

ТРАНСПОРТ

УДК 656

DOI 10.52928/2070-1616-2026-53-1-24-27

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЗМЕЩЕНИЮ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ
ДЛЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

ДУ СИЧЖОУ

(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Выполнен анализ действующих «Методических рекомендаций по определению мест размещения зарядных станций...» в сопоставлении с научными результатами и передовыми подходами. На основе анализа разработаны конкретные рекомендации по размещению зарядных станций для электромобилей и предложения по совершенствованию документа для повышения его практической эффективности.

Ключевые слова: электромобили, инфраструктура, зарядные станции, устойчивое развитие.

Введение. Развитие электротранспорта перестало быть частью имиджа и стало вопросом экономической необходимости [1; 2]. Развитие электротранспорта обусловлено экологическими факторами (нулевые выбросы, снижение шума), экономической целесообразностью (энергобезопасность, выравнивание энергобаланса за счет ночной зарядки) и неизбежностью технологического изменения мирового автопрома [3–7].

Основная часть. Для создания нормативно-технической основы планирования зарядной инфраструктуры в Беларуси разработаны «Методические рекомендации по определению мест размещения зарядных станций, разработке схем размещения зарядных станций»¹ (далее – Рекомендации). Они определяют классификацию станций; принципы их локации в городе и на трассах; закрепляют методику оценки определения мест размещения зарядных станций; оказывают методологическую помощь местным исполнительным и распорядительным органам при разработке схем размещения зарядных станций, а также порядок их документального оформления, что способствует упрощению подготовки документов для строительства зарядных станций для электромобилей.

В Рекомендациях (п. 2.1) отмечается глобальная тенденция запрета продаж авто с ДВС к 2025–2040 гг., что действительно стимулирует рост спроса на электромобили, делая их использование экономически выгодным в долгосрочной перспективе. Однако процесс перехода неоднороден. Главные сдерживающие факторы покупки электромобиля – Range Anxiety и отсутствие предсказуемой зарядки. Необходимость рекомендаций заключается в определении соотношения причины и следствия: унификация (без единого стандарта (как в данных Рекомендациях) сеть превратится в набор несовместимых станций, что отпугнет пользователей) и упрощение процедур (документ снимает бюрократические преграды (отмена госэкспертизы, помощь исполкомам), что ускоряет темпы строительства сети, необходимые для опережающего роста парка электромобилей).

Учитывая высокую мощность (>150 кВт) и капиталоемкость быстрых зарядных станций, Рекомендации должны минимизировать инвестиционные риски. Интеграция поведенческой модели «Charge-or-Skip» позволит переориентировать планирование с наличия технических мощностей на готовность пользователя совершить остановку, обеспечив экономическую эффективность инфраструктуры. Это превращает дотационную инфраструктуру в окупаемый бизнес.

Поскольку городское пространство ограничено [8; 9], рекомендации регулируют конфликт интересов между пешеходами, автомобилями с ДВС и электромобилями. Рекомендации гарантируют, что зарядка не заблокирует тротуары и обеспечит доступ к инфраструктуре для жителей «спальных районов», у которых нет частных домов, делая, таким образом, электромобильность доступной не только для элиты общества.

Основной метод планирования в Рекомендациях – статический: размещение станций там, где уже есть люди и электричество. Такой подход создает системные риски. Сформулируем недостатки подобного планирования:

- унификация (водителей электромобилей нельзя рассматривать как однородную группу);
- техноцентричность: основной упор сделан на технические параметры (мощность, типы коннекторов) и физическое расположение (расстояние до объектов);

¹ Методические рекомендации по определению мест размещения зарядных станций, разработке схем размещения зарядных станций: утв. постановлением М-ва архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 24 марта 2022 г. № 38. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2022. – 5 с.

- статичность: планирование опирается на «места притяжения» и текущий трафик без учета поведенческой реакции водителей (выбор «пропустить зарядку» или «ждать в очереди»);
- отсутствие сегментации: рекомендации «быстрые на трассах, медленные во дворах» верны, но являются слишком общими.

Для совершенствования размещения зарядных станций в городах предлагаются следующие положения и допущения.

На основании разработанной авторской модели и равновесного распределения транспортных потоков возможно включить в рекомендации предложения с учетом интеграции научных подходов и поведенческих моделей. Это исключит технократический подход (классификация станций по мощности, базовые градостроительные отступы и нормативная ширина проездов) и внедрит человекоцентричную парадигму.

Фундаментальное изменение заключается в переходе от статической модели планирования («где есть свободное место и мощность») к динамической поведенческой модели. В основу рекомендаций заложен принцип, что эффективность размещения определяется не только плотностью населения, но и минимизацией «дисполезности» (disutility) процесса зарядки для конкретных типов пользователей.

Добавить в пункт 1.3 (Общие принципы) новый абзац: «При планировании сети электрочарядных станций (ЭЗС) рекомендуется применять дифференцированный подход к пользователям, учитывая не только технические параметры электромобилей, но и поведенческие сценарии водителей. Ключевым критерием эффективности размещения ЭЗС является минимизация “стоимости прерывания пути”, включающая время отклонения от маршрута, время ожидания в очереди и время самой сессии зарядки».

Дополнить раздел 2 новым пунктом 2.4:

«2.4. Учет сегментации потребителей. При выборе локации рекомендуется ориентироваться на четыре базовых поведенческих профиля водителей:

1. Пользователи, зависимые от публичной сети (класс 4): Приоритет – плотность покрытия в жилых районах и предсказуемость доступа.
2. Имеющие домашнюю зарядку (класс 3): Основные клиенты скоростных трассовых комплексов. Приоритет – сверхвысокая мощность (>175 кВт).
3. Искатели эффективности (класс 2): Приоритет – ЭЗС непосредственно на маршруте следования с гарантированным отсутствием очередей.
4. Избегающие зарядки (класс 1): Требуют размещения ЭЗС исключительно в местах с возможностью продуктивного использования времени (торговые центры, качественный сервис), компенсирующего неудобства остановки».

В таблице 2 (стр. 3 исходного документа) в разделе «Рекомендуемые параметры места размещения» предлагается усилить требования, исходя из того, что для транзитного транспорта (особенно для «Искателей эффективности» и «Хейтеров») критично время. *Текущая редакция:* «наличие нескольких объектов придорожного сервиса...», *предлагаемая редакция:* «Интеграция ЭЗС в объекты сервиса, позволяющие удовлетворить сопутствующие потребности (питание, отдых, санитарные нужды) без дополнительного перемещения транспортного средства. Минимизация времени заезда (время съезда с основной трассы до коннектора не должно превышать 3–5 минут). Обеспечение избыточного количества коннекторов для исключения очередей, так как время ожидания воспринимается водителями на 60% негативнее, чем время в пути».

В таблице 4, в строке «Пользователи/цель», добавить: «Для «Зависимых от публичной сети» (жители многоквартирных домов без паркингов) приоритетом является надежность и пешеходная доступность от места жительства, даже в ущерб мощности станции».

Также необходимо обновить материал для различных зон таблиц 2 и 4 на основе эмпирических данных исходного документа:

- автомагистрали: приоритет отдается локациям, где зарядка встраивается в естественные остановки. Мощность более 150 кВт становится стандартом не сама по себе, а как способ увеличить пропускную способность узла (снизить риск очередей для «искателей эффективности»);

- городская среда: вводится разделение на «транзитные хабы» (для быстрой подзарядки в течение дня) и «ночные порты» (медленные станции Mode 3 во дворах). Для транзитных хабов ключевым критерием становится визуализация доступности в реальном времени, так как неопределенность подавляет спрос у класса «искатели эффективности».

В пункте 4.2 (Быстрые зарядные станции) необходимо сместить акцент с «мест притяжения» на «места с высокой оборачиваемостью».

Добавить рекомендацию: «Для привлечения сегмента «искателей эффективности» (самый массовый сегмент, ~ 39% водителей) приоритет следует отдавать локациям, не требующим значительного отклонения от основных транспортных магистралей города (On-route charging). Важна визуализация доступности портов в режиме реального времени, так как риск очереди является главным фактором отказа от зарядки для данной группы».

В пункт 7.1 (Обоснование) добавить: «Обоснование размещения ЭЗС должно включать прогноз загрузки, основанный не только на плотности населения, но и на моделировании транспортных потоков». Рекомендуется использование математических моделей равновесного распределения потоков, учитывающих:

- гетерогенность спроса (различную чувствительность групп водителей к цене времени);
- вероятностный характер выбора (учет вероятности отказа от зарядки «Charge-or-Skip» при наличии очереди);
- влияние времени ожидания как функции от загруженности станции (нелинейный рост издержек при высоком спросе).

В пункт 8.7 (Общая пояснительная записка) добавить требование: «При разработке Схемы для крупных городских агломераций рекомендуется проводить сценарное моделирование (что если?), оценивая влияние открытия новых ЭЗС на перераспределение потоков «активных» (нуждающихся в зарядке) водителей, чтобы избежать подавления трафика соседних станций и возникновения локальных заторов на популярных точках».

Таким образом, вместо усредненного образа водителя электромобиля документ вводит обязательный учет гетерогенности (разнородности) спроса. При разработке Схем размещения (Глава 2 Рекомендаций) вводится требование ориентироваться на четыре поведенческих класса («персоны»), выявленных на основе анализа латентных классов.

Предлагается методология оценки локаций: «стоимость прерывания». Следует внести понятие «стоимости прерывания пути». Рекомендуется учитывать нелинейную зависимость привлекательности станции от трех параметров:

- время отклонения от маршрута: каждая минута, потраченная на съезд с трассы, воспринимается водителем негативно. Можно ввести коэффициенты штрафов для локаций, требующих сложного маневрирования;
- вероятность очереди: время ожидания воспринимается водителями на 60% болезненнее, чем время самой зарядки. Предлагается рекомендация по расчету коэффициента загрузки при проектировании узлов;
- полезность простоя: следует регламентировать обязательную привязку быстрых ЭЗС (Mode 4) к объектам, удовлетворяющим «сопутствующие потребности» (питание, шоппинг, отдых), что снижает воспринимаемую стоимость времени зарядки.

Следует дополнить Раздел 8 («Порядок разработки Схемы») и внедрить многоступенчатую процедуру оценки нагрузки на сеть, основанную на равновесном распределении транспортных потоков:

- этап А (Поведенческая фильтрация): предлагается исключить из расчетов «пассивную» часть потока (водителей с высоким уровнем заряда $>0,6$), которые гарантированно пропустят станцию, чтобы избежать завышения прогнозируемого спроса;
- этап Б (Алгоритм Франка–Вольфа): для крупных городских агломераций рекомендуется использование транспортных моделей, где функция затрат на дугах сети включает не только время в пути, но и специфические издержки на зарядку (поиск, ожидание, обслуживание) для каждого класса водителей.

Это позволит избежать ошибок планирования, когда мощные станции ставятся в «удобных» для энергетиков местах, но остаются пустыми, поскольку водители психологически не готовы тратить 15 минут на съезд к ним.

Заключение. Предлагается трансформировать рекомендации из набора градостроительных ограничений в руководство по созданию продукта, востребованного пользователями. Главный посыл обновленных рекомендаций: «ЭЗС должна конкурировать не с другой ЭЗС, а с желанием водителя проехать мимо». Это позволит инвесторам минимизировать риск установки невостребованных станций за счет учета фактора «дисполезности отклонения от маршрута»; городским властям – предотвратить локальные заторы и очереди на ЭЗС за счет сбалансированного распределения спроса между «искателями эффективности» (транзитные хабы) и «зависимыми от публичной сети» (жилые зоны). Сделать заключение кратким резюме: «Реализация предложений обеспечит переход от административного размещения к экономическому моделированию, повысит ROI проектов и социальную эффективность сети. Обновленные Рекомендации превращают процесс планирования зарядной сети из административно-технической процедуры в стратегическое инвестиционное проектирование. Предложения предлагают научно обоснованный мост между абстрактным «развитием электротранспорта» и конкретными, математически выверенными решениями на карте города.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устойчивые транспортные системы городов: учеб. / Д.В. Капский, А.О. Лобашов, И.Н. Пугачев и др. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 128 с.
2. Ду С., Капский Д.В. Исследование расположения городских станций зарядки электромобилей на основе теории очередей // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 25-летию Ин-та транспорта / Тюмень (11–12 апр. 2024 г.) – Тюмень: ТИУ, 2024. – С. 203–205.
3. Устойчивая городская мобильность: теория и практика развития / А.О. Лобашов, Е.Н. Кот, Д.В. Капский и др. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 236 с.
4. Планирование устойчивой городской мобильности / И.Н. Пугачев, А.О. Лобашов, С.С. Семченков и др. – Хабаровск: Дальневост. гос. ун-т путей сообщения, 2023. – 147 с.

5. Пугачев И.Н., Капский Д.В. Разработка планов устойчивой городской мобильности и цифровая трансформация в области организации дорожного движения, путь к дальнейшему развитию городов и страны в целом // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2(82). – С. 92–99. DOI 10.33979/2073-7432-2023-3-2(82)-92-99
6. Ду С., Лобашов А.О., Капский Д.В. Определение рациональных параметров сети зарядных станций электромобилей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2024. – № 2(50). – С. 78–85. DOI 10.52928/2070-1616-2024-50-2-78-85
7. Ду С., Капский Д.В. Исследование по выбору места и планировке станций зарядки электромобилей // Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности: материалы межвуз. науч.-практ. конф. транспорт. Вузов / Санкт-Петербург (20–21 февр. 2025 г.). – М.: Дашков и К, 2025. – С. 86–88.
8. Капский Д.В., Филиппова Н.А. Формирование устойчивых транспортных систем в условиях изменения климата // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): материалы мультиконф. В 4 т. / Волгоград (11–15 сент. 2023 г.). – Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2023. – Т. 4. – С. 276–281.
9. Капский Д.В., Богданович С.В. План устойчивой городской логистики симбиотических агломераций и развитие транспортных систем // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XII МНПК, посвящ. 160-летию Белорус. ж. д. В 2 ч. / Гомель (24–25 нояб. 2022 г.). – Гомель: БелГУТ, 2022. – С. 111–113.

Поступила 22.12.2025

RECOMMENDATIONS FOR THE LOCATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

DU XIZHOU

(Belarusian National Technical University, Minsk)

This paper analyzes the current “Methodological Recommendations for Determining the Locations of Charging Stations...” and compares them with scientific findings and best practices. Based on this analysis, specific recommendations for the location of electric vehicle charging stations and proposals for improving the document to enhance its practical effectiveness have been developed.

Keywords: *electric vehicles, infrastructure, charging stations, sustainable development.*