличился в 3 раза и к 2023 году составил 1,2%. В период с 2023 по 2024 гг произошел скачок в уже заданном повышательном тренде количества приобретенных ЭМ. На начало 2024 год на российских дорогах насчитывается порядка 40 тыс. электромобилей (по данным «Автостат»). Для наглядности динамики приведен рисунок 4.

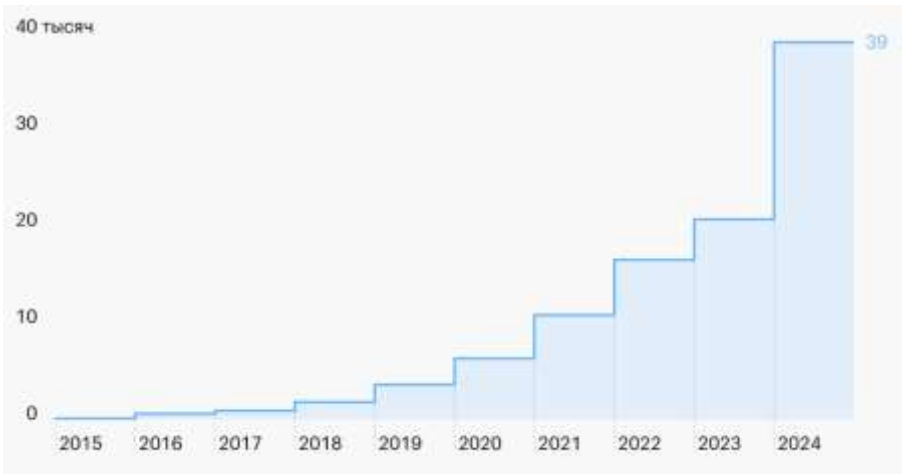


Рисунок 4 – Количество электромобилей в РФ, 2015–2024 гг

То есть можно выявить ряд параметров, определяющих особенности электропотребления, относимого к ЭМ. На основании анализа представленных данных были определены сценарные условия развития рынка ЭМ (таблица 1).

Таблица 1 – Темпы прироста парка электромобилей

2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Долгосрочный темп прироста ¹⁸
0,75	0,86	2,23	0,48	0,63	0,61	0,23	0,98	0,30

Подобные темпы прироста доли ЭМ приближают «точку перелома» - макроэкономическая ситуация на рынке, когда новый продукт овладевает долей рынка от 3 до 5%. Когда достигается этот уровень, рост рынка обусловлен больше действиями покупателей, нежели усилиями производителей. Как только процент превышает 15%, производители стремительно переходят к выпуску нового продукта, а при достижении 40% происходит изменение в норме потребления – рынок «ломается».

Если учесть среднегодовой темп прироста в 30,2%, прогнозируемый аналитиками, и аналогичный темп прироста на дорогах автомобилей с ДВС в 2,3%, становится возможным построение прогноза по развитию автомобильного парка России. На рисунке 5 приведен

смоделированный прогноз методом индексации годовых показателей количества электромобилей, предлагаемых Центром экономики рынков.

Исходя из построенной диаграммы можно сделать вывод: при сохранении темпов прироста «точка перелома» будет достигнута к 2040–2041 гг (доля электрокаров составит 4,8–6,2%).

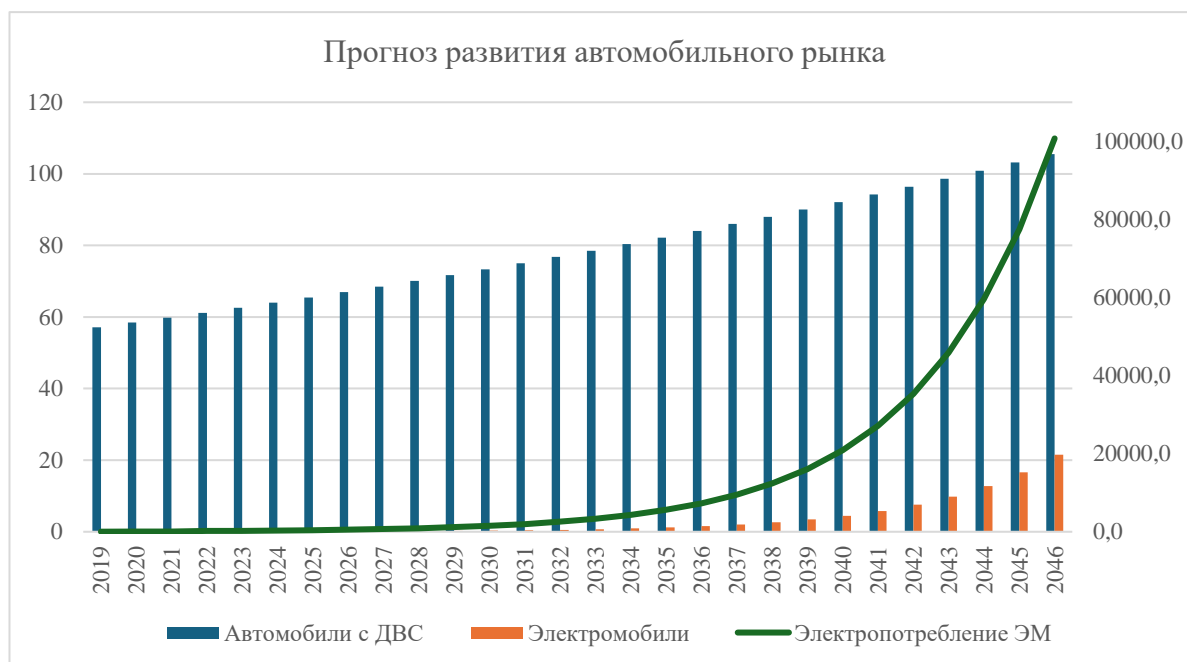


Рисунок 5 – Авторский прогноз развития автомобильного рынка РФ, млн шт.

Данный тренд может привести к снижению доли транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания и увеличению доли ЭМ [13]. В соответствии с прогнозом на рисунке 4 становится возможным смоделировать рост электропотребления. Введем несколько допущений: в среднем автомобиль в РФ за год преодолевает путь в 18 700 км, один электрокар потребляет 25 кВт*ч на 100 км пути. Таким образом, за год один электромобиль потребляет 4675 кВт*ч электроэнергии.

Перемножая рассчитанное потребление э/э на количество ЭМ, отображенных на рисунке 3, получаем график роста электропотребления (зеленая линия рис. 5).

Предпосылкой дальнейшего роста объема ЭМ также являются стратегии компаний-производителей. Крупнейшие автопроизводители, такие как Volkswagen (VW), Daimler, альянс Renault-Nissan-Mitsubishi и многие другие объявили о планах по агрессивному внедрению электромобилей в свой модельный ряд. Можно говорить о массовой смене парадигмы и о начале перехода в сторону электромобилей почти всеми крупными автоконцернами [15]. В исследованиях также рассматривается возможность предложения льгот для производителей и потребителей «нового товара» (снижение налога на прибыль для компаний-производителей; бесплатный проезд по платным дорогам, освобождение от НДС, субсидирование, льготный кредит на покупку ЭМ до достижения определенной доли на рынке) [16], [26].

При достижении доли парка ЭМ свыше 30% электрокары могут стать не только потребителями ресурса, но распределенным накопителем энергии. Данная концепция носит название «vehiclegrid». Владельцы ЭМ смогут присоединяться к электросети, отдавая электроэнергию обратно в сеть и получая при этом дополнительный доход, или использовать её запасы для нужд домохозяйств [23]. В отличие от ЦОД и майнинговых ферм, которые характеризуются постоянной электрической нагрузкой, ЭМ окажут сильное влияние на конфигурацию суточных графиков нагрузки [27].

Развитие данного рынка больше зависит от государственной политики (нежели ЦОД и майнинг-фермы) ввиду необходимости обустройства инфраструктуры в регионе присутствия, поэтому за пределами центральных регионов (Москва, СПб) и некоторых других (Краснодарский край и др.) инфраструктура для электромобилей либо полностью отсутствует, либо не предоставляет угрозы для регионального электрического баланса [28].

Маневренность и хаотичность спроса со стороны майнинговых ферм представляют собой значительную проблему для энергетических систем, требуя разработки адаптивных стратегий управления нагрузкой и внедрения современных технологий мониторинга и прогнозирования потребления электроэнергии. Постепенное развитие искусственного интеллекта способно ускорить адаптацию.

Их энергопотребление зависит от множества факторов, включая стоимость криптовалют, сложность вычислений и законодательные условия в конкретных регионах. Правовое регулирование майнинга остается сложной и актуальной темой - ситуация в этой области постоянно меняется, охватывает вопросы налогообложения и финансовой деятельности майнеров [17]. В периоды роста цен на криптовалюты наблюдается увеличение числа МФ и, соответственно, резкий рост потребления электроэнергии. Например, в 2021 году, когда стоимость биткоина достигла рекордных значений - в феврале 2021 года объем рыночной капитализации BTC впервые в истории превысил \$1 трлн²¹. В этот период энергопотребление МФ в России составило от 2 до 2,5 ГВт, что сопоставимо с потреблением крупных промышленных предприятий.

По разным оценкам, объем легального майнинга к концу 2022 г. мог составлять от 1 до 2,5 ГВт мощности, т. е. от 0,4 до 1% от установленной мощности в РФ, при этом 90% майнинга в РФ носит промышленный характер [20]. Объем «серого майнинга» может составлять до 400 МВт (0,2% от установленной мощности). Случаи «серого майнинга» выявлены в 20 регионах России [19]. Например, уровень электропотребления в Иркутской области увеличился почти в 4 раза из-за факта наличия «серого майнинга» [22]. Решением данной проблемы может стать выявление майнеров в общем объеме электропотребления населением посредством анализа представленных счетов на оплату. Для этого могут быть применены программные технологии, с помощью которых будут вычислены потребители с высоким уровнем электропотребления по отношению к средне потребленной электроэнергии [18].

В настоящее время, после длительного периода стагнации, биткоин ставит рекорды. Ввиду обостренной геополитической ситуации в ноябре 2024 года курс биткоина достиг рекордной отметки в 99 тыс. \$ (рисунок 6).



Рисунок 6 – Изменение курса биткоина за 2017–2024 гг

Ввиду неравномерности электрической нагрузки по ЕЭС РФ, для одного региона

легальный майнинг криптовалют – источник дополнительного дохода, для других же, районов энергодефицита, - источник негативных последствий, нежелательный потребитель [21].

Для анализа дальнейшего развития новых крупных потребителей электроэнергии авторами был проведен SWOT и PESTEL-анализ. По результатам анализа можно сделать следующие выводы: рынок ЭМ демонстрирует надежный рост благодаря внешним факторам, таким как поддержка государства и растущий интерес к устойчивым технологиям. Основные вызовы связаны с высокими затратами и ограниченным запасом хода, однако постоянные инновации помогут преодолеть эти препятствия. ЦОД обладают сильными сторонами, включая высокий спрос на облачные услуги и постоянные технологические достижения. Тем не менее, они сталкиваются с регулируемыми вызовами и растущими затратами на электроэнергию, что требует гибкости и эффективного управления. МФ имеют потенциал для высокой прибыльности, но должны тщательно отслеживать волатильность рынка криптовалют и законодательные изменения. В целом, все три сектора находятся на этапе активного развития, что требует адаптивной стратегии, инноваций и внимательного мониторинга внешних факторов для обеспечения устойчивого роста.

В современной практике управления рисками существует множество инструментов их количественной оценки, однако стремительное развитие рассматриваемых технологических направлений (ЦОД, майнинг-фермы, рынок электромобилей) требует оперативных методов мониторинга. Для обеспечения актуальности анализа был применен метод автоматизированного парсинга новостных каналов Telegram (РБК, Коммерсантъ, MarketTwits, vc.ru, Хабр, Энергетика и промышленность России). Данная выборка представляет собой наиболее релевантные источники оперативной информации по заданной тематике, освещающая экономические аспекты, аналитику промышленности, финансовые тренды, венчурные инвестиции, технологические инновации, тематику энергетики и экологии. В рамках исследования был реализован программный инструмент на языке Python, позволяющий осуществлять количественную оценку рисков на основе анализа текстового контента за период с января по июнь 2025 года. Методология включала категоризацию рисков по четырем группам (экономические, технологические, политические и социально-экономические) с последующим поиском релевантных новостных сообщений по заданным ключевым словам. Особенностью подхода стало сочетание широкого семантического охвата учет различных словоформ и синонимов с точной привязкой к предметной области, что обеспечило репрезентативность выборки. Полученные количественные показатели по каждой категории рисков позволяют оценить текущее состояние развития новых потребителей электроэнергии, значимость каждого риск-фактора. Полученные результаты приведены на рисунках 7–9.



Рисунок 7 – Авторская оценка групп рисков для майнинговых ферм

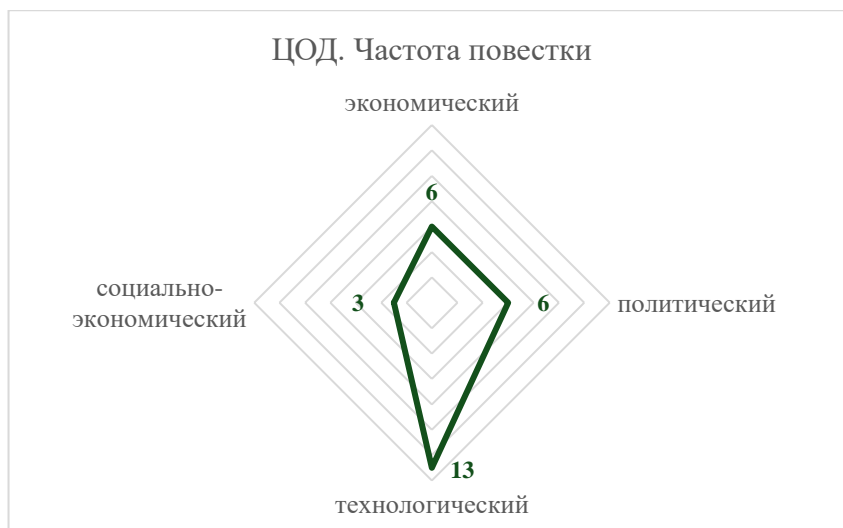


Рисунок 8 – Авторская оценка групп рисков для ЦОД

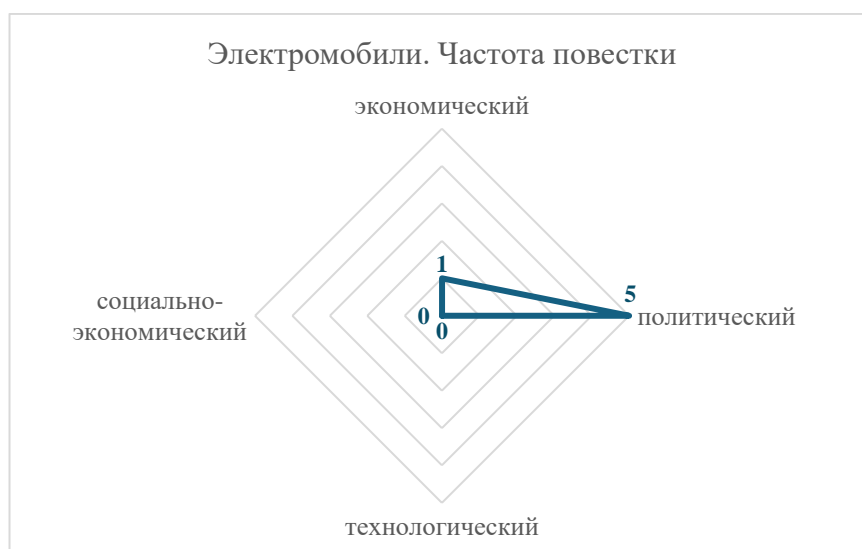


Рисунок 9 – Авторская оценка групп рисков для электромобилей

Проведенный анализ рисков выявил существенные различия в структуре риск-профилей потребителей электроэнергии. ЦОД демонстрируют преобладание технологических рисков, связанных с энергоэффективностью и отказоустойчивостью инфраструктуры, тогда как для майнинговых ферм наиболее значимыми оказались экономические риски: волатильности рынка криптовалют находит свое отражение на их деловой активности, а также политические риски – активно развивается ситуация на законодательном уровне. В случае электромобилей наблюдается распределение рисков с заметной долей политических факторов, обусловленных регуляторной средой, наложением санкций на зарубежных производителей. Полученные результаты позволяют дифференцированно подходить к разработке стратегий управления рисками для каждого типа энергопотребителей с учетом их специфических характеристик.

С учетом активного развития рассматриваемых в данном исследовании видов экономической деятельности выдвигается гипотеза: новые виды электропотребителей могут серьезно изменить баланс электропотребления как в целом в стране, так и в отдельных её регионах. Данная проблема требует исследования с целью дальнейшего прогнозирования спроса и учитывания данных прогнозов в системах и планах развития электроэнергетики.

Например, в Германии к 2030 г. электромобили увеличат энергопотребление примерно на 1% (что эквивалентно мощности 5 ГВт).

По прогнозам научно-исследовательского института электрической энергии (EPRI), ЦОД в США к 2030 году будут потреблять до 9% от всей электроэнергии, вырабатываемой в стране, по сравнению с 4% от общей нагрузки в 2023 году. Базирующаяся во Флориде компания NextEra Energy, крупный игрок отрасли возобновляемых источников энергии, заявила, что в ее очереди проектов находятся ЦОД, которые будут потреблять более 3 ГВт, что сопоставимо с обеспечением электроэнергией всех домов в штате Миннесота.

Бум новых потребителей электроэнергии вносит коррективы и в структуру производства э/э в США: происходит возрождение газовой энергетики в США. Новые газовые электростанции продолжают появляться, опровергая ожидания, что их бурный рост близок к концу.

Искусственный интеллект является крайне энергозатратным ресурсом: один запрос к ChatGPT требует примерно в десять раз больше электроэнергии, чем обычный поиск в Google. Консалтинговая компания Grid Strategies предсказывает общий рост спроса на электроэнергию в США на 4,7% за ближайшие пять лет, что вдвое превышает значения предыдущего года. Эти цифры также учитывают майнинг криптовалют и облачные вычисления, способствующие увеличению спроса в этом секторе.

На правительственном уровне разрабатываются программы по дальнейшему развитию в отрасли: в рамках программы COOLERCHIPS, реализуемой Агентством перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США, основное внимание уделяется коммерциализации инновационных технологий охлаждения для ЦОД. Национальные лаборатории Министерства энергетики США создали эксафлопсные вычислительные центры с коэффициентом энергоэффективности (PUE) 1,03, демонстрируя передовые методы повышения эффективности ЦОД. Чем ниже PUE, тем лучше. Оптимум – 1, и к этому значению уже приближаются лучшие дата-центры [11]. Министерство энергетики США также возглавляет инициативу «Повышение энергоэффективности на 20 лет», цель которой — повысить энергоэффективность микроэлектроники, необходимой для вычислений в ЦОД, в 1000 раз в течение 20 лет. Министерство энергетики США продолжает разрабатывать программы для поддержки владельцев ЦОД в области энергоэффективности и декарбонизации промышленности.

В контексте выявленных тенденций трансформации структуры электропотребления под влиянием новых энергоемких потребителей, особую актуальность приобретает систематизация мер по управлению спросом, направленных на обеспечение устойчивости энергосистемы. Анализ зарубежного и российского опыта регулирования позволяет выделить ключевые административные, экономические и технические инструменты, представленные в таблице 2, которые могут быть адаптированы с учетом региональных особенностей и специфики новых потребителей. Их внедрение требует комплексного подхода, сочетающего нормативное регулирование, экономическое стимулирование и технологическую модернизацию инфраструктуры.

Таблица 2 – Свод мер по управлению спросом на электроэнергию

Меры	Применение в РФ	Опыт зарубежных стран
Административные (правовые) меры		
Внедрение программ управления спросом (ПУС) для энергокомпаний	Ассоциации центров энергосбережения России	В США и ЕС законодательно закреплены требования к энергокомпаниям (Директива 2012/27/ЕС, Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA), [31])

Ограничение подключения новых нагрузок для предприятий, игнорирующих ПУС	Рассматривается как мера принуждения (Постановление Правительства РФ № 442 от 04.05.2012, [32])	В некоторых штатах США применяются аналогичные ограничения [32]
Штрафы за превышение лимитов потребления в пиковые часы	Не внедрено системно, но рассматривается (Приказ Минэнерго РФ № 400 от 01.07.2021)	Штрафы не предусмотрены, есть только меры по энергосбережению
Наложение полного запрета на вид деятельности	Не применяется относительно ЦОД, МФ, ЭМ	Запрет майнинга: Китай, Кувейт, Бангладеш, Гана, Египет, Зимбабве, Ирак, Катар Марокко, Боливия, Алжир, Непал, Пакистан и Вьетнам
Формирование рынка системных услуг	На стадии формирования рынок системных услуг (Федеральный закон от 26 марта 2003 г. № 35-ФЗ "Об электроэнергетике")	ЕС определяет вспомогательные услуги как «необходимые для функционирования системы передачи или распределения (электроэнергии)» (DIRECTIVE 2009/72/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 July 2009)
Экономические меры		
Дифференцированные тарифы (по времени суток, сезонам и объему потребления)	Частично применяется, но не повсеместно (Постановление Правительства РФ от 29 декабря 2011 г. № 1178 "О ценообразовании в области регулируемых цен (тарифов) в электроэнергетике", Приказ Федеральной антимонопольной службы от 30 сентября 2024 г. N 665/24 "О создании рабочей группы по вопросам установления и применения дифференцированных тарифов на электрическую энергию для населения по объемам потребления при Экспертном совете по электроэнергетике при Федеральной антимонопольной службе")	Широко используются в США (в зависимости от времени суток, сезона года или других факторов), ЕС (дифференциация связана с уровнем напряжения, но в ряде стран — ещё и с «группой» потребителя [33]), Таиланде (тарифы на электроэнергию зависят от муниципальных коэффициентов и количества потребления: чем меньше потребление — тем меньше тариф), Франция и Калифорния [34]
Тарифы «на прерывание нагрузки» (скидки за снижение потребления в пик)	Присутствуют инициативы [34]	Активно применяются в США (Florida Power and Light) [32]

Субсидии и льготы на энергоэффективное оборудование	Есть отдельные программы (Постановление Правительства РФ от 31 июля 2014 г. № 754 "О предоставлении субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на реализацию региональных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности и признании утратившими силу актов Правительства Российской Федерации", Постановление Правительства РФ от 17 июня 2015 года № 600)	В ЕС и США – налоговые льготы, скидки на технику [35]
Оплата снижения реактивной мощности	На сегодняшний день единой, универсальной и эффективной модели не разработано, есть предложения [36]	На сегодняшний день единой, универсальной и эффективной модели не разработано, есть предложения [36]
Технические и информационные меры		
Внедрение «умных» счетчиков (smart metering)	Применяется (Федеральный закон от 27 декабря 2018 г. № 522-ФЗ “О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с развитием систем учета электрической энергии (мощности) в Российской Федерации”)	Массово внедрены в ЕС (3-й энергетический пакт Европейского Союза), США, Китае
Маркировка энергоэффективности оборудования	Частично применяется (классы А++ и т. д.) (Постановление Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2009 г. № 1222)	В ЕС – обязательная маркировка бытовой техники (впервые введена Директивой 92/75/ЕЕС от 22 сентября 1992 г)
Образовательные программы по энергосбережению	Единичные инициативы	В США и ЕС – госпрограммы для школ и предприятий [37]
Системы автоматического управления нагрузкой (ADR)	В стадии тестирования	Широко применяются в ЕС (Регулируется Регламентом (ЕС) 139/2014 Европейской Комиссии, Директивой №2013/11/ЕС Европейского Парламента и Совета ЕС «Об альтернативном разрешении споров с участием потребителей»)

Закключение

По результатам исследования становится возможным построение прогноза по развитию электропотребления рассматриваемыми группами потребителей (рисунок 10,11).

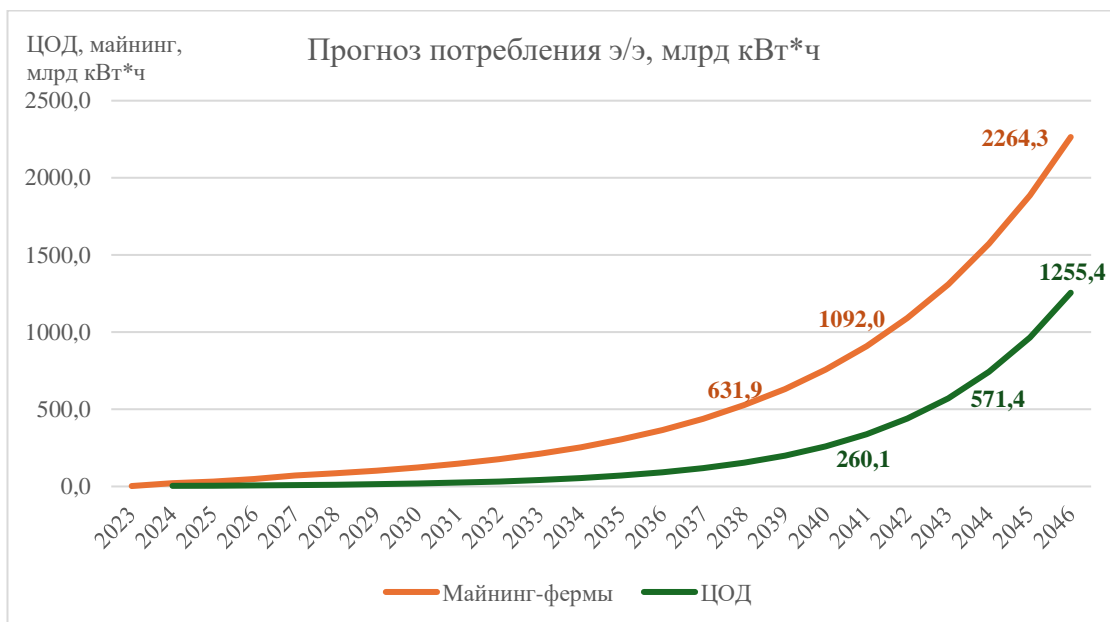


Рисунок 10 – Авторский прогноз развития электропотребления в РФ, млрд кВт*ч



Рисунок 11 – Авторский прогноз развития электропотребления в РФ, тыс. кВт*ч

Таким образом, поставленные задачи исследования были выполнены, ниже представлены ключевые выводы:

1) В наибольшей мере свое отражение на электробалансе РФ в дальнейшей перспективе при соблюдении долгосрочных темпов прироста найдут МФ и ЦОД. Несущественность влияния ЭМ на данном этапе относительно других крупных потребителей подтверждается и другими исследованиями [12].

2) Классическая структура электропотребления, основанная на традиционных отраслях, не учитывает появление новых крупных потребителей. Без адаптации к новым

условиям и учета потребностей современных технологий и бизнеса, текущая система может не справляться с возрастающим спросом. Это подчеркивает необходимость пересмотра государственной энергетической политики и развития инфраструктуры для обеспечения устойчивого электроснабжения. Дальнейшее развитие каждого из новых крупных потребителей подтверждается рядом предпосылок. Всесторонность приведенных предпосылок (законодательный уровень, геополитический ландшафт, социокультурное развитие общества и др.) говорит о том, что появление новых типов потребителей уже стало частью современного общества и носит не ситуативный характер, а значит, имеет значительные шансы укорениться в мировой экономике.

3) При разработке дальнейших стратегических планов по развитию необходимо учитывать опыт стран, где проблема появления новых крупных потребителей уже не нова.

Список источников

1. Прогноз потребления электроэнергии и мощности в Новой Москве на период до 2025 года / Ю. В. Агафонова, Н. В. Антонов, К. Э. Веденьев [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 1(64). – С. 70-74. – EDN JXCCSA.

2. Мозговая, О. О. Проблема прогнозирования развития распределительного электросетевого комплекса Российской Федерации / О. О. Мозговая // Экономическая политика. – 2017. – Т. 12, № 3. – С. 210-221. – DOI 10.18288/1994-5124-2017-3-08. – EDN YUNPYD.

3. Макоклюев, Б. И. Структура и тенденции электропотребления энергосистем России / Б. И. Макоклюев // Энергия единой сети. – 2012. – № 4(4). – С. 56-61. – EDN VXCKVN.

4. Блохин, А. А. Возможности использования нейросети для прогнозного моделирования структуры регионального электропотребления / А. А. Блохин // Фёдоровские чтения - 2019, Москва, 20–22 ноября 2019 года / Под общей редакцией Б.И. Кудрина, Ю.В. Матюниной. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2019. – С. 23-26. – EDN YBGVUG.

5. Анализ функционирования электроэнергетики Республики Тыва / Ю. Ч. Ондар, А. С. Кысыдак, А. М. Ондар [и др.] // Вестник Тувинского государственного университета. №3 Технические и физико-математические науки. – 2023. – № 1(106). – С. 28-36. – DOI 10.24411/2221-0458-2023-01-28-36. – EDN XSANMO.

6. Пинягина, Е. А. Мониторинг и прогноз электропотребления как элемент формирования электроэнергетической политики / Е. А. Пинягина, Н. Л. Петшак // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 10(73). – С. 258-262. – EDN PEXDYF.

7. Гущина, О. А. Прогнозирование электропотребления для целей энергосбытовой компании / О. А. Гущина // Studium. – 2012. – № 1-2(22-23). – С. 2. – EDN VIMPDZ.

8. Будникова, И. К. Нейросетевые технологии моделирования прогноза электропотребления в условиях рынка / И. К. Будникова, Т. И. Латыпов // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 10. – С. 106-111. – DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_10_106. – EDN BRPLKR.

9. Биганина, Е. В. Точность прогнозов электропотребления: почему вопрос остается актуальным? / Е. В. Биганина, Ю. В. Дронова // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая" : Конференция проходит при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Кемерово, 18–21 апреля 2017 года / Ответственный редактор Костюк Светлана Георгиевна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 21011. – EDN ZQVUXT.

10. Гальперова, Е. В. Анализ перспектив применения цифровых технологий в секторах экономики и их влияния на энергопотребление / Е. В. Гальперова // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2019. – № 4(16). – С. 20-30. – DOI 10.25729/2413-0133-2019-4-02. – EDN XHGRVN.

11. Носов, Н. ЦОДы будущего: основные тенденции развития / Н. Носов // Интернет изнутри. – 2022. – № 17. – С. 18-22. – EDN CCLUGG.
12. Булавин, Н. Д. Электромобили и их влияние на современную энергетику / Н. Д. Булавин // Завалишинские чтения'24 : Сборник докладов XIX Международной конференции по электромеханике и робототехнике, Санкт-Петербург, 16–17 апреля 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2024. – С. 46-48. – EDN BSYTFS.
13. Гительман, Л. Д. Электрификация как драйвер развития "Умных городов" / Л. Д. Гительман, М. В. Кожевников // Экономика региона. – 2017. – Т. 13, № 4. – С. 1199-1210. – DOI 10.17059/2017-4-18. – EDN ZXQKFF.
14. Бушуев, В. В. Развитие "умных" городов: электротранспорт "умного" мегаполиса / В. В. Бушуев, Д. А. Соловьев, Л. А. Шилова // Вестник гражданских инженеров. – 2018. – № 4(69). – С. 167-174. – DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-167-174. – EDN YLHKVF.
15. Ростовский, Й. К. Анализ инвестиционных планов по выпуску электромобилей крупнейшими мировыми автоконcernами / Й. К. Ростовский // Ученые записки Международного банковского института. – 2020. – № 1(31). – С. 71-87. – EDN KOVUKC.
16. Бучнев, А. О. Государственное стимулирование перехода на электромобильный транспорт: тенденции мирового опыта / А. О. Бучнев, О. А. Бучнев // Вестник РАЕН. – 2023. – Т. 23, № 2. – С. 125-131. – DOI 10.52531/1682-1696-2023-23-2-125-131. – EDN ABOZZN.
17. Михеев, М. Д. Майнинг криптовалют как проблема в сфере энергетики России / М. Д. Михеев // Диспетчеризация и управление электроэнергетике : Материалы Международной молодежной научно-практической конференции, посвященной 55-летию КГЭУ, Казань, 08–10 ноября 2023 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. – С. 553-555. – EDN ZBLBZT.
18. Дулесова, Н. В. Анализ потребления электроэнергии майнинговыми фермами и сравнительные оценки стоимости электроэнергии по разным тарифам / Н. В. Дулесова, Е. В. Иванова // Управленческий учет. – 2022. – № 12-3. – С. 939-945. – DOI 10.25806/uu12-32022939-945. – EDN FENLUM.
19. Меры по снижению хищения энергоресурсов и возможности регулирования тарифов для отдельных категорий потребителей / М. Т. Плиева, Т. Т. Гудиев, Л. Э. Рагимова, Л. И. Рагимова // Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник докладов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции с международным участием, Владикавказ, 24–26 мая 2021 года. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 2021. – С. 256-260. – EDN BYMDDW.
20. Догуаб, А. Прогнозирование как фактор надежности энергосистемы / А. Догуаб // Энергетическая политика. – 2023. – № 4(182). – С. 88-93. – DOI 10.46920/2409-5516_2023_4182_88. – EDN YSEYXM.
21. Прасол, Д. А. Анализ влияния добычи криптовалют на энергетическую систему / Д. А. Прасол, Д. А. Ус // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения) : Сборник докладов Международной научно-практической конференции, Белгород, 23 ноября 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. – С. 932-935. – EDN TPROEE.
22. Третьякова, С. А. Роль криптовалюты в современной экономике / С. А. Третьякова, Н. В. Котельников, Н. Г. Уразова // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2022. – № 6-1. – С. 170-175. – DOI 10.17513/vaael.2261. – EDN OTMPQK.
23. Мазурова, О. В. Электромобили: проблемы и перспективы / О. В. Мазурова // Энергия: экономика, техника, экология. – 2019. – № 12. – С. 33-37. – DOI 10.7868/S0233361919120061. – EDN DGPRCI.
24. Гальперова, Е. В. Методический подход к прогнозированию спроса на электроэнергию с учетом региональных особенностей в условиях роста неопределенности

/ Е. В. Гальперова, О. В. Мазурова // Фёдоровские чтения — 2020: L Международная научно-практическая конференция с элементами научной школы, Москва, 17–20 ноября 2020 года. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 3-11. – EDN FHRBSQ.

25. Filippov, S. New Technological Revolution and Energy Requirements / S. Filippov // Forsajt. – 2018. – Vol. 12, No. 4. – P. 20-33. – DOI 10.17323/2500-2597.2018.4.20.33. – EDN YSRGCT.

26. Мамедов, О. М. Влияние электромобилей на энергетическую систему мегаполиса / О. М. Мамедов // Энергосбережение. – 2017. – № 4. – С. 56-59. – EDN YOSNFP.

27. Веселов, Ф. В. Влияние электрификации в секторе дорожного транспорта на уровень электропотребления и суточный график нагрузки в ЕЭС России / Ф. В. Веселов, А. И. Соляник, Р. О. Аликин // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2023. – № 1. – С. 57-71. – DOI 10.31857/S0002331023010077. – EDN LWJPZS.

28. Петров, М. Б. Новые возможности и новые проблемы перехода к электрическим транспортным технологиям / М. Б. Петров, К. Б. Кожов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 4(40). – С. 33-45. – DOI 10.20291/2079-0392-2018-4-33-45. – EDN YWPTTV.

29. Кайгородов, А. В. Глобальный прогноз развития электротранспорта и инфраструктуры / А. В. Кайгородов, О. Д. Лапина // Молодежный глобальный прогноз развития энергетики : Сборник статей. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (Кемерово, 2024. – С. 9.1-9.10. – EDN НРҮХДТ.

30. Староверов, Б. А. Определение наиболее перспективных нейронных сетей и способов их обучения для прогнозирования электропотребления / Б. А. Староверов, Б. А. Гнатюк // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2015. – № 6. – С. 59-64. – DOI 10.17588/2072-2672.2015.6.059-064. – EDN VBWLZJ.

31. Электроэнергетика: умное партнерство с потребителем : монография / Л. Д. Гительман, Л. М. Гительман, М. В. Кожевников – М.: Экономика, 2016. – 160 с.

32. Гительман Л. Д., Ратников Б. Е., Кожевников М. В. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта в России // CPPM. 2013. №1 (76). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-sprosom-na-elektroenergiyu-adaptatsiya-zarubezhnogo-opyta-v-rossii> (дата обращения: 30.06.2025).

33. Зубарев, В. С. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ОПЛАТЫ УСЛУГ НА ПЕРЕДАЧУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЕВРОПЕЙСКОМ СОЮЗЕ / В. С. Зубарев [Текст] // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии. — Екатеринбург:Издательство УМЦ УПИ, 2017. — С. 1-4.

34. Электроэнергетика: умное партнерство с потребителем : монография / Л. Д. Гительман, Л. М. Гительман, М. В. Кожевников – М.: Экономика, 2016. – 160 с.

35. Смоленская, Е.Е. Фёдорова, М.С. ОПЫТ ПРОДВИЖЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ / Смоленская, Е.Е. Фёдорова, М.С. [Текст] // ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК ТРУДОВ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЛОЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА. — Полоцк:, 2020. — С. 77-78.

36. Сухарева, Е. В. Механизм формирования системы оплаты реактивной мощности / Е. В. Сухарева [Текст] // Экономические науки • 2024 • №1 (230). — Москва:Национальный исследовательский университет МЭИ, 2024. — С. 176-185.

37. Васильченко Анна Ивановна Энергоэффективная экономика и энергетическая безопасность в Соединенных штатах Америки: экономико-правовые аспекты // Юридическая наука. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnaya-ekonomika-i-energeticheskaya-bezopasnost-v-soedinennyh-shtatah-ameriki-ekonomiko-pravovye-aspekty> (дата обращения: 30.06.2025).

Сведения об авторах

Рыбакова Виктория Александровна, Студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Самойлов Дмитрий Олегович, студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Куваев Андрей Александрович, студент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Научный руководитель

Новикова Ольга Валентиновна, к.э.н. доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия

Information about the authors

Rybakova Victoria Alexandrovna, Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Samoilov Dmitry Olegovich, Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Kuvaev Andrey Aleksandrovich, Student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

Scientific supervisor

Novikova Olga Valentinovna, PhD in Economics, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia