

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения имени А. Буркитбаева

Кафедра энергетики

ОТЗЫВ

На магистерскую диссертацию магистранта Шмидт Л.В.

Тема магистерской диссертации «Разработка автономной зарядной
станции для электросамокатов»

ТЕКСТ ОТЗЫВА

Магистерская диссертационная работа выполнена в соответствии с
полученным заданием и оформлена согласно установленным требованиям,
предъявляемым к положению о магистерской диссертации.

Магистерская диссертационная работа посвящена актуальной теме
зарядной станции для электросамокатов. В диссертационной работе
произведены расчеты и анализ основных элементов зарядной станции.
Рассмотрена и проанализирована ситуация с количеством электросамокатов
и потребностью их заряда. В ходе работы был предоставлен полный разбор
автономной зарядной станции.

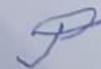
Автор сумел отразить вышеназванную специфику, достаточно
убедительно и аргументированно обосновал актуальность темы.

За период выполнения магистерской диссертационной работы Шмидт
Л.В. показал себя, как самостоятельный научный работник, способный
решать сложные научные задачи.

По результатам проведенных исследований опубликована 1 научная
статья.

В целом, диссертация Шмидт Леонида Владимировича выполнена на
высоком научном уровне и заслуживает высокой оценки. Магистерская
диссертационная работа выполнена на должном научном уровне, содержит
результаты решения поставленной научной проблемы, удовлетворяет
квалификационным требованиям, предъявляемым к магистерским
диссертациям, работа оценивается на «отлично» (95%) и может быть
допущено к защите для присуждения квалификации и соискания
академической степени магистра техники и технологии по специальности
7М07113 – Электротехника и энергетика.

Научный руководитель:
ассоц. профессор



Утебаев Р.М.

«21» 06 2024г.

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Магистрант специальности 7М07113 – «Электротехника и энергетика»
Шмидт Леонида Владимировича
магистерская диссертация

РЕЦЕНЗИЯ

Тема магистерской диссертации: «Разработка автономной зарядной станции для
электросамочаров»

Актуальность работы Шмидт Л.В. связана с тем, что с растущей популярностью электросамочаров в качестве основного средства мобильности в городе, появляется проблема с постоянно разряжающимися электросамочарами.

Диссертация хорошо структурирована и содержит все необходимые разделы для полного описания работы.

Цели и задачи работы поставлены четко и ясно. В теоретической части рассматривается уже существующая модель зарядной станции и описываются все элементы основные зарядной станции. В основной части производится анализ и возможные проектные решения для реализации зарядной станции, и расчеты по затратам и прибыли от эксплуатации автономной зарядной станции

По результатам проведенной работы, автором были разработаны как теоретические материалы, так и разработана проектная составляющая автономной зарядной станции.

Стиль и язык изложения соответствуют требованиям, предъявляемым к квалификационным работам магистрантов.

Результаты выполнения диссертационного исследования представлены в двух публикациях, имеют научное и практическое значение.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

Магистерская диссертация демонстрирует понимание предметной области и содержит четкие цели и задачи. Работа Шмидт Л.В. соответствует всем квалификационным требованиям и заслуживает высокой оценки, а её автор – присуждения степени магистра техники и технологии.

Рецензент

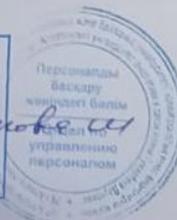
ассоц. профессор, преподаватель
кафедры Электроэнергетических систем

Утешкалиева Л.Ш.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

Ивант Сәйтмағамбетов

Қызметі: « 26 » 06
Вты-жөні: 2024



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Шмидт Леонид Владимирович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов

Научный руководитель: Руслан Утебаев

Коэффициент Подобия 1: 9.3

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 27

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

2024-06-26

Дата

Заведующий кафедрой Энергетики
Сариев Е.А.


Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Шмидт Леонид Владимирович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов

Научный руководитель: Руслан Утебаев

Коэффициент Подобия 1: 9.3

Коэффициент Подобия 2: 4.6

Микропробелы: 27

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2024-06-26

Дата

Утебаев Р. М.

проверяющий эксперт

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Шмидт Леонид Владимирович

Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

7M07113 – Электротехника и энергетика

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Каззахский национальный исследовательский
технический университет имени К. И. Сатпаева»

Институт энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

7M07113 – Электротехника и энергетика

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Энергетика»
PhD, асоц. профессор

 Е. А. Сарсенбаев

«25» 01 2024 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту: Шмидт Леониду Владимировичу

Тема: «Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов»

Утверждена приказом проректора по акад. вопр. №1346-м от «28» августа 2022 г.

Сроки сдачи законченной диссертации «07» июня 2024 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

1. Параметры солнечных панелей и характеристики электросамокатов;

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- а) Анализ состояния инфраструктуры электросамокатов в городе Алматы;
- б) Производство расчетов основных элементов автономной зарядной станции;
- в) Анализ города Алматы для выбора места установки зарядных станций;
- г) Составление затрат на реализацию проекта автономной зарядной станции.

Перечень графического материала: 16 таблиц, 21 рисунок.

Рекомендуемая основная литература:

1. A. D. Bozzi, A. Aguilera, Shared e-scooters: A review of uses, health and environmental impacts, and policy implications of a new micro-mobility service
2. Knecht, O.; Kolar, J.W. Impact of Transcutaneous Energy Transfer on the electric field and specific absorption rate in the human tissue. In Proceedings of the IECON 2015—41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Yokohama, Japan, 9–12 November 2015; pp. 4977–4983.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

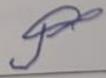
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Электросамокаты как средство передвижения	15.02.2024г.	
Автономная зарядная станция для электросамокатов	10.03.2024г.	
Энергетический потенциал города Алматы	01.04.2024г.	
Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов	18.04.2024г.	
Основные условия для выбора места установки зарядных станций для электросамокатов	08.05.2024г.	
Общая стоимость автономной зарядной станции	15.05.2024г.	
Беспроводная зарядка для электросамокатов	05.06.2024г.	

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

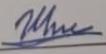
Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Электросамокаты как средство передвижения	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	15.02.2024г.	
Автономная зарядная станция для электросамокатов	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	10.03.2024г.	
Энергетический потенциал города Алматы	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	01.04.2024г.	
Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	18.04.2024г.	
Основные условия для выбора места установки зарядных станций для электросамокатов	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	08.05.2024г.	
Общая стоимость автономной зарядной станции	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	15.05.2024г.	
Беспроводная зарядка для электросамокатов	Р.М. Утебаев ассоц. профессор	05.06.2024г.	
Норм контролер	Ә. О. Бердібеков старший преподаватель	25.06.2024г.	

Научный руководитель



Р.М. Утебаев

Задание принял к исполнению обучающийся



Л.В. Шмидт

Дата

«25» 01 2024 г.

АННОТАЦИЯ

Электросамокаттарға арналған автономды зарядтау станциясы - бұл қалалық ортада электросамокаттардың үздіксіз жұмысын қамтамасыз етуге арналған инновациялық құрылғы. Бұл зарядтау станциясы аккумуляторларды зарядтау үшін күн энергиясын пайдаланады, бұл электр желісіне қосылу қажеттілігін болдырмайды. Бұл құрылғы бірнеше электросамокатты бір уақытта зарядтауға мүмкіндік береді, бұл оның тиімділігі мен экономикалық мақсаттылығын арттырады. Автономды зарядтау станциясын пайдаланушыларға ыңғайлы кез келген аумақта, мысалы, саябақтарда, скверлерде, велотұрақтарда және т.б. орнатуға болады. Электросамокаттарға арналған автономды зарядтау станциясын пайдаланудың артықшылықтарына энергияны үнемдеу, қоршаған ортаны қорғау, ыңғайлылық және қолжетімділік жатады. Жалпы алғанда, электросамокаттарға арналған автономды зарядтау станциясы қалалық ортада электросамокаттардың үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету үшін ыңғайлы, үнемді және экологиялық таза шешім болып табылады.

Автономная зарядная станция для электросамокатов - это инновационное устройство, предназначенное для обеспечения бесперебойной работы электросамокатов в городской среде. Эта зарядная станция использует солнечную энергию, чтобы заряжать аккумуляторы электросамокатов, что позволяет избежать необходимости подключения к электрической сети. Данное устройство позволяет заряжать несколько электросамокатов одновременно, что увеличивает его эффективность и экономическую целесообразность. Автономная зарядная станция может быть установлена на любой удобной для пользователей территории, такой как парки, скверы, велопарковки и т.д. Преимущества использования автономной зарядной станции для электросамокатов включают экономию энергии, защиту окружающей среды, удобство и доступность для пользователей. В целом, автономная зарядная станция для электросамокатов представляет собой удобное, экономичное и экологически чистое решение для обеспечения бесперебойной работы электросамокатов в городской среде.

An autonomous charging station for electric scooters is an innovative device designed to ensure the uninterrupted operation of electric scooters in urban environments. This charging station uses solar energy to charge the batteries of electric scooters, eliminating the need for connection to the electrical grid. The device allows for the simultaneous charging of multiple electric scooters, increasing its efficiency and economic viability. The autonomous charging station can be installed in any convenient location for users, such as parks, squares, bike parking areas, and so on. The advantages of using an autonomous charging station for electric scooters include energy savings, environmental protection, convenience, and accessibility for users. Overall, an autonomous charging station for electric scooters represents a convenient, economical, and environmentally friendly solution for ensuring the uninterrupted operation of electric scooters in urban environments.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Электросамокаты как средство передвижения	8
1.1 Аренда электросамокатов	9
1.2 Общее количество электросамокатов от компаний предоставляющих их аренду	13
2 Автономная зарядная станция для электросамокатов	14
2.1 Солнечная панель	15
2.2 Контроллер заряда	17
2.3 Аккумуляторная батарея	19
2.4 Преобразователь	21
3 Энергетический потенциал города Алматы	23
4 Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов	27
4.1 Расчет установки автономной зарядной станции для электросамокатов	28
4.2 Концептуальный прототип автономной зарядной станции	30
5 Основные условия для выбора места установки зарядных станций для электросамокатов	33
5.1 Анализ города Алматы	34
5.2 Расчет необходимого количества зарядных станций	35
6 Общая стоимость автономной зарядной станции	40
7 Беспроводная зарядка для электросамокатов	42
7.1 Расположение катушек беспроводной зарядки электросамоката	44
Заключение	47
Список использованной литературы	48

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается значительный рост популярности электрических транспортных средств, таких как электросамокаты, особенно в крупных городах. Этот тренд обусловлен несколькими факторами, включая экологическую осведомленность населения, стремление к снижению выбросов углекислого газа и улучшению качества воздуха, а также удобство и экономичность использования электрических транспортных средств для коротких поездок в городской среде.

Город Алматы, являясь крупнейшим мегаполисом Казахстана, сталкивается с рядом проблем, связанных с транспортной инфраструктурой, включая загруженность дорог, загрязнение воздуха и нехватку парковочных мест. Введение электросамокатов как альтернативного средства передвижения способно существенно снизить нагрузку на транспортную систему города и улучшить экологическую обстановку. Однако для успешного внедрения и широкого использования электросамокатов необходимо решить вопрос их зарядки и обслуживания.

Целью данной диссертации является разработка автономной зарядной станции для электросамокатов, которая будет установлена в различных районах города Алматы. Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов в Алматы не только способствует улучшению городской среды, но и открывает новые возможности для инноваций и технологического прогресса в области возобновляемых источников энергии и электротранспорта.

1 Электросамокаты как средство передвижения

Электросамокаты – это средство передвижения на электрическом двигателе, которое стало популярным в последние годы благодаря своей экологичности и удобству использования.

Электросамокаты работают на электрической энергии. Они состоят из следующих основных компонентов:

1) Электрический двигатель – основной компонент электросамоката, который преобразует электрическую энергию в механическую и обеспечивает движение самоката.

2) Батарея - источник питания для электросамоката. Она обычно располагается в специальном отсеке на самокате и заряжается через электрический кабель.

3) Регулятор скорости - устройство, которое позволяет управлять скоростью движения электросамоката. Обычно это делается с помощью руля или специального пульта управления.

Принцип работы электросамоката заключается в следующем: когда пользователь нажимает на педаль газа или активирует рычаг управления, электрический двигатель начинает вращаться, передавая движение колесам самоката. Батарея обеспечивает питание двигателю, а регулятор скорости позволяет контролировать скорость движения.

Электросамокаты являются удобным и экологичным средством передвижения в городе, позволяя быстро и легко перемещаться по улицам без лишнего усилия.

Основные характеристики электросамокатов:

1) Мощность двигателя: электросамокаты обычно оснащены электрическим двигателем мощностью от 250 Вт до 1000 Вт, в зависимости от модели.

2) Скорость и дальность поездки: электросамокаты могут развивать скорость от 15 до 30 км/ч в зависимости от модели. Дальность поездки на одном заряде батареи обычно составляет от 15 до 40 км.

3) В электросамокатах обычно устанавливаются литий-ионные аккумуляторы, так как они обладают высокой энергетической плотностью, небольшим весом и длительным сроком службы. Также часто используются аккумуляторы с напряжением 36В или 48В и емкостью от 6Ач до 15Ач.

4) Средняя дальность поездки на электросамокате на одном заряде батареи составляет около 30-40 километров.

5) Вес и грузоподъемность: электросамокаты обычно имеют вес от 10 до 20 кг и способны выдерживать нагрузку от 100 до 120 кг.

6) Тип колес: электросамокаты могут быть оснащены колесами диаметром от 6 до 10 дюймов, что влияет на комфорт и устойчивость поездки.

7) Тормозная система: электросамокаты могут быть оснащены механическими или электрическими тормозами, что обеспечивает безопасность во время движения.

8) Дополнительные функции: некоторые модели электросамокатов могут иметь дополнительные функции, такие как подсветка, амортизация, складывание для удобства хранения и транспортировки.

По полученным данным подытожить что электросамокаты используют электрическую энергию накопленную в аккумуляторе, используемая электродвигателем для передвижения. Электросамокаты имеют ряд преимуществ как средство передвижения в городской среде по сравнению с автомобильным и общественным транспортом. Мобильность которая предоставляется электросамокатами является большим преимуществом, так как для преодоления достаточно большого расстояния в час пик позволяет миновать пробки и добираться до необходимого места в кратчайшие сроки. Также преимуществом можно считать наличие компаний предоставляющих услуги по аренде электросамокатов в черте городов и в частности города Алматы. Алмата идет в направлении для развития иных средств передвижения кроме личного автомобиля и общественного транспорта, путем внедрения велодорожек на улицах города, что позволяет увеличить количество велосипедов и электросамокатов в городе.

1.1 Аренда электросамокатов

Электросамокаты представляют собой компактные и электрические транспортные средства, которые стали популярным средством передвижения в городах. Приведу несколько преимуществ электросамокатов:

1) Электросамокаты работают на электроэнергии, что делает их более экологически чистыми по сравнению с транспортными средствами, использующими бензин или дизельное топливо. Использование электросамокатов способствует снижению выбросов вредных веществ и улучшению качества воздуха в городах.

2) Электросамокаты могут быстро преодолевать короткие расстояния, что делает их эффективным средством для перемещения внутри города. Они особенно полезны в условиях густого трафика, позволяя обогнать заторы и экономить время.

3) В сравнении с традиционными транспортными средствами, электросамокаты обычно предлагают более низкую стоимость использования на коротких расстояниях. Оплата за аренду электросамоката может быть доступной и удобной для широкого круга пользователей.

В связи с данными преимуществами в городах возрастает популярность аренды электросамокатов и появлении различных компаний с поминутной арендой электросамокатов.

Электросамокаты можно арендовать в специализированных компаниях которые предоставляют поминутную аренду. В городе Алматы аренду электросамокатов предоставляют 4 крупные компании: Яндекс.Go; Jet; Whoosh; Eleven.



Рисунок 1 – Электросамокаты Компании «JET»

Аренда электросамокатов в данных компаниях производится с помощью мобильного приложения, которое необходимо скачать. В приложении открывается онлайн карта с обозначением мест где стоят свободные электросамокаты. В среднем за час поездки на электросамокате нужно будет заплатить 2000-3000 тг, но данная сумма ещё зависит от спроса в районе его стоянки. К примеру у Яндекс.Go стоимость в среднем 50 тенге в минуту, но в случае повышенного спроса стоимость за минуту поездки может повышаться.

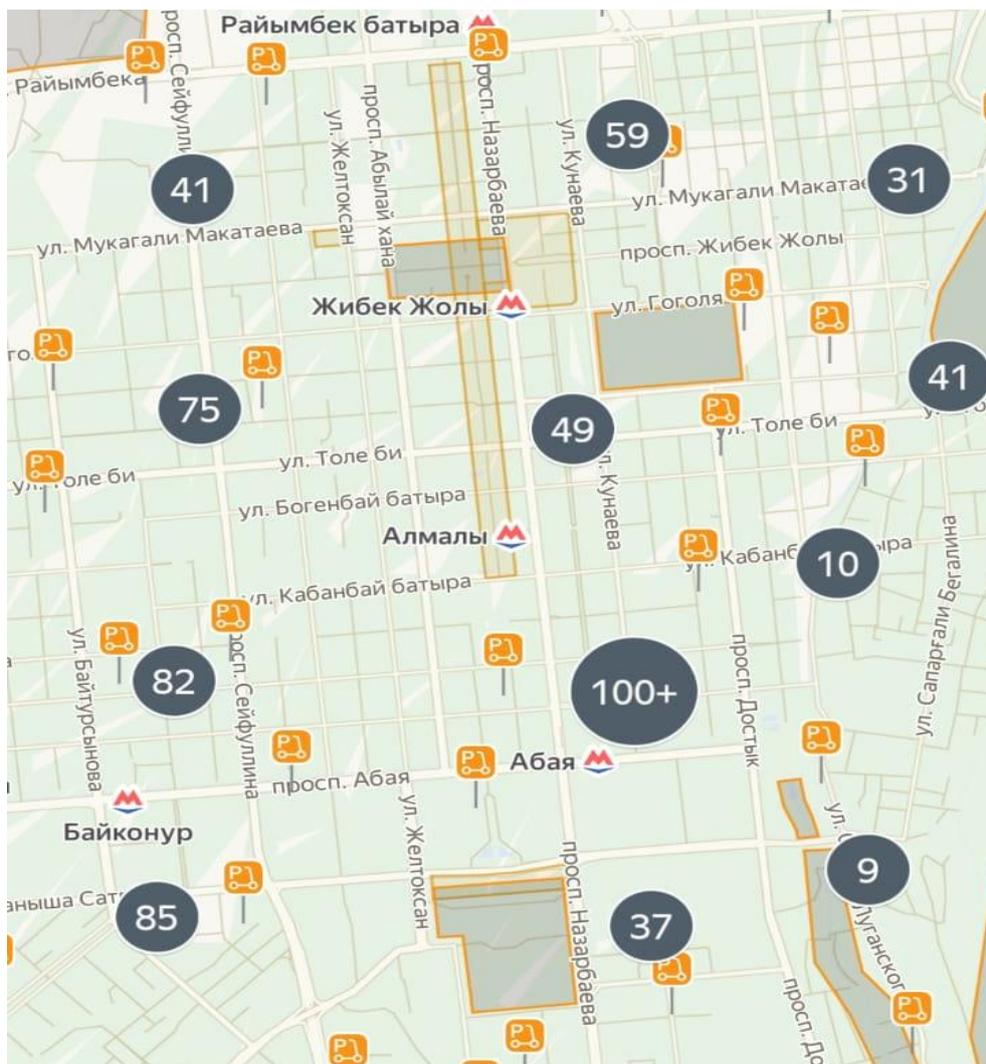


Рисунок 2 – Скриншот приложения Яндекс.Го

Также в приложении отражается заряд электросамоката и приблизительный километраж который он сможет проехать до полного разряда аккумулятора. После полного разряда аккумулятора появляется необходимость в его заряде, некоторые компании для удобства используют специализированные модели электросамокатов со съёмным аккумулятором или же собирают разрядившиеся электросамокаты для подзарядки в специализированном месте и в дальнейшем возвращают их на прежние места для последующего использования в городе. Вариант с со съёмным аккумулятором конечно удобное решение проблемы с самокатами разряжающимися в различных частях города, а вот сбор электросамокатов для подзарядки может занимать большое количество времени и затрачивать людские ресурсы для сбора, заряда и развозки электросамокатов. В данной работе будет представлен концепт автономной зарядной станции для электросамокатов которую возможно будет устанавливать в черте города для подзарядки электросамокатов.

1.2 Общее количество электросамокатов от компаний предоставляющих их аренду

В данном разделе рассмотрим какое количество электросамокатов предоставляется на аренду от 4 крупных компаний и города в которых распространены данные компании.

В качестве способа изучения данного вопроса используем официальные мобильные программы компаний и предоставим все в виде таблицы.

Таблица 1 – Самокаты компании Yandex Go.

Yandex Go	
Город	Количество электросамокатов
Алмата	Более 1000
Астана	Около 825

Таблица 2 – Самокаты компании Jet.

Jet	
Город	Количество электросамокатов
Алмата	Более 1000
Конаев	Около 120
Талдыкорган	Около 200
Астана	Около 1000
Петропавлоск	Около 300
Кокшетау	Около 200-300
Костанай	Около 200
Уральск	Около 200
Атырау	Около 250
Актау	Около 150
Шымкент	Около 500
Тараз	Около 300

Таблица 3 – Самокаты компании Whoosh.

Whoosh	
Город	Количество электросамокатов
Астана	Около 500-800

В приложении Eleven по неизвестной причине не отображались электросамокаты на карте, из-за этого провести анализ не удалось.

На основании данных из представленных таблиц получаем приблизительное количество электросамокатов в городах Казахстана.

2 Автономная зарядная станция для электросамокатов

Автономная зарядная станция для электросамокатов - это специальное устройство, которое позволяет электросамокатам заряжаться автономно, без необходимости подключения к электрической сети. Такие станции обычно оснащены солнечными панелями, которые питают аккумуляторы.

Основные элементы необходимые для автономной зарядной станции это:

- 1) Солнечные панели;
- 2) Аккумуляторные батареи;
- 3) Преобразователь;
- 4) Контроллер зарядки аккумуляторных батарей.

В станции источником тока будет солнечная панель, которая преобразует солнечную энергию в электрическую. Электрическая энергия через контроллер заряда будет заряжать аккумуляторные батареи.

Данный комплекс зарядной станции будет обеспечивать заряд электросамокатов в течении дня и также в ночное время при достаточном заряде аккумуляторных батарей.

Также возможно установка автономной зарядной станции без использования аккумуляторных батарей и устройство контроля заряда. В данном случае заряд электросамокатов будет производиться только в дневное время что уменьшит потенциал зарядной станции, но такое упрощение позволит уменьшить конечную стоимость станции ввиду отсутствия аккумуляторов.



Рисунок 3 – Действующая зарядная станция для электросамокатов

На основании зарядной станции с солнечными панелями производилась разработка и анализ автономной зарядной станции, но в моем видении данная зарядная станция должна быть легко монтируемой в любой части города. Конструкция каркаса должна быть простой и с возможностью упрощенного увеличения количества солнечных панелей на местах установки, на подобии модульного типа. В дальнейшем рассмотрим основные комплектующие которые используются в данной зарядной станции и возможную замену для проектного варианта

2.1 Солнечная панель

Солнечная панель – это устройство, которое использует солнечную энергию для преобразования ее в электрическую энергию. Солнечные панели состоят из множества солнечных элементов, которые поглощают солнечный свет и генерируют электричество через процесс фотоэлектрического эффекта. Эта электроэнергия может быть использована для питания различных устройств и систем, таких как домашние электроприборы, автомобили, а также для подачи электричества в сеть. Солнечные панели являются экологически чистым и эффективным источником энергии, их установка помогает сократить зависимость от традиционных источников энергии и снизить выбросы углекислого газа.

Солнечная панель является основным элементом зарядной станции благодаря которой генерируется электрический ток.

Рассмотрим характеристики солнечной панели на примере модели JKM525M-72HL4-BDVP.

Модуль Jinko JKM525M-72HL4-DVB оснащен улучшенными функциями улавливания света и сбора тока, что повышает выходную мощность и надежность модуля. Благодаря оптимизированному процессу массового производства и контролю материалов гарантируются отличные характеристики защиты от PID-помех. Сертифицирован для выдерживания ветровой нагрузки (2400 Паскалей) и снеговой нагрузки (5400 паскалей), снижения мощности на 0,45% в год.

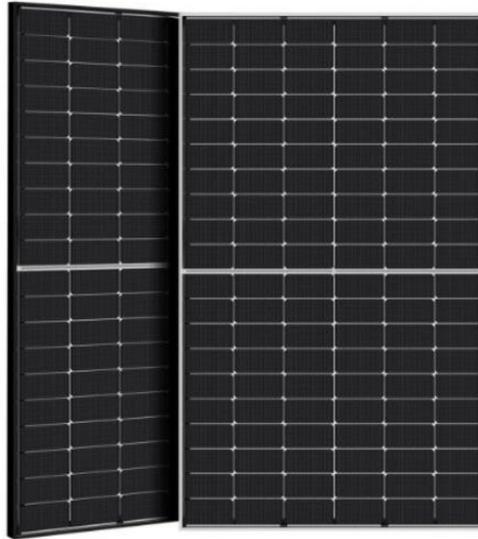


Рисунок 4. Модуль Jinko JKM525M-72HL4-DVB

Основные технические характеристики модуля Jinko JKM525M-72HL4-DVB представлен в таблице 4, 5 [10].

Таблица 4 – Технические характеристики модуля Jinko JKM525M-72HL4-DVB

Максимальная мощность P_M	525 Вт
Максимальное напряжение питания V_M	40,80 В
Максимальный ток I_M	12,87 А
Напряжение холостого хода V_0	49,42 В
Ток короткого замыкания I_0	13,63 А
Коэффициент полезного действия	20,36%
Рабочая температура	от -40°C до +85°C
Максимальное напряжение в системе	1500 В постоянного тока
Температурный коэффициент P_M	-0,35%/°C

Таблица 5 – Механические характеристики модуля Jinko JKM525M-72HL4-DVB

Тип	Монокристаллические
Размеры	2278×1134×30мм
Масса	32 кг
Переднее стекло	2.0мм, антиотражающее покрытие
Заднее стекло	2.0мм, термоупрочненное стекло
Рама	Анодированный алюминиевый сплав
Соединительная коробка	Класс электрической защиты IP 68
Вых. кабель	Стандарт TUV 1×4.0мм ² (+): 400мм,(-): 200мм

2.2 Контроллер заряда

Контроллер заряда солнечных панелей – важная составляющая для каждой солнечной станции. Этот прибор предназначен для контроля заряда аккумуляторных батарей и защиты их от перегрева.

В качестве примера для диссертации будет выбран контроллер заряда модели JUTA CM8024. Данный контроллер имеет жк-дисплей и системы для защиты аккумуляторных батарей.

Достоинства выбранного контроллера заряда:

- 1) Графическое отображение режимов работы контроллера заряда;
- 2) Наличие системы ШИМ в контроллере;
- 3) Регулирование параметров заряда-разряда;
- 4) Возможность программирования параметров заряда-разряда;
- 5) Отображение параметров заряда на дисплее в Ач;
- 6) Наличие системы защиты контроллера заряда от перегрузки;
- 7) Наличие системы защиты контроллера заряда от короткого замыкания.

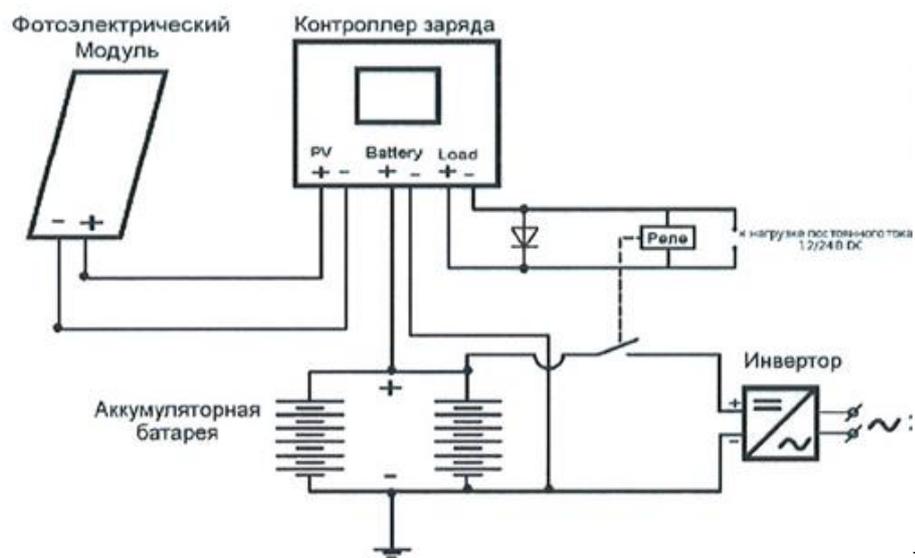


Рисунок 5 – Схема подключения контроллера заряда в системе

Как стало понятно контроллер заряда обязательная составляющая для автономной зарядной станции. К нему подключаются источник энергии и аккумуляторная батарея. От солнечной панели через контроллера заряда будет проводиться цикл заряда аккумулятора, и в дальнейшем от аккумулятора накопленная энергия будет передаваться на заряд электросамочатов.

На рисунке 5 представлена принципиальная схема подключения контроллера заряда в систему солнечной станции.



Рисунок 6 – Контроллер заряда зарядной станции для электросамочатов

На рисунке 6 представлены основные элементы в собранной автономной зарядной станции.

Основные характеристики контроллера заряда CM8024 представлены в таблице 6.

Таблица 6. Характеристики контроллера заряда CM8024

Номинальное напряжение:	12В/24В
Максимальная сила тока:	80 А
Диапазон входного напряжения от солнечных панелей	<50 В
Напряжение поддерживающего (float) заряда	13,8В (12,8В-14,2В) для 12В / 27,6В (25,6В-18,4В) для 24В
Напряжение выравнивающего (absorber) заряда:	14,4В (13,6В-15,2В) для 12В / 28,8В (17,2В-30,4В) для 24В
Напряжение отключения питания нагрузки	(LVD) 11,5В (10,7В-12,0В) для 12В / 23,0В (21,4В-24,0В) для 24В
Напряжение возобновления питания нагрузки	(LVR) 12,6В (11,5В-13,0В) для 12В / 25,2В (23,0В-26,0В) для 24В
Потери холостого хода	≤26мА
Температурная компенсация	-4мВ/°С/элемент
Падение напряжения при заряде	≤0,3В
Падение напряжения при разряде	≤0,1В
Рабочая температура окружающей среды	-20... 45 °С
Максимальное сечение кабеля	25 мм ²
Допустимая влажность	≤90%, без конденсации

2.3 Аккумуляторная батарея

Аккумуляторные батареи – это устройства, предназначенные для накопления и хранения электрической энергии и в последующем передачи её по нуждам потребителя. Аккумуляторы представляют из себя перезаряжаемые емкости с основной характеристикой измерения энергии Ампер часы (Ач). Аккумуляторные батареи бывают разных видов:

1) Литий-ионные (Li-ion) батареи - используются в большинстве современных электронных устройств, таких как смартфоны, ноутбуки и планшеты.

2) Никель-металл-гидридные (NiMH) батареи – часто используются в портативных устройствах, таких как фонари, игрушки и др.

3) Свинцово-кислотные (Pb-acid) батареи – применяются в автомобильных аккумуляторах и других устройствах, требующих большой емкости.

4) Литий-полимерные (LiPo) батареи – часто используются в беспилотных летательных аппаратах (дронах), роботах и других устройствах, где важны малый вес и высокая энергоемкость.

5) Никель-кадмиевые (NiCd) батареи – менее распространены из-за их вредного воздействия на окружающую среду, но все еще используются в некоторых устройствах.

При определении какой из видов аккумуляторов необходим именно в нашем случае, нужно учитывать кроме емкости аккумулятора но и температуру эффективной работы аккумулятора. Так как автономная зарядная станция подразумевает установку в уличной обстановке аккумулятор должен не сильно терять в емкости при отрицательной температуре.

Лучшим вариантом для автономной зарядной станции будет служить литий-ионный аккумулятор, так как они имеют хорошую стабильность работы при низких температурах по сравнению с другими типами аккумуляторов.

Для автономной зарядной станции был выбран аккумулятор модели КН-LFP-SM-1207.



Рисунок 7 – Литий-ионный аккумулятор КН-LFP-SM-1207

Основные характеристики литий-ионного аккумулятора представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристик аккумулятора КН-LFP-SM-1207.

Номинальное напряжение	12,8 В
Емкость аккумулятора	7 Ач
Максимальный постоянный ток заряда	3,5 А
Максимальный постоянный ток разряда	7 А
Максимальный пиковый ток разряда	14А (2 секунд)
Габаритные размеры:	90x101x70 мм

Данный аккумулятор подходит для автономной зарядной станции из-за своих габаритных размеров и рабочей температуре.

2.4 Преобразователь

Преобразователь – это устройство, предназначенное для преобразования постоянного тока в переменный или изменения величины напряжения и тока. Для автономной зарядной станции нужен повышающий преобразователь DC/DC типа. Преобразователь будет устанавливаться после аккумуляторной батареи и повышать напряжения для необходимого напряжения 36/48 В аккумулятора электросамоката.

Для автономной зарядной станции будет выбран повышающий преобразователь модели компании VGEPS с характеристиками (Таблица 8).

Таблица 8 – Характеристики повышающего преобразователя

Диапазон входного напряжения	10 – 25В
Выходное напряжение	48 В
Выходной ток	3А, 5А, 6А
Выходная мощность	144Вт, 240Вт, 288Вт
Эффективность преобразования	95%
Рабочая температура	минус 40°С - плюс 80°С
Уровень водонепроницаемости	IP68
Габаритные размеры	74x74x32мм

При выборе преобразователя также необходимо учитывать выходной ток и напряжение, так как скорость заряда электросамокатов напрямую зависит от выходного тока после преобразователя. К примеру, если выходной ток будет 5А, а аккумулятор электросамоката 15Ач то на 100 процентов аккумулятор можно будет зарядить за 5 часов.



Рисунок 8 – Повышающий DC/DC преобразователь

3 Энергетический потенциал города Алматы

Для дальнейшей разработки проекта необходимо учесть энергетический потенциал города, ведь это основа для планирования использования солнечных панелей в качестве источника электроэнергии. В данном разделе рассмотрим основные показатели города Алматы по эффективности солнечной энергетики.

Алматы находится на юге Республики за счет этого в городе преобладает количество солнечных дней в году. На основании данных по погоде в городе были представлены данные по соотношению солнечных, облачных и пасмурных дней в году.



Рисунок 9 – Соотношение солнечных, облачных и пасмурных дней в году

По статистическим данным рисунка – 9 солнечных дней в году – 238, облачных – 86, пасмурных – 42. Можно сделать вывод что количество солнечных дней в году больше чем облачных и пасмурных дней более чем в 2 раза. В среднем этот показатель основан на солнечных днях в теплое время года, что наиболее важно при условии что пользуются электросамокатами в основном именно в теплое время суток. При плохой погоде, это дождь или снег в холодное время года не представляется возможным, из-за невозможности должным образом использовать электросамокаты в качестве средства передвижения.

Приведем среднестатистические значения по количеству солнечных дней на каждый месяц в году.

Таблица 9 – Данные по соотношению солнечных, облачных и пасмурных дней в месяце города Алматы.

Месяц	Солнечных дней	Облачные/пасмурные
Январь	19	8/4
Февраль	14	9/5
Март	18	9/5
Апрель	19	7/5
Май	21	7/3
Июнь	20	6/3
Июль	24	5/2
Август	23	6/2
Сентябрь	24	5/1
Октябрь	22	6/3
Ноябрь	17	8/5
Декабрь	17	10/4

Для объективной оценки необходимо учесть что в облачные дни потенциал выработки энергии падает, но энергии ещё присутствует. В данный период времени солнечная панель может вырабатывать энергию для заряда аккумулятора и в дальнейшем при полном заряде электросамокатов установленных возле данной зарядной станции.

Также для объективной оценки солнечного потенциала на Рисунке 9 [11] можно оценить потенциал производства солнечной энергии в Казахстане и в частности города Алматы. Так, на Рисунке 9 суммарные дневные значения потенциала производства фотоэлектрической энергии составляет от 3,6 до 3,8 кВт · ч.

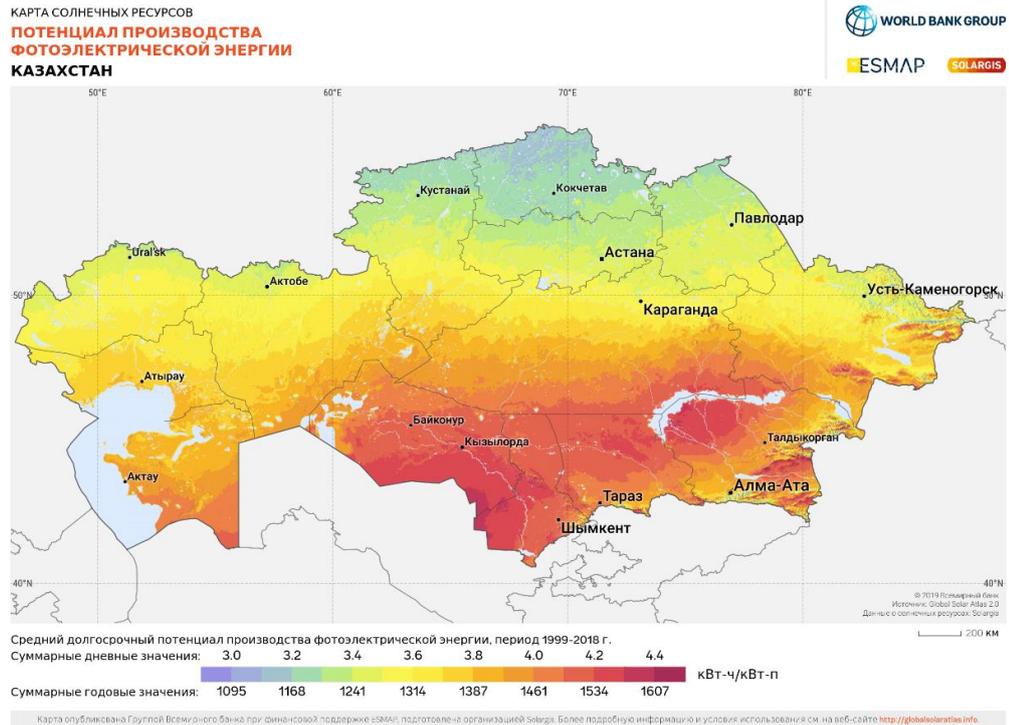


Рисунок 10 – Фотоэлектрический потенциал электричества

На рисунке 11 – представлена суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность. В районе г. Алматы суммарные дневные значения достигают до $3,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ [11].

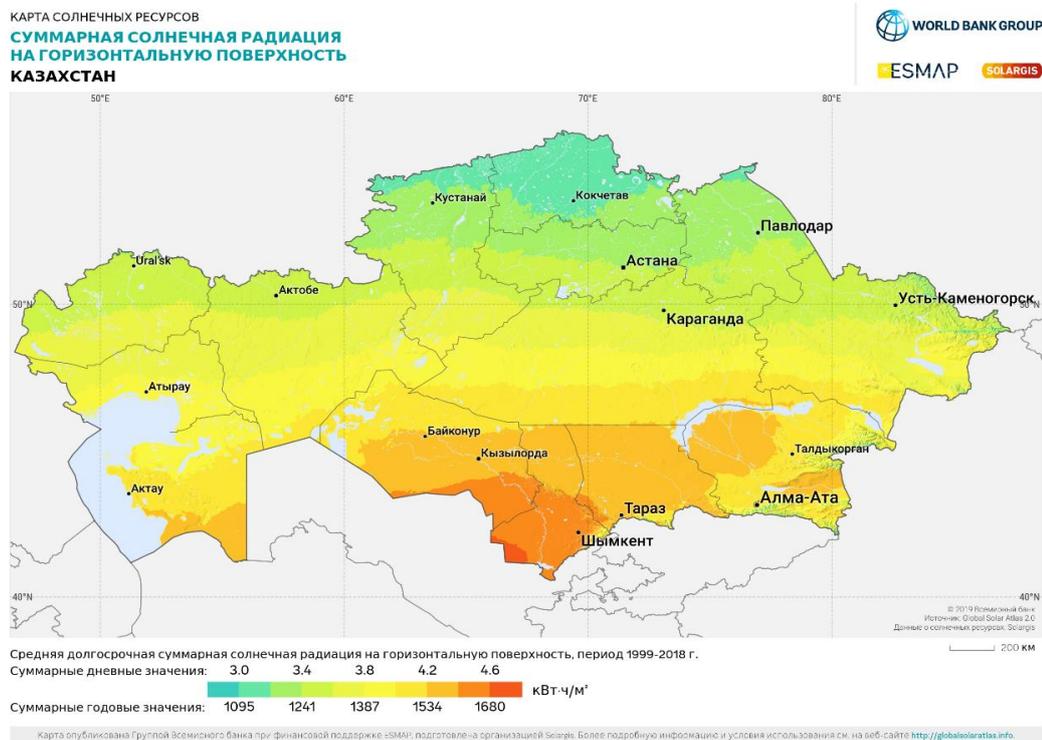


Рисунок 11 – Глобальное горизонтальное облучение

На основании статистических данных можно сделать вывод что потенциал использования солнечных панелей в городе Алматы высокий. Установка автономных зарядных станций будет эффективной способом решить проблему зарядки как каршеринговых электросамокатов так и личного транспорта жителей города. Также, можно оценить возможность установки автономных зарядных станций в других городах Казахстана. Наиболее благоприятные места для установки зарядных станций это южные города Республики, наименьший потенциал у городов находящихся северной части страны.

Для информации приведем статистические данные по количеству солнечных дней по месяцам для городов с наиболее большим потенциалом установки автономных зарядных станций.

Таблица 10 – Количество солнечных дней в году для городов Казахстана

Город Месяц	Солнечные/ пасмурные дни		
	Шымкент	Тараз	Кызылорда
Январь	15/7	15/6	13/3
Февраль	13/7	14/7	14/3
Март	14/13	15/11	17/6
Апрель	20/13	20/12	23/7
Май	28/9	29/9	30/3
Июнь	28/7	29/8	29/3
Июль	30/2	30/3	31/2
Август	30/2	30/2	31/2
Сентябрь	28/4	29/4	29/1
Октябрь	21/7	22/6	24/3
Ноябрь	17/7	17/7	18/5
Декабрь	15/7	18/6	15/4

По приведенным среднестатистическим данным делаем выводы что в представленных 3 городах преобладают солнечные дни над пасмурными и в теории возможно устанавливать автономные зарядные станции.

По итогам данного раздела получили данные позволяющие сделать вывод что установка автономных зарядных станций возможна в четырех представленных городах, это города Алматы, Шымкент, Кызылорда и Тараз.

4 Разработка автономной зарядной станции для электросамокатов

Для начала необходимо выделить основные характеристики которые понадобятся для расчетов эффективности автономной зарядной станции. Из первого раздела возьмем основные характеристики элементов зарядной станции необходимые для расчетов:

1. Модуль Jinko JKM525M-72HL4-DVB

Максимальная мощность $P_M = 525$ Вт;

Для проведения расчетов также необходимо определить модель электросамоката для возможности оценить эффективность зарядной станции.

В качестве примерной модели была выбрана модель электросамоката Speedway MINI 4 с характеристиками представленными в таблице.

Таблица 11 – Характеристики электросамоката Speedway MINI 4

Производитель	Minimotors
Модель	Speedway MINI 4/48V15Ah PRO
Мощность, Ватт	500
Скорость, Км/час	55
Запас хода	55
Емкость аккумулятора	48В 15Ач
Максимальная нагрузка, кг.	120

Остальные элементы выбирались с учетом характеристик солнечной панели (модуля) и для возможности установки и оценки примерной стоимости основных элементов зарядной станции. В дальнейшем начнем производить расчеты для определения теоретическое количество производимой энергии от солнечной панели для заряда электросамокатов.

В таблице 12 будет представлена стоимость каждого из модулей автономной зарядной станции для электросамокатов. На основании данной таблицы можем сделать вывод расходы на приобретение основных электрических приборов без учета стоимости конструкции

Таблица 12 – Расчет стоимости основных элементов автономной зарядной станции

Элементы автономной зарядной станции	Стоимость 1 станции, тг
Солнечная панель Jinko JKM525M-72HL4-DVB	120 000
Контроллер заряда аккумуляторов CM3024Z 30A	14 900
DC-DC повышающий преобразователь	3 470
Аккумуляторная батарея 12В 7Ач	7 500

4.1 Расчет установки автономной зарядной станции для электросамокатов

Для примера расчета взята за основу модель электросамоката Speedway MINI 4 с характеристиками из таблицы 10.

Емкость батареи электросамоката:

$$P = U * Q = 48 \text{ В} * 15 \text{ Ач} = 720 \text{ Втч} \quad (1)$$

Из первого расчета находим емкость батареи в Втч для упрощения дальнейших расчетов.

Расход батареи электросамоката на 1 км:

$$E = \frac{P}{L} = \frac{720 \text{ Втч}}{55 \text{ км}} = 13,09 \text{ Втч/км} \quad (2)$$

По второму уравнению было найдено значение расхода емкости аккумулятора электросамоката на один километр.

На основе характеристик солнечной панели произведем расчет получаемой энергии в солнечные и облачные дни месяца:

1) Расчет получаемой энергии в солнечные дни:

Энергия получаемая от солнечных панелей в сутки, при примерной солнечной выработки 5 ч в сутки:

$$P_c = P * t = 530 * 5 = 2650 \text{ Втч в сутки} \quad (3)$$

Предварительно по полученному значению 1 солнечная панель способна зарядить в сутки 3,5 электросамоката (2520 Втч). Для дальнейшего расчета возьмем данное значение за постоянную для предварительного расчета возможностей заряда автономной зарядной станции.

Возможный пробег электросамокатов от заряда полученного на автономной зарядной станции:

$$L = \frac{P_{\text{э}}}{E} = \frac{2650}{13,09} = 202,4 \text{ км.} \quad (4)$$

Уравнение четвертое показывает что 1 солнечная панель может зарядить аккумулятор электросамоката на преодоление 202 км за сутки.

Для расчета возможной прибыли от пробега электросамокатов берем среднее значение стоимости в компаниях по прокату самокатов 120 тг/км.

$$120 * 202,4 = 24\ 300 \text{ тг в сутки.} \quad (5)$$

Приблизительное сумма для июня месяца при 20 солнечных днях из таблицы 8 составит:

$$24\ 300 * 20 = 486\ 000 \text{ тг в месяц.} \quad (6)$$

Возможная прибыль будет составлять 486 000 тг в месяц для 1 автономной зарядной станции.

2) Расчет получаемой энергии в облачные и пасмурные дни:

Энергия получаемая от солнечных панелей в сутки, при примерной солнечной выработки 5 ч в сутки:

$$P_c = P * t * 0,5 = 530 * 5 * 0,5 = 1325 \text{ Втч в сутки} \quad (7)$$

Коэффициент 0,5 учитывает пасмурные дни при которых КПД солнечной панели может падать от 20 до 80 процентов.

Предварительно по полученному значению 1 солнечная панель способна зарядить в сутки 1,5 электросамоката (1080 Втч). Для дальнейшего расчета возьмем данное значение за постоянную для предварительного расчета возможностей заряда автономной зарядной станции.

Возможный пробег электросамокатов от заряда полученного на автономной зарядной станции:

$$L = \frac{P_{\text{э}}}{E} = \frac{1080}{13,09} = 82,5 \text{ км.} \quad (8)$$

Для расчета возможной прибыли от пробега электросамокатов берем среднее значение стоимости в компаниях по прокату самокатов 120 тг/км.

$$120 * 82,5 = 9900 \text{ тг в сутки.} \quad (9)$$

Приблизительное сумма для июня месяца при 6 облачных и 3 пасмурных днях из таблицы 8 составит:

$$9900 * 9 = 89\ 100 \text{ тг в месяц.} \quad (10)$$

Возможная прибыль будет составлять 189 100 тг в месяц для 1 автономной зарядной станции.

Общая прибыль с учетом обоих вариантов погодных условий будет равна:

$$486\ 000 + 89\ 100 = 575\ 100 \text{ тг.} \quad (11)$$

По полученным данным делаем вывод что комплекс из 1 солнечной панели может приносить прибыль для компаний по аренде электросамокатов около 575 100 тг. в месяц. Данные расчеты являются теоретическими, так как ранее говорилось что стоимость поездки на электросамокате может варьироваться от спроса на электросамокаты и стоимость за проезд 1 км может выходить как и больше по стоимости так и меньше. Также стоимость проезда на электросамокатах у компаний зависит больше от времени чем от расстояния, возможно потребитель проехать километр за минуту или же наоборот за более долгий промежуток времени.

4.2 Концептуальный прототип автономной зарядной станции

Данный проект представляет собой концептуальный прототип автономной зарядной станции, предназначенной для установки в разных частях города без обязательного подключения к электрической сети города Алматы.

Конструкция и Размеры: прототип зарядной станции представляет собой конструкцию из металлических уголков размерами 300x200x200 миллиметров.



Рисунок 12 – Модель конструкции зарядной станции

Основная конструкция представляет собой каркас собираемый в виде прямоугольного треугольника с продольными уголками для крепления солнечных панелей и общей устойчивости конструкции. Каркас из уголков обеспечивает необходимую прочность и устойчивость, а также легкость в сборке и транспортировке. Металлические уголки выбраны за их доступность, долговечность и способность выдерживать значительные нагрузки.

Преимущества конструкции зарядной станции:

1) Прочность и Устойчивость: Каркас из металлических уголков обеспечивает высокую прочность и устойчивость конструкции, что особенно важно в условиях ветровых нагрузок и других неблагоприятных погодных условий.

2) Оптимальный Угол Наклона: Прямоугольный треугольник позволяет установить солнечные панели под оптимальным углом, что увеличивает их эффективность и производительность.

3) Легкость Сборки и Транспортировки: Конструкция из уголков легко собирается и разбирается, что упрощает транспортировку и установку зарядной станции в различных местах.

4) Универсальность: Продольные уголки обеспечивают возможность крепления различных типов солнечных панелей, что делает конструкцию универсальной и адаптируемой под разные условия и требования.

5) Экономичность: Использование стандартных металлических уголков снижает затраты на материалы и изготовление конструкции, делая проект экономически выгодным.

Модель зарядной станции была собрана совместно с научным руководителем и однокурсником по магистратуре (Рисунок 13).



Рисунок 13 – Предлагаемый вариант каркаса автономной зарядной станции

Конструкция для зарядных станций может собираться из уголков модели 50x50x5мм. Произведем расчет стоимости одной станции из уголков 50x50x5мм: Общая длина металлического каркаса составит приблизительно 23 м. Стоимость уголка 50x50x5мм L=12м – 1992 тг/п.м [16]. Из чего следует что стоимость необходимого метража уголка составит – 3 984 тг.

5 Основные условия для выбора места установки зарядных станций для электросамокатов

Выбор местоположения для автономных зарядных станций для электросамокатов требует внимательного анализа различных факторов, чтобы обеспечить удобство использования, эффективность зарядки и безопасность. Вот несколько ключевых аспектов, которые следует учесть при выборе места:

Размещение зарядных станций должно быть в местах с важными транспортными узлами общественного транспорта. Такие места это станции метрополитена и автобусные остановки.

Также размещение зарядных станций должно учитывать проходимость. К этому можно отнести популярность мест для установки, торгов-развлекательные центры, вблизи парков, средних и высших учебных заведениях и др.

И последним из факторов является зона возможного использования арендуемых электросамокатов. На рисунке 14 приведен пример зоны ограниченного проката электросамокатов Яндекс GO.

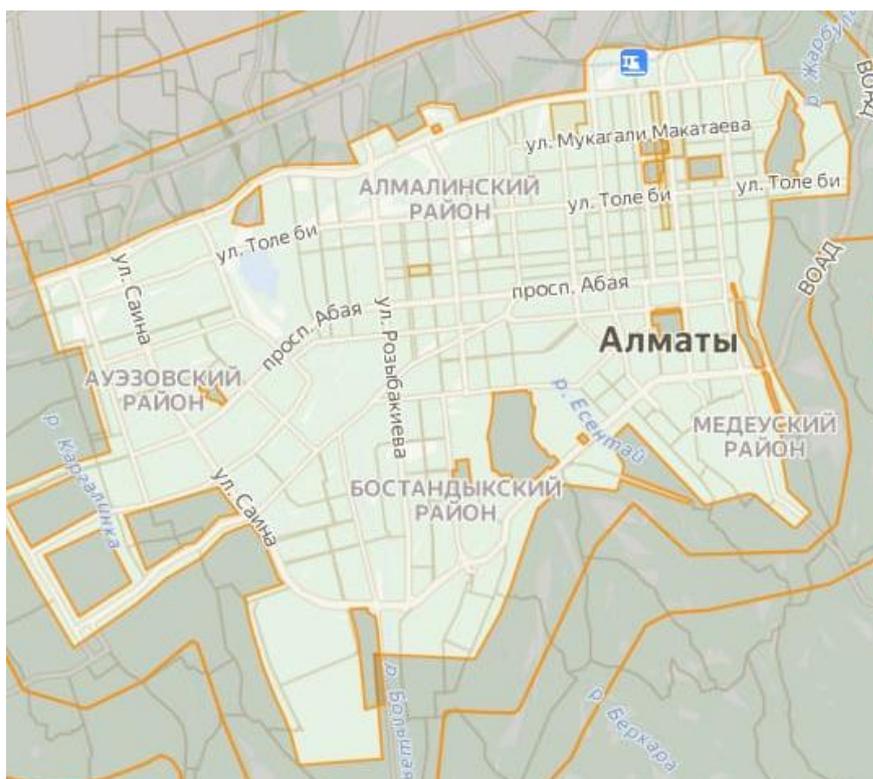


Рисунок 14 – Зона действия проката самокатов Компании Яндекс GO

Эти аспекты я считаю наиболее важные для выбора места установки зарядных станций.

5.1 Анализ города Алматы

Основными видами доступного общественного транспорта в городе Алматы являются автобусные маршруты и метрополитен.

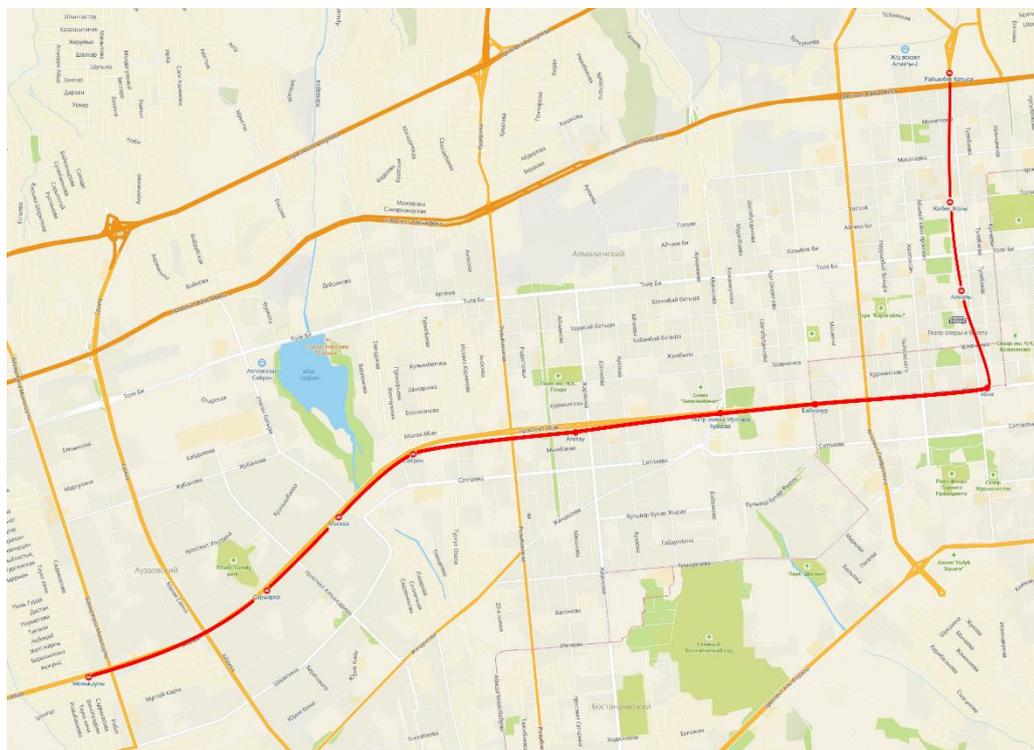
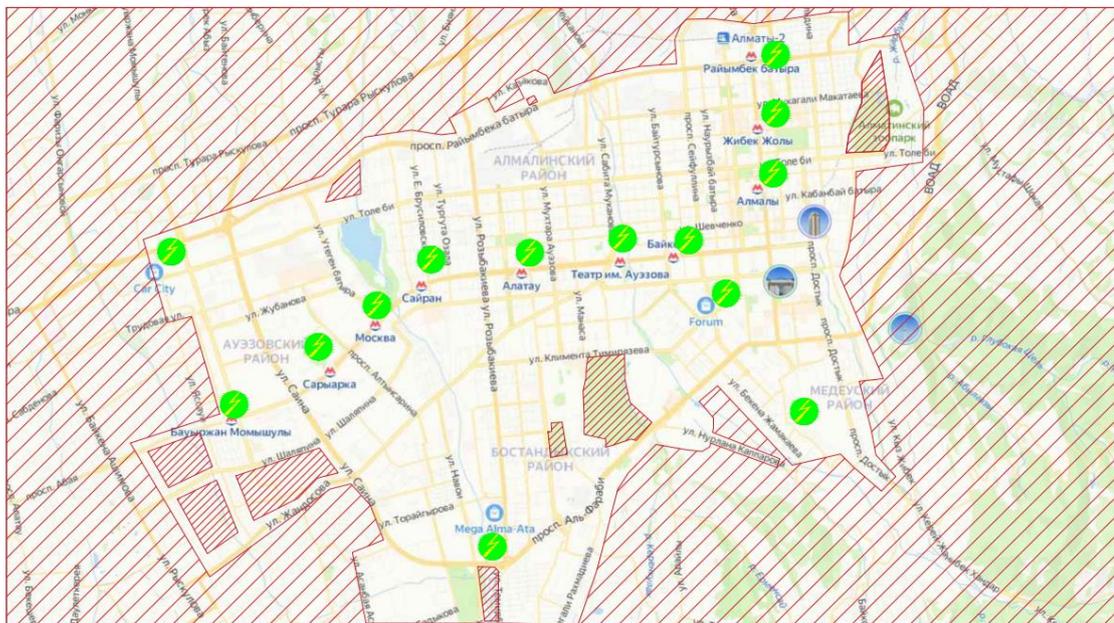


Рисунок 15 – Схема метрополитена города Алматы

В городе на данный момент действует одна ветвь метрополитена со станции Райымбек батыра до станции Бауржана Момышулы. С каждым годом увеличивается пассажиропоток метрополитена. По статистике: «За I квартал 2023 года было перевезено 5 958 459 пассажиров, за аналогичный период 2022 года было перевезено 2 158 072 пассажира». Это позволяет сделать вывод что на станциях метро большая проходимость людей, что означает идеальное место для установки автономных зарядных станций для электросамокатов. Люди смогут приезжать на электросамокатах и ставить его на зарядную станцию, а в свою очередь выходящие из метро смогут воспользоваться самокат для дальнейшего передвижения по своему маршруту. При таком условии зарядные станции будут использоваться постоянно.

Основные места где предлагаю устанавливать на станциях метрополитена и также возле крупных ТРЦ и ТЦ города. Это позволит эффективно использовать зарядные станции, и оценить потенциал развития такого способа заряда аккумуляторов. Представленная схема (Рисунок 16) по возможной расстановке зарядных станций. Возле каждой станции метрополитена устанавливается будет установлено несколько модулей для

заряда, и также станции возможно установить возле ТРЦ «Forum» и ТРЦ «Mega Alma-Ata».



Условные обозначения:



- зона ограниченного использования электросамокатов



- район для установки зарядной станции

Рисунок 16 – Предлагаемая карта установки автономных зарядных станций для электросамокатов

5.2 Расчет необходимого количества зарядных станций

По предложенной карте из Рисунка 17, необходимо определить какое количество модулей необходимо установить зарядных станций. Для этого с помощью приложения Яндекс GO проанализируем количество электросамокатов находятся вблизи каждой из станций метрополитена.

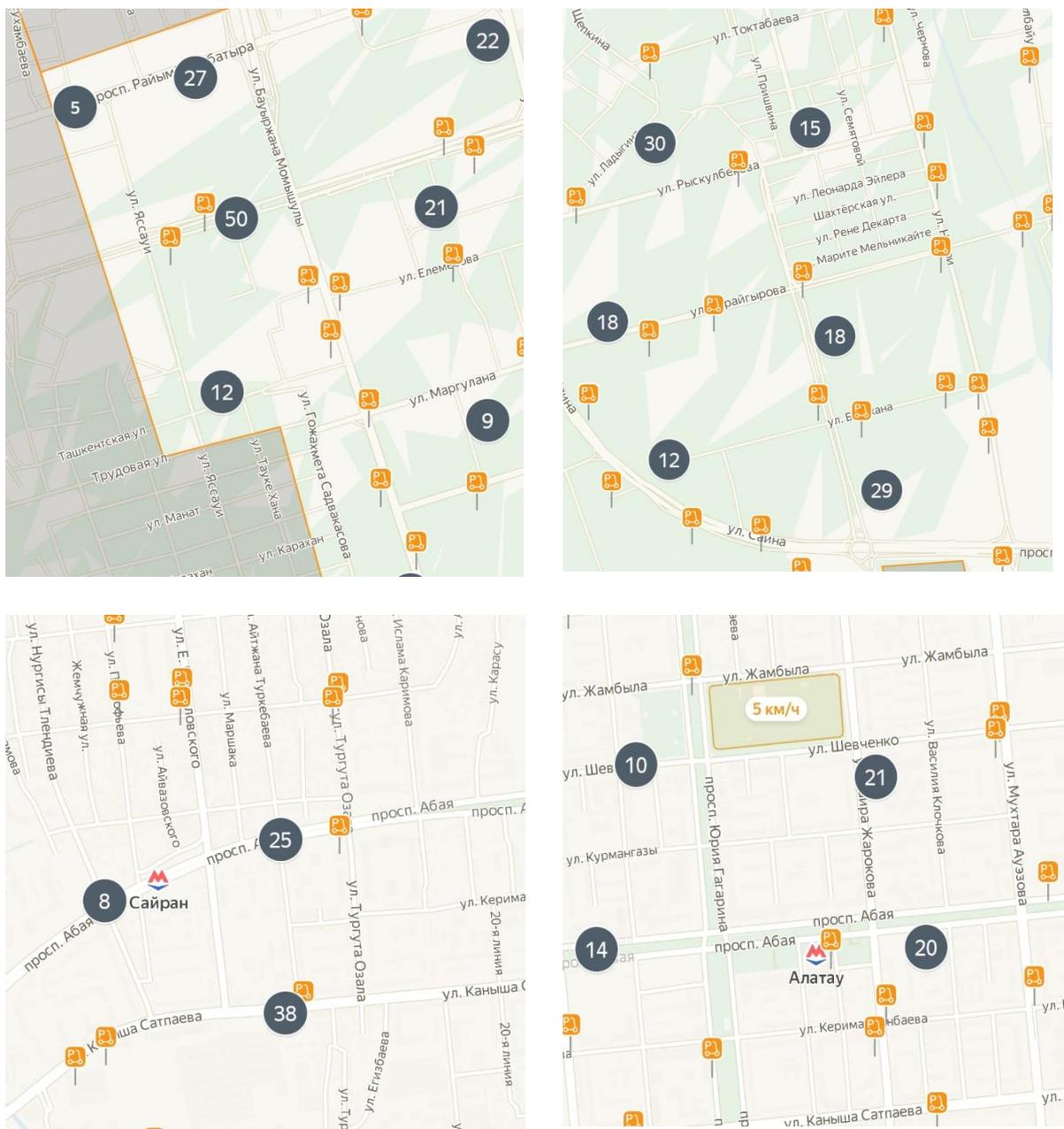


Рисунок 17 – Скриншоты с приложения Яндекс GO по расположению свободных электросамокатов

Из собранной информации вносим данные в таблицу 13 для расчета среднего количества электросамоката в районах станций метрополитена.

Для расчета среднего количества электросамокатов используем формулу:

$$N = \frac{\text{Утро} + \text{Обед} + \text{Вечер}}{3} \quad (12)$$

Таблица 13 – Среднее количество арендуемых электросамокатов возле станций метро

Место установки	Утро	Обед	Вечер	Среднее количество электросамокатов в сутки
Станция Бауржана Момышулы	48	55	43	49
Станция Сарыарка	53	50	48	50
Станция Москва	60	46	48	51
Станция Сайран	71	49	67	62
Станция Алатау	50	76	52	59
Станция Театр им. Ауэзова	66	60	78	68
Станция Байконур	48	57	47	51
Станция Абая	81	43	55	60
Станция Алмалы	75	51	54	60
Станция Жибек Жолы	44	40	52	45
Станция Райымбек батыра	56	38	52	49

В дальнейшем проведем расчет необходимого количества солнечных панелей и модулей автономной зарядки учитывая что:

1) Одна солнечная панель в сутки может зарядить 1,5 электросамоката в день;

2) В одном модуле автономной зарядной станции может быть установлено 2 панели.

Все расчеты будут проводится по следующим формулам:

Необходимое количество солнечных панелей на станции Райымбек батыра

$$N_{\text{п}} = \frac{N}{1,5} = \frac{49}{1,5} = 33 \text{ солнечные панели,} \quad (13)$$

где:

$N_{\text{п}}$ – количество солнечных панелей;

N – среднее количество самокатов возле станции метро;

1,5 – количество самокатов заряжаемых от одной панели;

В дальнейшем рассчитаем необходимое количество модулей для установки:

$$M = \frac{N_{\text{п}}}{2} = \frac{33}{2} \approx 16,5 \text{ модулей,} \quad (14)$$

Для станции метро Райымбек батыра будет достаточно 17 модулей автономной зарядной станции.

Таблица 14 – Расчеты количества необходимых модулей

Место установки	Среднее количество самокатов в сутки	Количество самокатов заряжаемых от 1 станции в сутки	Необходимое количество солнечных панелей	Необходимое количество автономных зарядных станций
Станция Бауржана Момышулы	49	1,5	33	16
Станция Сарыарка	50	1,5	33	17
Станция Москва	51	1,5	34	17
Станция Сайран	62	1,5	41	21
Станция Алатау	59	1,5	39	20
Станция Театр им. Ауэзова	68	1,5	45	23
Станция Байконур	51	1,5	34	17
Станция Абая	60	1,5	40	20
Станция Алмалы	60	1,5	40	20
Станция Жибек Жолы	45	1,5	30	15
Станция Райымбек батыра	49	1,5	33	17

Общее количество необходимых модулей можно будет распределить и установить возле каждого из входов в метрополитен.

Так как пример расчета производили для станции метрополитена Райымбек батыра, то распределение зарядных станций произведем для этой же станции.

На станции Райымбек батыра имеется в общем шесть входов-выходов. На пересечении проспектов Райымбека и Назарбаева четыре входа-выхода и на проспекте Назарбаева два входа-выхода. На пересечении проспектов необходимо будет установить по три модуля зарядной станции и по два модуля на проспекте Назарбаева. Данное количество зарядных станций должно хватить для подзарядки ежедневно примерно шестидесяти четырех электросамокатов.

6 Общая стоимость автономной зарядной станции

Для расчета общей стоимости проекта автономной зарядной станции для электросамокатов будут использована таблица 12. Из нее следует что стоимость основных элементов составляет:

Солнечная панель Jinko JKM525M-72HL4-DVB – 120 000 тг;

Контроллер заряда аккумуляторов CM3024Z 30A – 14 900 тг;

DC-DC повышающий преобразователь – 3 470 тг;

Аккумуляторная батарея 12В 7Ач – 7 500 тг.

На опорной конструкции зарядной станции будет расположено два модуля солнечной панели соединенных параллельно, остальные элементы будем устанавливать по одной единице на опорную конструкцию.

В таблице 15 будет учтена стоимость общая стоимость каждого элемента автономной зарядной станции, опорной конструкции и монтажных работ.

Таблица 15 – Сводная спецификация автономной зарядной станции с учетом монтажных работ

Наименование	Количество	Стоимость, тг
Солнечная панель Jinko JKM525M-72HL4-DVB	2 шт	240 000
Контроллер заряда аккумуляторов CM3024Z 30A	1 шт	14 900
DC-DC повышающий преобразователь	1 шт	3 470
Аккумуляторная батарея 12В 7Ач	1 шт	7 500
Уголок 50x50x5мм L=12 м	2 шт	3 984
Расходный материал (Болты и гайки)	1 комплект	3 000
Монтажные работы (Сборка зарядной станции)	1 комплекс	25 000
Всего	1 станция	297 854

Относительно таблицы 15 можно сделать вывод что общая стоимость 1 станции выходит почти 300 000 тысяч тенге, что почти в два раза меньше чем предположительная окупаемость за месяц 575 100 тысяч тенге.

Таблица 16 – Сводная информация по потребности зарядных станций на каждой из станций метрополитена

Место установки	Количество зарядных станций, шт	Общая стоимость, тг
Станция Бауржана Момышулы	16	4 765 664
Станция Сарыарка	17	5 063 518
Станция Москва	17	5 063 518
Станция Сайран	21	6 254 934
Станция Алатау	20	5 957 080
Станция Театр им. Ауэзова	23	6 850 642
Станция Байконур	17	5 063 518
Станция Абая	20	5 957 080
Станция Алмалы	20	5 957 080
Станция Жибек Жолы	15	4 467 810
Станция Райымбек батыра	17	5 063 518
		60 464 362

7 Беспроводная зарядка для электросамокатов

Беспроводная зарядка электросамокатов представляет собой перспективное направление в области микромобильности, обеспечивая удобство и гибкость для пользователей. В этой главе рассматриваются основные принципы беспроводной зарядки, её преимущества и недостатки, а также методология расчета параметров системы беспроводной зарядки для электросамокатов.

Беспроводная зарядка основана на принципе электромагнитной индукции, при котором энергия передается от передающей катушки к принимающей катушке без использования проводов. Основные компоненты системы беспроводной зарядки включают:

- 1) Передающая катушка: Генерирует переменное магнитное поле.
- 2) Принимающая катушка: Индуцирует электрический ток под воздействием переменного магнитного поля.
- 3) Резонансные конденсаторы: Используются для настройки системы на резонансную частоту, что повышает эффективность передачи энергии.
- 4) Контроллеры и преобразователи: Управляют процессом зарядки и преобразуют переменный ток в постоянный для зарядки аккумулятора.

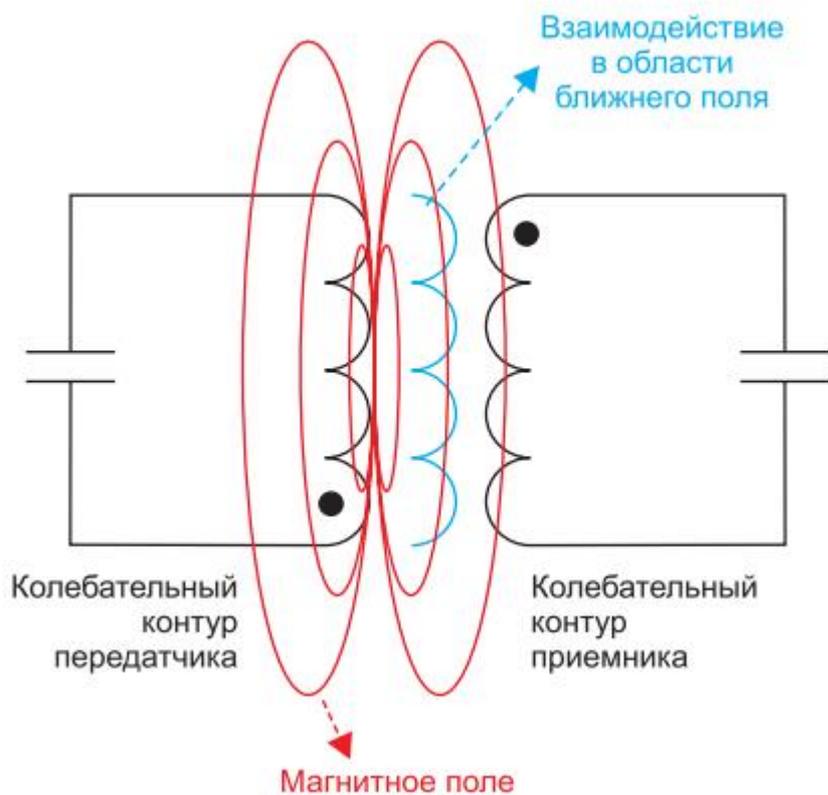


Рисунок 18 – Принцип беспроводной передачи энергии

Для осуществления беспроводной зарядки электросамокатов необходимо чтобы катушка передатчик была подключена к источнику питания, при протекании тока через катушку передатчика в ней образуется переменное магнитное поле. В последствии катушку приемника необходимо разместить в близи катушки передатчика. В катушке приемника будет индуцироваться переменный магнитный ток, который попадает на встроенный выпрямитель будет преобразовывать в постоянный ток для заряда аккумулятора.

Важные аспекты беспроводной зарядки:

1) Для максимальной эффективности катушки передатчика и приемника должны быть правильно выровнены относительно друг друга.

2) Эффективность передачи энергии снижается с увеличением расстояния между катушками. Обычно индуктивная зарядка эффективна на небольших расстояниях (несколько миллиметров до нескольких сантиметров).

3) Частота переменного тока, подаваемого на катушку передатчика, влияет на эффективность передачи энергии. Обычно используются высокие частоты для повышения эффективности.

Беспроводная зарядка для электросамокатов имеет ряд преимуществ, которые делают ее привлекательной как для пользователей, так и для производителей. Основные преимущества беспроводной зарядки:

1) Отсутствие кабелей: Пользователям не нужно возиться с кабелями и разъемами, что упрощает процесс зарядки.

2) Автоматизация: Зарядка начинается автоматически, как только электросамокат припаркован на платформе, что экономит время и усилия.

3) Меньше износа: Отсутствие механических соединений снижает износ разъемов и кабелей, что увеличивает срок службы оборудования.

4) Снижение риска короткого замыкания: Отсутствие прямого электрического контакта снижает риск короткого замыкания и других электрических проблем.

5) Защита от влаги и пыли: Беспроводные системы менее подвержены воздействию внешних факторов, таких как влага и пыль, что делает их более надежными в различных условиях эксплуатации.

6) Удобство для общественных систем: В системах аренды электросамокатов беспроводная зарядка позволяет быстро и легко заряжать множество устройств без необходимости подключения каждого из них вручную.

7) Снижение времени простоя: Быстрая и удобная зарядка позволяет сократить время простоя электросамокатов, увеличивая их доступность для пользователей.



Рисунок 19 – Беспроводная зарядка EasyCharge

7.1 Расположение катушек беспроводной зарядки электросамоката

Основная задача при проектировании катушки состоит в выборе оптимальной пары катушек, которые обеспечат максимальный коэффициент связи при минимальных затратах. Первым шагом является определение положения катушек на самокате. Для этого компонента существует несколько возможных вариантов размещения.

Это решение зависит от трех ключевых факторов: ограниченного пространства в электросамокате, отсутствия помех для пользователя и влияния окружающих материалов на магнитное поле и передачу энергии. Нижняя часть самоката наиболее оптимальное место, так как она минимально мешает пользователю, а первичную катушку можно установить на земле без дополнительных конструкций.



Рисунок 20 – Напольная беспроводная зарядка от Компании INTIS

Основная проблема беспроводного заряда, это наличие зазора между приемником и передатчиком (обычно воздушного зазора) . Это расстояние приводит к потерям в эффективности, и по мере его увеличения эффективность продолжает снижаться. Кроме того, любые объекты, находящиеся рядом с путем передачи энергии, могут также влиять на её эффективность. Помимо снижения эффективности, в зависимости от материала, эти объекты могут нагреваться из-за передаваемой энергии (вызванной вихревыми токами в металле и т.д.). В этом случае необходимо интегрировать дополнительные блоки для обнаружения посторонних объектов, чтобы предотвратить повреждение системы передачи энергии и избежать опасных последствий.

Еще одна проблема заключается в воздействии электромагнитного поля, которое может оказывать влияние на людей и животных. Хотя электросамокаты работают при относительно низких мощностях (сотни ватт) и с небольшим расстоянием между первичной и вторичной сторонами, влияние электромагнитного поля остается незначительным. Однако в случае наличия у человека медицинских имплантатов, воздействие на организм должно быть тщательно проанализировано. Для уменьшения воздействия электромагнитного поля на человеческое тело и медицинские имплантаты

применяются дополнительные пассивные или активные методы экранирования. В простых решениях используются металлические экраны или сердечники, которые концентрируют поле и предотвращают его утечку, сосредотачивая его между передающими и приемными катушками.

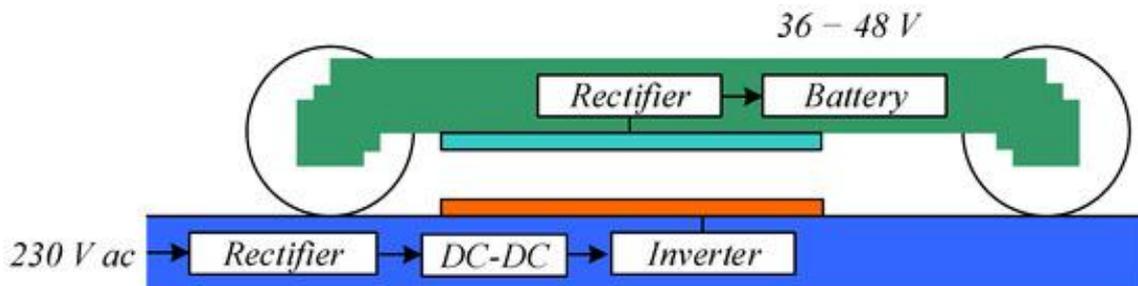


Рисунок 21– Структура беспроводной зарядки

Общая схема структуры беспроводной зарядки показана на Рисунке 21. Передатчик (синий цвет) выпрямляет сетевое напряжение с использованием высокочастотного инвертора, и передатчик передает энергию на приемную катушку. Эта высокочастотная энергия выпрямляется для зарядки батареи транспортного средства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автономные зарядные станции имеют большой потенциал в развитии инфраструктуры передвижения с помощью электросамокатов. Внедрение зарядных станций может способствовать разгрузке автомобильного трафика на городских дорогах, за счет комфортабельности расположения станций, для подзарядки личного электросамоката для увеличения пробега по городу. Как показывают расчеты 1 зарядная станция способна заряжать как минимум 1,5 электросамоката в сутки, в проекте расчёте учитывается установка 15 аналогичных станций, что позволит заряжать около 23 электросамокатов в сутки.

Также в данной работе представил условия выбора места для установки. Основным фактором является проходимость и популярность места где планируем установить зарядную станцию. В данном случае для нашего города первоначально нужно устанавливать их на станциях метрополитена и возле ТРЦ, где ежедневно проходит большой поток людей. Что и было представлено в данной статье. Также были предоставлены расчеты по необходимому количеству модулей автономной зарядной станции для каждой из станций нашего метрополитена.

В заключении хочу добавить что установка зарядных станций для электросамокатов поможет развитию удобной инфраструктуры для городской мобильности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 M. Barker, T. Pepper, R. Dua, K. Fan Electric scooters: convenient transport or ED headache. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266435620305787>

2 Angela Neves, Hugo Ferreira, Francisco J. Lopes, Radu Godina, Environmental Assessment of Electric Scooters: Unveiling Research Gaps, Analyzing Factors, and Charting Pathways for Sustainable Micromobility. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924001388>

3 Khashayar Kazemzadeh, Frances Sprei, Towards an electric scooter level of service: A review and framework. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214367X2200062X>

4 Hugo Badia, Erik Jenelius, Shared e-scooter micromobility: review of use patterns, perceptions and environmental impacts. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S0144164723000119>

5 Mahdi Samadzad, Hossein Nosratzadeh, Hossein Karami, Ali Karami, What are the factors affecting the adoption and use of electric scooter sharing systems from the end user's perspective? Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X23000598>

6 M. Abouelela, C. Al Haddad, C. Antoniou, Are young users willing to shift from carsharing to scooter-sharing? Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/https>

7 K. Baek, H. Lee, J. H. Chung, J. Kim, Electric scooter sharing: How do people value it as a last-mile transportation mode? Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/https>

8 A. D. Bozzi, A. Aguilera, Shared e-scooters: A review of uses, health and environmental impacts, and policy implications of a new micro-mobility service Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/https>

9 A. Curl, H. Fitt, Same, but different? Cycling and e-scooter in a rapidly changing urban transport landscape. Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/https>

10 Tiger Pro 72HC-TV 525-545 Watt Available at: <https://www.jinkosolar.com/uploads/JKM525-545M-72HL4-TV-F1-EN.pdf>

11 Kazakhstan PVOUT Photovoltaic-power-potential-map GlobalSolarAtlas World-Bank-Esmap-Solargis. Available at:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kazakhstan_PVOUT_Photovoltaic-power-potential-map_GlobalSolarAtlas_World-Bank-Esmap-Solargis.png

12 ЯндексGo. Available at: <https://go.yandex.ru/kz/lp/rides/scooter>

13 Yi-Wen ChenChen-Yang ChengChung-Hsuan Yu, Location optimization for multiple types of charging stations for electric scooters. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494618300978>

14 Rui Zhu , Daniel Kondor, Cheng Cheng, Xiaohu Zhang, Paolo Santi , Man Sing Wong, Carlo Ratti. Solar photovoltaic generation for charging shared

electric scooters. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261922001854>

15 Osorio J. et al. Optimal rebalancing and on-board charging of shared electric scooters. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261521000552>

16 Avangard AST kz. Available at: <https://avangard-w.kz/ugolok-50h50h5>

17 A. Trivino-Cabrera, J. M. Gonzalez-Gonzalez and J. A. Aguado, "Design and implementation of a cost-effective wireless charger for an electric bicycle", IEEE Access, vol. 9, pp. 85277-85288, 2021. Available at:

https://www.researchgate.net/publication/351967865_Design_and_Implementation_of_a_Cost-Effective_Wireless_Charger_for_an_Electric_Bicycle

18 O. Altintasi and S. Yalcinkaya, "Siting charging stations and identifying safe and convenient routes for environmentally sustainable E-scooter systems", Sustain. Cities Soc., vol. 84, Sep. 2022. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670722003407?via%3Dihub>

19 Y. Wang, J. Wu, K. Chen and P. Liu, "Are shared electric scooters energy efficient?", Commun. Transp. Res., vol. 1, Dec. 2021. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772424721000226?via%3Dihub>

20 A. Li, P. Zhao, X. Liu, A. Mansourian, K. W. Axhausen and X. Qu, "Comprehensive comparison of E-scooter sharing mobility: Evidence from 30 European cities", Transp. Res. D Transp. Environ., vol. 105, Apr. 2022. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920922000591?via%3Dihub>

21 M. S. Kumar and S. T. Revankar, "Development scheme and key technology of an electric vehicle: An overview", Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 70, pp. 1266-1285, Apr. 2017. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211631067X?via%3Dihub>

22 S. Statharas, Y. Moysoglou, P. Siskos, G. Zazias and P. Capros, "Factors influencing electric vehicle penetration in the EU by 2030: A model-based policy assessment", Energies, vol. 12, no. 14, pp. 2739, Jul. 2019. Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/14/2739>

23 S. I. Kwag, U. Hur and Y. D. Ko, "Sustainable electric personal mobility: The design of a wireless charging infrastructure for urban tourism", Sustainability, vol. 13, no. 3, pp. 1270, Jan. 2021. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1270>

24 Z. Yan, Y. Zhang, K. Zhang, B. Song, S. Li, T. Kan, et al., "Fault-tolerant wireless power transfer system with a dual-coupled LCC-S topology", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 68, no. 12, pp. 11838-11846, Dec. 2019. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8854162>

25 A. Trivino, J. M. González-González and J. A. Aguado, "Wireless power transfer technologies applied to electric vehicles: A review", *Energies*, vol. 14, no. 6, pp. 1547, Mar. 2021. Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/6/1547>

26 H. Hayashi, T. Sasatani, Y. Narusue and Y. Kawahara, "Design of wireless power transfer systems for personal mobility devices in city spaces", *Proc. IEEE 90th Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, pp. Available at:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8891268>

27 C. H. Kwan, J. M. Arteaga, N. Pucci, D. C. Yates and P. D. Mitcheson, "A 110W E-scooter wireless charger operating at 6.78 MHz with ferrite shielding", *Proc. IEEE PELS Workshop Emerg. Technol. Wireless Power Transf. (WoW)*, pp. 1-4, Jun. 2021. Available at:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9462885>

28 P. K. Joseph, D. Elangovan and P. Sanjeevikumar, "System architecture design and optimization of a flexible wireless charger for renewable energy-powered electric bicycles", *IEEE Syst. J.*, vol. 15, no. 2, pp. 2696-2707, Jun. 2021. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9105100>

29 V. Kindl, R. Pechanek, M. Zavrel, T. Kavalir and P. Turjanica, "Inductive coupling system for electric scooter wireless charging: Electromagnetic design and thermal analysis", *Electr. Eng.*, vol. 102, no. 1, pp. 3-12, Mar. 2020. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00202-019-00765-1>

30 E. S. Lee, "Frequency-modulation-based IPT with magnetic communication for EV wireless charging", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 70, no. 2, pp. 1398-1408, Feb. 2023. Available at:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9735148>

31 A. Trivino-Cabrera, J. M. Gonzalez-Gonzalez and J. A. Aguado, "Design and implementation of a cost-effective wireless charger for an electric bicycle", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 85277-85288, 2021. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9443100>

32 V.-B. Vu, A. Ramezani, A. Trivino, J. M. Gonzalez-Gonzalez, N. B. Kadandani, M. Dahidah, et al., "Operation of inductive charging systems under misalignment conditions: A review for electric vehicles", *IEEE Trans. Transp. Electrific.*, vol. 9, no. 1, pp. 1857-1887, Mar. 2023. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9750075>

33 V. Shevchenko, O. Husev, B. Pakhaliuk, O. Karlov and I. Kondratenko, "Coil design for wireless power transfer with series-parallel compensation", *Proc. IEEE 2nd Ukraine Conf. Electr. Comput. Eng. (UKRCON)*, pp. 401-407, Jul. 2019. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8879877>

34 Y. J. Hwang and J. Y. Jang, "Design and analysis of a novel magnetic coupler of an in-wheel wireless power transfer system for electric vehicles", *Energies*, vol. 13, no. 2, pp. 332, Jan. 2020. Available at: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/2/332>

35 M. Budhia, G. A. Covic and J. T. Boys, "Design and optimization of circular magnetic structures for lumped inductive power transfer systems", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 11, pp. 3096-3108, Nov. 2011. Available at:

<https://ieeexplore.ieee.org/document/5752254>

36 C. Ziegler, S. Weber, G. Heiland and D. Kraus, "Influences of WPT-coil losses and coupling coefficient on the resonance circuits of wireless power transfer systems", Proc. PCIM Eur.; Int. Exhib. Conf. Power Electron. Intell. Motion Renew. Energy Energy Manag., pp. 1-7, May 2017. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7990741>

37 J. Lu, G. Zhu and C. C. Mi, "Foreign object detection in wireless power transfer systems", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 58, no. 1, pp. 1340-1354, Jan. 2022. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9349194>

38 J. Kim, J. Kim, S. Kong, H. Kim, I.-S. Suh, N. P. Suh, et al., "Coil design and shielding methods for a magnetic resonant wireless power transfer system", Proc. IEEE, vol. 101, no. 6, pp. 1332-1342, Jun. 2013. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6480778>

39 J. M. Gonzalez-Gonzalez, A. Trivino-Cabrera and J. A. Aguado, "Assessment of the power losses in a SAE J2954-compliant wireless charger", IEEE Access, vol. 10, pp. 54474-54483, 2022. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9773313>

40 A. Trivino, J. Sanchez and A. Delgado, "Efficient methodology of the coil design for a dynamic wireless charger", IEEE Access, vol. 10, pp. 83368-83378, 2022. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9852229>

41 Mucko, J.; Strzelecki, R. Errors in the analysis of series resonant inverter/converter assuming sinusoidal waveforms of voltage and current. In Proceedings of the 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), Bydgoszcz, Poland, 29 June–1 July 2016; IEEE: New York, NY, USA, 2016; pp. 369–374. Available at: [https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Errors+in+the+analysis+of+series+resonant+inverter/converter+assuming+sinusoidal+waveforms+of+voltage+and+current&conference=Proceedings+of+the+2016+10th+International+Conference+on+Compatibility,+Power+Electronics+and+Power+Engineering+\(CPE-POWERENG\)&author=Mucko,+J.&author=Strzelecki,+R.&publication_year=2016&pages=369%E2%80%93374](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Errors+in+the+analysis+of+series+resonant+inverter/converter+assuming+sinusoidal+waveforms+of+voltage+and+current&conference=Proceedings+of+the+2016+10th+International+Conference+on+Compatibility,+Power+Electronics+and+Power+Engineering+(CPE-POWERENG)&author=Mucko,+J.&author=Strzelecki,+R.&publication_year=2016&pages=369%E2%80%93374)

42 Choi, S.Y.; Gu, B.W.; Jeong, S.Y.; Rim, C.T. Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway-Powered Electric Vehicles. IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron. 2013, 1, 18–36. Available at: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Advances+in+Wireless+Power+Transfer+Systems+for+Roadway-Powered+Electric+Vehicles&author=Choi,+S.Y.&author=Gu,+B.W.&author=Jeong,+S.Y.&author=Rim,+C.T.&publication_year=2013&journal=IEEE+J.+Emerg.+Sel.+Top.+Power+Electron.&volume=1&pages=18%E2%80%9336&doi=10.1109/JESTPE.2014.2343674

43 Covic, G.A.; Boys, J.T. Modern Trends in Inductive Power Transfer for Transportation Applications. IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron. 2013, 1, 28–41. Available at:

https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Modern+Trends+in+Inductive+Power+Transfer+for+Transportation+Applications&author=Covic,+G.A.&author=Boys,+J.T.&publication_year=2013&journal=IEEE+J.+Emerg.+Sel.+Top.+Power+Electron.&volume=1&pages=28%E2%80%9341&doi=10.1109/jestpe.2013.2264473

44 Patil, D.; McDonough, M.K.; Miller, J.M.; Fahimi, B.; Balsara, P.T. Wireless Power Transfer for Vehicular Applications: Overview and Challenges. *IEEE Trans. Transp. Electrification*. 2017, 4, 3–37. Available at: <https://doi.org/10.1109/tte.2017.2780627>

45 Kim, H.; Hirayama, H.; Kim, S.; Han, K.J.; Choi, R.Z.J. Review of Near-Field Wireless Power and Communication for Biomedical Applications. *IEEE Access* 2017, 5, 21264–21285. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2757267>

46 Chen, Q.; Wong, S.C.; Tse, C.K.; Ruan, X. Analysis, design, and control of a transcutaneous power regulator for artificial hearts. *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 2009, 3, 23–31. Available at: <https://doi.org/10.1109/TBCAS.2008.2006492>

47 Li, H.; Li, J.; Wang, K.; Chen, W.; Yang, X. A Maximum Efficiency Point Tracking Control Scheme for Wireless Power Transfer Systems Using Magnetic Resonant Coupling. *IEEE Trans. Power Electron.* 2015, 30, 3998–4008. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2014.2349534>

48 Wang, C.-S.; Stielau, O.H.; Covic, G.A. Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2005, 52, 1308–1314. Available at: <https://doi.org/10.1109/TIE.2005.855672>

49 Shevchenko, V.; Husev, O.; Strzelecki, R.; Pakhaliuk, B.; Poliakov, N.; Strzelecka, N. Compensation Topologies in IPT Systems: Standards, Requirements, Classification, Analysis, Comparison and Application. *IEEE Access* 2019, 7, 120559–120580. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2937891>

50 Vulfovich, A.; Kuperman, A. Design Space of Sub-Resonant Frequency-Controlled Series–Series-Compensated Inductive Wireless Power Transfer Links Operating With Constant Output Current Under Frequency Constraints. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 2022, 10, 5414–5422. Available at: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2022.3179724>

51 Fu, M.; Tang, Z.; Ma, C. Analysis and Optimized Design of Compensation Capacitors for a Megahertz WPT System Using Full-Bridge Rectifier. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2019, 15, 95–104. Available at: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2833209>

52 Bosshard, R.; Kolar, J.W.; Wunsch, B. Accurate finite-element modeling and experimental verification of inductive power transfer coil design. In *Proceedings of the 2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition—APEC 2014*, Fort Worth, TX, USA, 16–20 March 2014; pp. 1648–1653. Available at: https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Accurate+finite-element+modeling+and+experimental+verification+of+inductive+power+transfer+coil+design&conference=Proceedings+of+the+2014+IEEE+Applied+Power+Elect

ronics+Conference+and+Exposition%E2%80%94APEC+2014&author=Bosshard,+R.&author=Kolar,+J.W.&author=Wunsch,+B.&publication_year=2014&pages=1648%E2%80%941653

53 Shah, I.A.; Cho, Y.; Yoo, H. Safety Evaluation of Medical Implants in the Human Body for a Wireless Power Transfer System in an Electric Vehicle. *IEEE Trans. Electromagn. Compat.* 2021, 63, 681–691. Available at: <https://doi.org/10.1109/TEMPC.2020.3023734>

54 Knecht, O.; Kolar, J.W. Impact of Transcutaneous Energy Transfer on the electric field and specific absorption rate in the human tissue. In *Proceedings of the IECON 2015—41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Yokohama, Japan, 9–12 November 2015; pp. 4977–4983. Available at: <https://doi.org/10.1109/IECON.2015.7392881>

55 Pan, W.; Liu, C.; Tang, H.; Zhuang, Y.; Zhang, Y. An Interoperable Electric Vehicle Wireless Charging System Based on Mutually Spliced Double-D Coil. *IEEE Trans. Power Electron.* 2024, 39, 3864–3872. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2023.3344663>

56 David, A.; Tiemann, M.; Haussmann, N.; Stroka, S.; Clemens, M.; Schmuelling, B. Electromagnetic Compatibility Evaluation of Wireless Charging Systems for Public Spaces: Wireless Power Transfer for Taxis. *IEEE Ind. Appl. Mag.* 2024, 30, 59–67. Available at: <https://doi.org/10.1109/MIAS.2023.3325047>

57 Pakhaliuk, B.; Husev, O.; Shevchenko, V.; Zakis, J.; Maksym, K.; Strzelecki, R. Modified Inductive Multicoil Wireless Power Transfer Approach Based on Z-Source Network. *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.* 2021, 9, 4906–4917. Available at: <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2020.3041565>

58 Pakhaliuk, B.; Husev, O.; Strzelecki, R.; Tytelmaier, K.; Zakis, J.; Stepins, D. Optimal Multivariable Control for Modified Z-source Based IPT. In *Proceedings of the 2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Riga, Latvia, 12–13 November 2018; pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.1109/RTUCON.2018.8659817>

59 Pakhaliuk, B.; Husev, O.; Strzelecki, R.; Tytelmaier, K. Optimal Components Design for Modified Z-Source Based IPT Approach. In *Proceedings of the 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, Kharkiv, Ukraine, 10–14 September 2018; pp. 11–16. Available at: <https://doi.org/10.1109/IEPS.2018.8559525>

60 Mucko, J.; Strzelecki, R. Errors in the analysis of series resonant inverter/converter assuming sinusoidal waveforms of voltage and current. In *Proceedings of the 2016 10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)*, Bydgoszcz, Poland, 29 June–1 July 2016; IEEE: New York, NY, USA, 2016; pp. 369–374. Available at: [https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Errors+in+the+analysis+of+series+resonant+inverter/converter+assuming+sinusoidal+waveforms+of+voltage+and+current&conference=Proceedings+of+the+2016+10th+International+Conference+on+Compatibility,+Power+Electronics+and+Power+Engineering+\(CPE-](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Errors+in+the+analysis+of+series+resonant+inverter/converter+assuming+sinusoidal+waveforms+of+voltage+and+current&conference=Proceedings+of+the+2016+10th+International+Conference+on+Compatibility,+Power+Electronics+and+Power+Engineering+(CPE-)

POWERENG)&author=Mucko,+J.&author=Strzelecki,+R.&publication_year=2016&pages=369%E2%80%93374

70 Optimized Design of a Wireless Charger Prototype for an e-Scooter
Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10041920>