

УДК 004.89

Сафиуллин Р.Н., доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортно-технологических процессов и машин», Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, СПб, Россия, safravi@mail.ru

Сорокин К.В., аспирант, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, СПб, Россия, kiros_00@bk.ru

Канаши Ю.М., студент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, СПб, Россия, kanash.yousef@mail.ru

Попов А.В., магистр, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, СПб, Россия, p0p0va1exand3r@gmail.com

АЛГОРИТМ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ В ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. Рост числа электромобилей требует эффективного планирования зарядной инфраструктуры, обеспечивающего равномерное распределение станций и предотвращающего перегрузку сети. Традиционные методы размещения зарядных станций часто не учитывают динамические изменения спроса, что приводит к неэффективному использованию ресурсов. В данной статье рассматривается использование алгоритмов машинного обучения для оптимизации размещения зарядных станций с учётом плотности электромобилей, транспортных потоков, доступности энергосетей и сезонных колебаний спроса. Применение алгоритма машинного обучения позволяет не только повышать экономическую эффективность зарядных станций, но и создавать адаптивную систему управления зарядной инфраструктурой, способную реагировать на изменения в режиме реального времени.

Ключевые слова: Электроавтомобиль, зарядная инфраструктура, машинное обучение, оптимизация размещения, прогнозирование спроса.

Введение

С развитием технологий и распространением электромобилей зарядная инфраструктура становится основным элементом городской экосистемы. Однако её неравномерное распределение порождает комплекс взаимосвязанных проблем. В районах с высокой концентрацией

электромобилей владельцы сталкиваются с отсутствием необходимого количества зарядных станций, что приводит к длительным очередям и, как следствие, увеличение времени на каждую зарядку электроавтомобиля. Помимо этого, в зонах с низким спросом на данную услугу наблюдается переизбыток малоиспользуемых станций, что не только истощает ресурсы, но и подрывает экономическую целесообразность проектов. Также это усугубляется ограничениями энергосетей, особенно в периоды пикового потребления, когда нагрузка превышает расчётные мощности. Дополнительную сложность создаёт негибкость существующей инфраструктуры, которая не успевает адаптироваться к быстро меняющимся паттернам спроса, сезонным колебаниям и урбанистическим трансформациям [8].

Для преодоления этих системных проблем требуются инновационные решения, способные интегрировать динамические факторы — от транспортных потоков до энергопотребления. Машинное обучение открывает новые возможности за счёт анализа многомерных данных: прогнозирования спроса в реальном времени, оптимизации распределения ресурсов и моделирования сценариев развития. Такой подход позволяет не только реагировать на текущие вызовы, но и проектировать адаптивную инфраструктуру, способную развиваться вместе с ростом количества электроавтомобилей [5, 8].

По данным аналитического агентства «Автостат», за 2023 год в России было продано 14 089 электромобилей, что свидетельствует о значительном росте интереса к электрическому транспорту. В 2024 году продажи достигли 21 785 электромобилей, а по итогам первых 7 месяцев 2024 года было продано 11 387 новых электромобилей, что почти в 3 раза больше, чем за аналогичный период 2023 года. На 1 января 2025 года в России было зарегистрировано 59 600 электромобилей, что составляет 0,12% от общего числа зарегистрированных автомобилей рис. 1.



Рис. 1. Количество электромобилей в РФ (2015-2024)

В Санкт-Петербурге, как одном из крупнейших мегаполисов России, наблюдается схожая тенденция в 2020 году число составило электромобилей составило 199, к 2021 – 218, а уже в 2022 году парк вырос в 4,4 раза до 961 единицы. В 2023 году показатель удвоился, а к 2024 достиг 4 632, что почти вдвое больше предыдущего года. За пять лет количество электромобилей в городе увеличилось в 23 раза, демонстрируя резкий переход к экологичной мобильности рис. 2.



Рис. 2. Количество электромобилей в Санкт-Петербурге (2015-2024)

Рост числа электромобилей в России напрямую стимулировал развитие зарядной инфраструктуры. Поэтому число публичных зарядных станций в

России увеличилось в 6 раз с 2022 по февраль 2025 года и достигло 8 185, из которых 3 805 относились к «быстрым», а остальные — к «медленным».

В Санкт-Петербурге развитие зарядной инфраструктуры также набирает обороты рис. 3. К концу 2024 года число ЭЗС достигло 254 единиц, что в сравнении с прошлогодним результатом делает разницу более чем на 50%. Однако, несмотря на положительную динамику, существующая инфраструктура все еще не полностью соответствует растущему спросу, особенно в периферийных районах и на межгородских трассах. Это наблюдается на относительном показателе количества электроавтомобилей на одну единицу зарядной станции. Для сравнения этого показателя был взят город Осло, который, на сегодняшний день, является лидером в этом направлении рис. 4. На графике можно заметить ключевое различие в динамике между Санкт-Петербургом и Осло: в то время как в норвежской столице показатель сохраняется на стабильном уровне около 10–11 электроавтомобилей на одну ЭЗС, в Санкт-Петербурге он неуклонно растёт, что усиливает дисбаланс между спросом и инфраструктурой. Для решения этой проблемы надо пропорционально динамике роста количества электроавтомобилей увеличивать число зарядных станций.

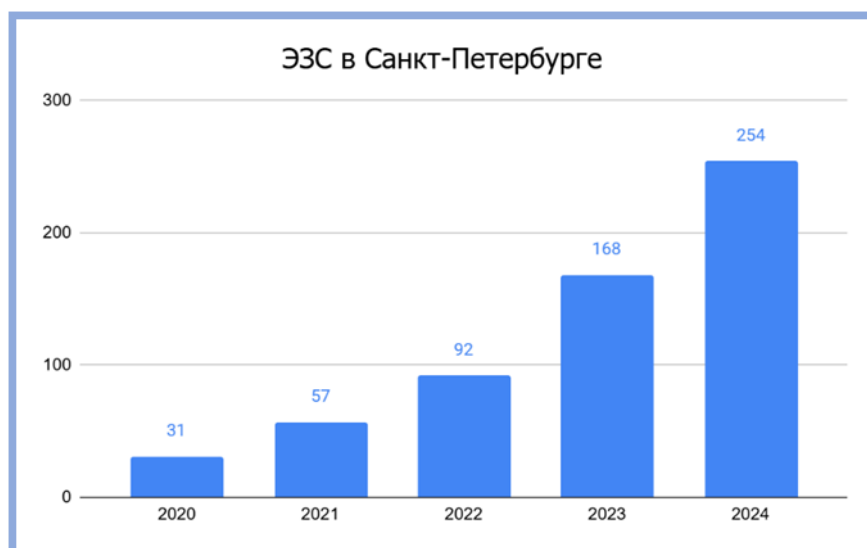


Рис. 3. Количество ЭЗС в Санкт-Петербурге (2020-2024)

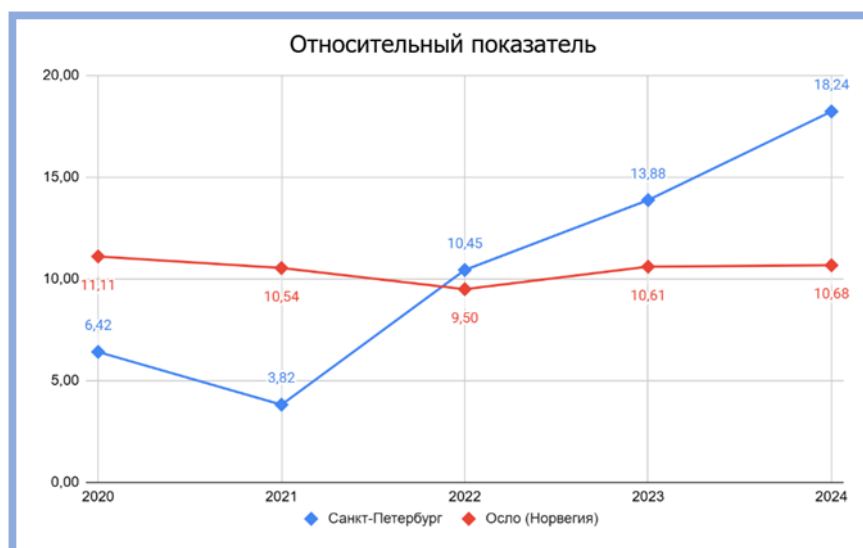


Рис. 4. Относительный показатель количества электромобилей к одной ЭЗС (2020-2024)

Основная часть

Как показывает статистика, количество электроавтомобилей в России и в Санкт-Петербурге увеличивается стремительными темпами, однако существующая инфраструктура не успевает адаптироваться к этим изменениям. Центральные и спальные районы перегружены, тогда как в менее плотных районах станции остаются практически неактуальными, что ведет к неэффективному использованию ресурсов. Традиционные методы планирования не учитывают сезонные колебания, плотность потенциальных клиентов и транспортный поток, что приводит к локальным перегрузкам и снижению удобства для пользователя. Помимо этого, важнейшей проблемой остается отсутствие прогнозирования спроса, из-за чего новые станции могут устанавливаться не там, где они действительно нужны, а зачастую там, где это установка будет технически проще или дешевле, в результате этого станция оказывается менее эффективна, как экономически, так и технологически. Все это делает необходимым поиск новых подходов к размещению и управлению зарядной инфраструктурой. Применение методов машинного обучения [1] позволяет решить эти проблемы за счёт анализа большого количества данных и прогнозирования потребности в зарядных станциях с высокой точностью рис.5.



Рис. 5. Алгоритм распределения зарядных станций

В отличие от традиционных подходов, система способна учитывать не только текущую ситуацию, но и выявлять скрытые закономерности, позволяя предсказывать будущие изменения спроса. При этом учитываются такие параметры, как плотность электромобилей в конкретных районах, загруженность дорог в разное время суток, доступность мощностей энергосетей, социально-экономические характеристики населения, близость крупных деловых и торговых центров и даже погодные условия, влияющие на энергопотребление электромобилей [4]. Такой комплексный анализ делает возможным не только эффективное размещение новых станций, но и адаптацию существующей инфраструктуры под изменяющиеся условия [5]. Особое преимущество алгоритма машинного обучения заключается в его способности прогнозировать спрос на долгосрочную перспективу, что позволяет компаниям, которые предоставляют услугу заряда, заранее планировать расширение зарядной сети. Вместо того чтобы реагировать на уже возникшие перегрузки, можно заранее определить зоны, где в ближайшее время возникнет высокий спрос, и разместить станции таким образом, чтобы избежать их возможного дефицита. Такой подход позволяет существенно снизить издержки, связанные с неравномерным распределением станций, и делает использование инфраструктуры более рациональным, а также увеличивает рентабельность одной зарядной станции и уменьшает срок ее окупаемости. На графике, который представлен на рис. 6, можно отчетливо проследить, что станция начнет окупаться в течении 10 лет в случае, если в течении суток на ней будет

обслуживаться минимум 4 электроавтомобиля, а самым оптимальным значением будет 6-7 пользователей в сутки, в таком случае станция окупится за 3,5-4,5 года. Прийти к данным показателям вполне реально, так как на сегодняшний день на каждую зарядную станцию приходится 19 транспортных средств (рис. 4), задача заключается только в их грамотном распределении.

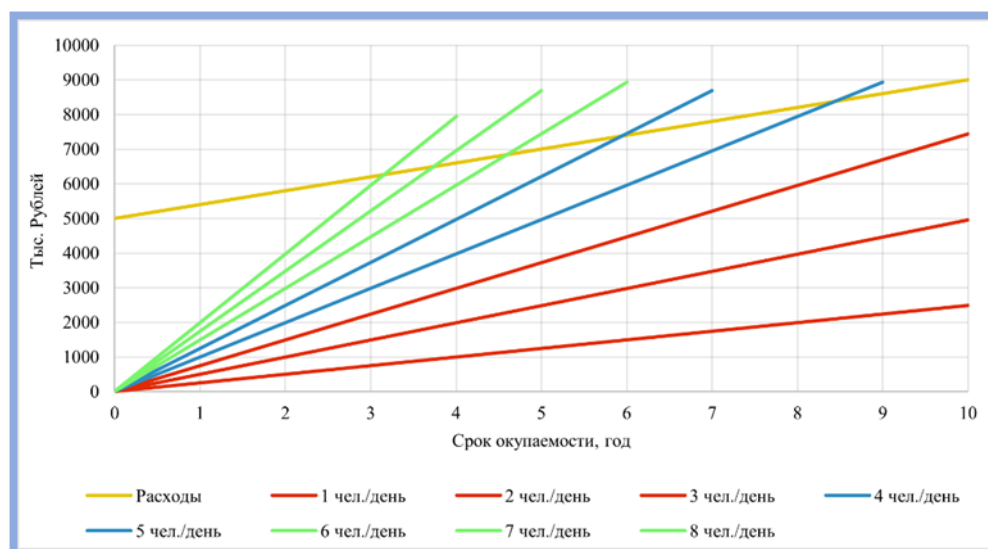


Рис. 6. График окупаемости одной ЭЗС

Применение машинного обучения также открывает возможности для создания адаптивной системы управления зарядной инфраструктурой, способной автоматически регулировать её работу в зависимости от текущего спроса [3]. Система может анализировать в реальном времени загрузку зарядных станций, изменять режим их работы в зависимости от времени суток, перенаправлять водителей к менее загруженным точкам при помощи рекомендаций или регулированием цены на заряд, а также учитывать состояние энергосетей и перераспределять нагрузку, предотвращая локальные перегрузки [2]. Такая гибкость особенно важна в условиях быстрого роста числа электромобилей, когда статические схемы планирования оказываются неэффективными.

В перспективе интеграция алгоритмов машинного обучения с городскими системами управления трафиком и энергопотреблением может дать ещё больший эффект. Анализ транспортных потоков позволит корректировать

расположение будущих станций с учётом изменений в инфраструктуре города, а взаимодействие с энергосистемой обеспечит более стабильное потребление электроэнергии. В перспективе это приведёт к формированию интеллектуальной зарядной сети, способной автоматически адаптироваться к изменениям и обеспечивать максимально удобный доступ к зарядным станциям для всех пользователей [7, 9].

Заключение

Динамичное развитие рынка электромобилей в России и Санкт-Петербурге требует адаптации зарядной инфраструктуры к изменяющимся условиям спроса. Без особого труда можно увидеть, что традиционные методы размещения зарядных станций не обеспечивают равномерного покрытия, это в свою очередь приводит к дисбалансу и недоиспользованию станций в периферийных зонах.

Применение алгоритмов машинного обучения позволяет учитывать множество факторов – от плотности электромобилей до транспортных потоков и энергопотребления, обеспечивая более точное прогнозирование потребностей в зарядных станциях. Такой подход не только повышает эффективность размещения инфраструктуры, но и сокращает затраты на её эксплуатацию, а также снижает риски перегрузки сети.

Интеграция машинного обучения в управление зарядными станциями открывает возможности для гибкой адаптации сети в реальном времени, что позволит оптимизировать работу существующих станций и планировать их дальнейшее расширение. В перспективе это создаст интеллектуальную систему зарядной инфраструктуры, способную оперативно реагировать на рост числа электромобилей и обеспечивать их пользователей стабильным и удобным доступом к зарядным точкам.

Список использованных источников

1. Симонова Л., Егорова Е., Ахмадиев А. / Нейронные сети в производстве (статья)// (2022) Российские инженерные исследования, 2022, Том 42, № 3, с. 278-281.

2. Л. А. Симонова, Д. Н. Демьянов, А. А. Капитонов/ Интеллектуальная информационная система для формирования проектных ограничений в автомобильной промышленности // Российские инженерные исследования, 2020, Том 40, № 12, с. 1034-1038.
3. Малыгин И., Селиверстов Ю., Селиверстов С., Фахми С., Сильников М., Муксимова Р., Гергель Г., Чигур В. Мобильные технологии в интеллектуальных транспортных системах // Коммуникации в информатике. 2020. Т. 1140. С. 384-391.
4. Риск-ориентированное управление старением электрооборудования по техническому состоянию в системе нормальной эксплуатации АЭС, Назарычев А., Андреев Д., Мельникова О., Пугачев А., Материалы конференции AIP 2552, 050007 (2022), <https://doi.org/10.1063/5.0114598>
5. Селиверстов Я. А., Гергель Г. Ю., Селиверстов С. А., Никитин К. В., Развитие интеллектуальных транспортных систем на основе мобильных технологий и процедур анализа социальной активности городского населения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2018, – Т.11 – С.47–64. DOI: 10.18721/JCSTCS.11105.
6. Сафиуллин Р.Н., Морозов Е.В. Методика обоснования технических требований и оценки характеристик измерительных средств автоматизированного контроля движения автомобильного транспорта. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. № 5. С. 47-51.
7. Сафиуллин Р.Н., Пыркин О.П., Карпов С.Н., Демченко В.А. Системы автоматического управления технологическими процессами доставки грузов в транспортно-логистических структурах материально-технического обеспечения. Свое издательство. Санкт-Петербург, 2021Lomazov V., Lomazov A., Petrosov D., Akupiyani O. Intelligent evaluation of implementation road infrastructure development program // Transportation Research Procedia. 2022, vol. 63, pp.1089-1094. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.111.

8. Tian, H., Safiullin, R. N., Safiullin, R. R. Integral Evaluation of Implementation Efficiency of Automated Hardware Complex for Vehicle Traffic Control. *International Journal of Engineering*, 2024; 37(8): 1534-1546. doi: 10.5829/ije.2024.37.08b.07
9. Safiullin, R. N., Safiullin, R. R., Sorokin, K. V., Kuzmin, K. A., Rudko, V. A. Integral Assessment of Influence Mechanism of Heavy Particle Generator on Hydrocarbon Composition of Vehicles Motor Fuel. *International Journal of Engineering*, 2024; 37(8): 1700-1706. doi: 10.5829/ije.2024.37.08b.20
-

Safiullin R.N., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of "Transport and Technological Processes and Machines", Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg, Russia, safravi@mail.ru

Sorokin K.V., Postgraduate Student, Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg, Russia, kiros_00@bk.ru

Kanash Yu.M., Student, Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg, Russia, kanash.yousef@mail.ru

Popov A.V., Master, Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg, Russia, p0p0va1exand3r@gmail.com

ALGORITHM FOR PLACING CHARGING STATIONS IN URBAN AGGLOMERATIONS FOR ELECTRIC VEHICLES USING MACHINE LEARNING

Abstract. The increasing number of electric vehicles necessitates effective planning of charging infrastructure that ensures even distribution of stations and prevents network overload. Traditional methods for placing charging stations often fail to account for dynamic changes in demand, leading to inefficient resource utilization. This paper explores the use of machine learning algorithms to optimize the placement of charging stations by considering electric vehicle density, traffic flows, grid availability, and seasonal demand fluctuations. Implementing machine learning algorithms not only enhances the economic efficiency of charging stations but also enables the creation of an adaptive management system for charging infrastructure capable of responding to real-time changes.

Keywords: Electric vehicle, charging infrastructure, machine learning, placement optimization, demand forecasting.