

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 656.078 (132)

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-2-66-80

Проектирование и устройство зарядных станций в условиях дорожной сети мегаполиса России

А.М. Бургунутдинов, П.Б. Разговоров, А.Д. Коровка, И.А. Викулин

Альберт Масугутович Бургунутдинов^{1,*},

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация
burgonutdinov.albert@yandex.ru

Павел Борисович Разговоров²

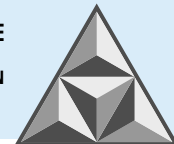
²Ярославский государственный технический университет», Ярославль, Российская Федерация
razgovorovpb@ystu.ru

Артемий Денисович Коровка³

³Московский научно-исследовательский и проектный институт жилищного хозяйства
(ГАОУ «Мосжилниипроект»), Москва, Российская Федерация
artemijkor@yandex.ru

Игорь Александрович Викулин⁴

⁴Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского, Воронеж, Российская Федерация
vikulin777@gbk.ru



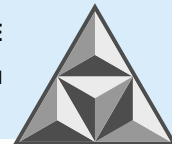
В связи с перестройкой мирового рынка наблюдается насыщение различных секторов экономики автомобилями с новыми устройствами, включающими компактные накопители энергии. Утвержденная в 2021 году «Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» требует существенного изменения дорожной инфраструктуры. Строительство сетей зарядных станций, с учетом отсутствия сформированных нормативных документов, ставит перед развитием автомобильных дорог в отечественных мегаполисах ряд вызовов и новых задач. Рассмотрены аспекты, касающиеся развития инфраструктуры общественного транспорта и организации бесперебойного движения электробусов при проектировании городских дорог на примере города Москвы.

Ключевые слова: электробусы, общественная инфраструктура, зарядные устройства, асфальтобетонное покрытие, колеиность, нагрузка, прочность

Для цитирования:

Бургутдинов А.М., Разговоров П.Б., Коровка А.Д., Викулин И.А. Проектирование и устройство зарядных станций в условиях дорожной сети мегаполиса России // Умные композиты в строительстве. 2025. Т. 6, вып. 2. С. 66-80.
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6061/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-2-66-80



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-2-66-80

Design and construction of charging stations in the conditions of street and road network of a megalopolis in Russia

A.M. Burgonutdinov, P.B. Razgovorov, A.D. Korovka, I.A. Vikulin

Albert Masugutovich Burgonutdinov^{1,*}

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

burgonutdinov.albert@yandex.ru

Pavel Borisovich Razgovorov²

²Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

razgovorovpb@ystu.ru

Artemy Denisovich Korovka³

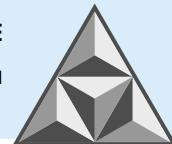
³Moscow Research and Design Institute of Housing (Moszhilniiproekt), Moscow, Russian Federation

artemijkor@yandex.ru

Igor Alexandrovich Vikulin⁴

⁴Zhukovsky Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation

vikulin777@gbk.ru



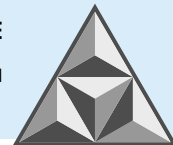
The restructuring of the global market has resulted in a saturation of various sectors of the economy with vehicles with new devices including compact energy storage. In 2021, the 'Concept for the Development of Production and Use of Electric Road Transport in the Russian Federation for the Period until 2030' was approved. It requires significant changes in road infrastructure. The construction of charging station networks, due to the lack of formed regulatory documents, poses a number of challenges and new tasks for the development of roads in domestic metropolises. The paper considers aspects concerning the development of public transport infrastructure and the organisation of uninterrupted electric bus traffic in the design of urban roads on the example of the city of Moscow.

Keywords: electric buses, public infrastructure, chargers, asphalt pavement, rutting, load, strength

For citation:

Burgonutdinov A.M., Razgovorov P.B., Korovka A.D., Vikulin I.A. Design and construction of charging stations in the conditions of street and road network of a megalopolis in Russia // *Smart Composite in Construction*. 2025. Vol. 6, Iss. 2. P. 66-80. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/6061/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2025-6-2-66-80



ВВЕДЕНИЕ

По данным [1] Европейского союза, к 2035 году будет полностью прекращена продажа автомобилей с традиционными моторами. Китайская Народная Республика весьма активно внедряет искусственный интеллект в процесс управления дорожным движением. В свою очередь, «Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года», принятая в 2021 г., предполагает переход общественного транспорта на компактные накопители энергии [2]. Создание технических средств, использующих альтернативные виды топлива, способствует улучшению экологической обстановки в российских городах, особенно – в мегаполисах. В связи с возросшими требованиями мирового сообщества требуются сложные модели принятия решений, которые будут учитывать множество экологических, экономических и социальных ограничений при реализации различных «зеленых» методов и технологий [3].

В России становится популярным новый вид транспортного средства для перевозки людей – электробусы. При этом особо важным является разработка инновационных подходов к проектированию и строительству современных городских дорог и организации дорожного движения в мегаполисах. Должна быть представлена методика оценки качества функционирования городских транспортных систем, а также решены вопросы оптимизации обслуживания населения и построения систем управления транспортной сферой в территориальных образованиях [4].

Применение электробусов стало актуальным в связи со снижением запасов ископаемых источников энергии и необходимостью ограничения выбросов вредных веществ при эксплуатации городских маршрутных автобусов. Однако ожидаемое размещение зарядных станций электротранспорта осложняется неравномерностью распределения свободной электрической энергии в городах. Также существует ряд дополнительных проблем, с которыми постоянно сталкиваются водители электробусов – в частности, потребность значительного повышения мощности [5]. Известно, что устройство и зарядка городского пассажирского транспорта могут осуществляться только на специальных станциях, построенных и установленных на городских магистралях.

Основными поставщиками электробусов на российский рынок являются компания «КАМАЗ» (г. Набережные Челны), а также ее дочерняя организация «ЛИАЗ». Они производят автобусы для городов Москвы и Казани. В Санкт-Петербурге электрические автобусы обслуживает компания *Volgabus*, в Нижнем Новгороде аналогичным производством занимается фирма «Газель», а Пермь поставляет электробусы КАМАЗ-6282. Кроме указанных регионов, внедрение электробусов начинается на Дальнем Востоке, где уже функционирует две единицы общественного транспорта. На Сахалине в 2024 году ввели в эксплуатацию уже 120 электробусов. Хотя Москва является лидером по темпам внедрения такого транспортного средства на европейской арене, инфраструктура по части эффективного его использования в общественных пространствах столицы России пока неидеальна [6] (на 2024 год – 1500 единиц). К концу 2030 года предполагается весь автобусный транспорт города Москвы перевести в режим работы электромобилей.

МЕТОДИЧЕСКАЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Существует несколько способов зарядки электробусов [7]. На рис. 1 приведена общая схема работы зарядной станции. В зависимости от способа подключения электробуса, существует возможность организовать зарядку через пантограф (рис. 2) либо зарядный порт (рис. 3).

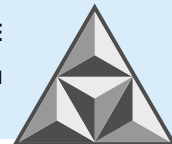


Рис. 1. Устройство электрической зарядной станции электробуса
Fig. 1. Design of the electric charging station of an electric bus



Рис. 2. Зарядка электробуса через пантограф
Fig. 2. Charging the electric bus via pantograph

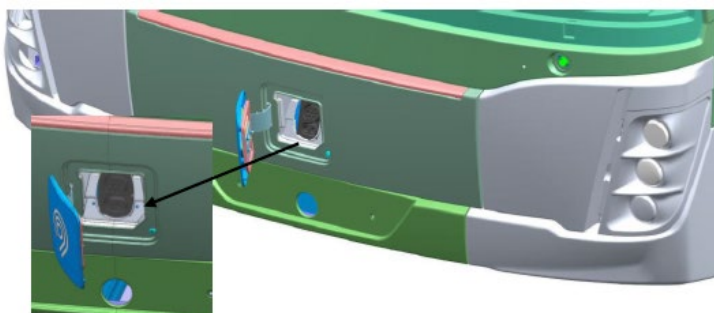
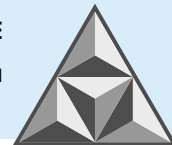


Рис. 3. Зарядка электробуса через зарядный порт
Fig. 3. Charging the electric bus via the charging port



Зарядка электробуса производится током длительного действия (6 ч, 150 А), быстрым током (15 мин, до 500 А) или пульсирующим током (30 с, до 1000 А). Пульсирующие токи применяются на остановках и реализуются только с пантографа. Подача быстрых и длительных токов возможна как с пантографа, так и через зарядный порт.

Ключевой проблемой является то, что в условиях плотной городской застройки и заранее распределенной электроэнергии не всегда удастся использовать ток быстрой зарядки или энергозатратный пульсирующий ток. В связи с этим электробусы в течение длительного времени оказывают нагрузку на дорожное покрытие, которое ранее не было рассчитано на такие ситуации.

Согласно ОДН 218.1.052-2002. Оценка прочности нежестких дорожных одежд, колеиность возникает, когда дорожное покрытие прогревается и испытывает давление тяжелых автомобилей за счет модуля деформации грунтового основания [8]. Поэтому в дальнейшем был произведен расчет в программе *Indor Pavement* по «Методическим рекомендациям по расчету и прогнозированию колееобразования на нежестких дорожных одеждах» [9].

В качестве граничных условий в расчет вносились поправки, так как настоящая методика не учитывала условия зарядки электробусов. Конструкция дорожной одежды подбиралась из «Альбома типовых дорожных конструкций» на примере города Москвы (см. табл. 1) [10]. С учетом правила увеличения модуля упругости от грунта к верхнему слою покрытия, нами выбраны следующие конструктивные слои (рис. 4):

Таблица 1. Толщина слоев дорожной одежды улиц и дорог местного значения (без движения общественного транспорта, стоянки для грузового транспорта)

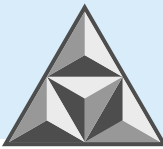
Table 1. Thickness of pavement layers of local streets and roads (without public transport, truck parking)

Номер слоя	Конструктивный слой	Материал слоя дорожной одежды	Толщина слоя, см
1	Верхний слой покрытия	Асфальтобетон плотный	5
2	Нижний слой покрытия	Асфальтобетон плотный	7
3	Верхний слой основания	Асфальтобетон плотный	8
4	Нижний слой основания	Щебеночно-гравийно-песчаные смеси	35
5	Прослойка	Геотекстиль	–
6	Грунт земляного полотна	Песок	–

Конструкция	Материал	Толщина	Модуль	Прогиб
Проект конструкции дорожной одежды				
Вариант № 1				
Верхний слой покрытия	ЩМА-20, марка битума...	h = 5 см (4...20)		E _{упр} = 3200 МПа
Нижний слой покрытия	Асфальтобетон горяче... плотный II марки из ще... (гравийной) смеси типа...	h = 7 см (3...15)		E _{упр} = 3200 МПа
Верхний слой основания	Асфальтобетон горяче... плотный II марки из ще... (гравийной) смеси типа...	h = 8 см (3...15)		E _{упр} = 2400 МПа
Нижний слой основания	Щебеночно-гравийно-п... смеси, при максимальн... размере зерен 0-8 мм	h = 35 см (5...100)		E _{упр} = 235 МПа
	Полотно геотекстильное тканое марки Геофлакс ПП...		α = 1,007	
Грунт земляного полотна	Песок средней крупнос... содержанием пылевато-глинистой ф...		E _{пов} = 120 ...	E _{упр} = 120 МПа

Рис. 4. Задание слоев дорожной одежды в программе *Indor Pavement*

Fig. 4. Specifying pavement layers in the *Indor Pavement* programme



Строительные материалы в конструкции дорожной одежды:

- 1 – верхний слой покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА-20);
- 2 – нижний слой покрытия из асфальтобетона горячей укладки, плотный, II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа Б; марка битума БНД/БН-60/90;
- 3 – верхний слой основания из асфальтобетона горячей укладки, плотный, II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа Б; марка битума БНД/БН-90/130;
- 4 – нижний слой основания представлен щебеночно-гравийно-песчаной смесью (с размером зерен 0-8 мм).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчета осевой нагрузки электробуса принимаем, что радиус шин электробуса $R_{\text{шин}} = 0.5$ м. Пятно контакта рассчитываем исходя из условия, что колесо проминается на 5%:

$$H_{\text{кон}} = R_{\text{шин}} \cdot 0.95 = 500 \cdot 0.95 = 475 \text{ мм.}$$

Тогда высота пятна контакта (рис. 5): $H_{\text{пят}} = 312$ мм

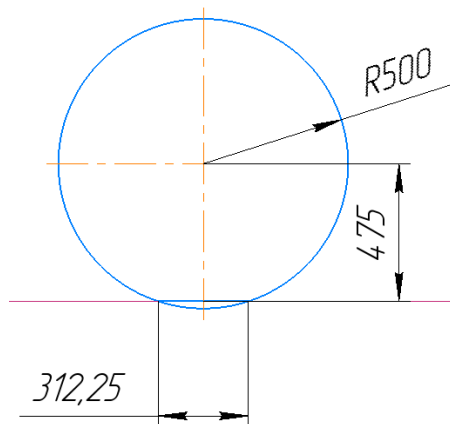


Рис. 5. Высота пятна контакта, согласно чертежу

Fig. 5. Height of contact patch according to drawing

Ширина шин электробуса: $L_{\text{шин}} = 230$ мм. При этом задние колеса сдвоены. Расстояние между шинами принимаем согласно техническим характеристикам электробуса.

Рассчитываем площадь давления электробуса:

$$S_{\text{шин}} = 2 \cdot (L_{\text{шин}} \cdot H_{\text{пят}}) + 2 \cdot (2 \cdot L_{\text{шин}} \cdot H_{\text{пят}}) = 2 \cdot 0.230 \cdot 0.312 + 2 \cdot 2 \cdot 0.230 \cdot 0.312 = 0.43 \text{ м}^2.$$

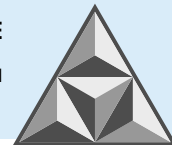
С учетом массы электробуса 12200 кг [11], рассчитываем силу давления электробуса на дорожное покрытие:

$$Q = \frac{12200 \cdot g}{S_{\text{шин}}} = \frac{12200 \cdot 9.82}{0.43} = 278 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Задаем нагрузку на ось (см. рис. 6):

$$Q_{\text{ось}} = Q \cdot 2 = 556 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

По ГОСТ 9128–2013. Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов, предел прочности на статическое сжатие асфальтобетонного покрытия $\sigma_B = 2.5$ МПа.



Расчётная нагрузка	
Двухбаллонное колесо	☒
Давление колеса на дорогу	Расчёт по осевой нагрузке
Давление в шине p, МПа	0,600
Диаметр отпечатка шины D (дин.), см	27,54
Диаметр отпечатка шины D (стат.), см	24,16
Статическая нагрузка на ось Q, кН	56,00
Статическая нагрузка от колеса на поверхность Qн, кН	27,50

Рис. 6. Задание осевой нагрузки в программе Indor Pavement

Fig. 6. Setting the axial load in the Indor Pavement programme

В соответствии с требованиями ГОСТ Р 59280 – 2020. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения усталостной долговечности при непрямом растяжении, предел выносливости асфальтобетонного покрытия $\sigma_{-1} = 250$ кПа.

Определяем отношение пределов:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_B}{\sigma_{-1}} = \frac{2500 \text{ кПа}}{250 \text{ кПа}} = 10.$$

Так как длительность приложения нагрузки во время зарядки электробусов велика, делаем поправку нагрузки на отношение пределов, выражающую то, что прочность покрытия на статическое сжатие выше:

$$Q_{\text{ось}}^* = \frac{Q_{\text{ось}}}{10} = \frac{556}{10} \approx 56 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

Условная интенсивность движения электробусов и колеиность рассчитаны нами по нормативным требованиям [9], согласно исходным данным, представленным в табл. 2.

Таблица 2. Данные для расчета условной интенсивности движения транспорта

Table 2. Data for calculating the conditional traffic intensity

Параметр	Значение
Интенсивность движения в зоне зарядной станции в среднем (количество зарядок электробусов на маршруте в день) ($N_{\text{рс}}$)	10 авт./сут.
Время зарядки электробуса в пульсационном режиме ($T_{\text{зар}}$)	15 с

Приведенную интенсивность, рассчитанную ниже по известной формуле [9], вносим в программу Indor Pavement (см. рис. 7):

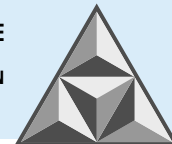
$$N_{\text{сф}} = \frac{N_{\text{рс}} \cdot T_{\text{зар}}}{0,01 \text{ с}} = \frac{10 \cdot 15}{0,01} = 15\,000 \frac{\text{авт.}}{\text{сут.}}$$

Число приложений расчётной нагрузки ΣNp	
Значение ΣNp	Расчёт по условиям движения
Тип участка дороги	Полоса движения
Показатель изменения интенсивности по годам q	1,000
Приведённая перспективная интенсивность Np	Явное задание
Способ задания приведённой интенсивности	На первый год службы
Приведённая интенсивность, авт./сут.	15 000
Суммарная интенсивность в первый год, авт./сут.	15 000

Рис. 7. Задание интенсивности движения в программе Indor Pavement

Fig. 7. Setting the traffic intensity in the Indor Pavement programme

Исходные данные (рис. 8, а), а также схема конструкции и порядок расчетов (рис. 8, б) в программе Indor Pavement на 2024 год представлены ниже (рис. 8).



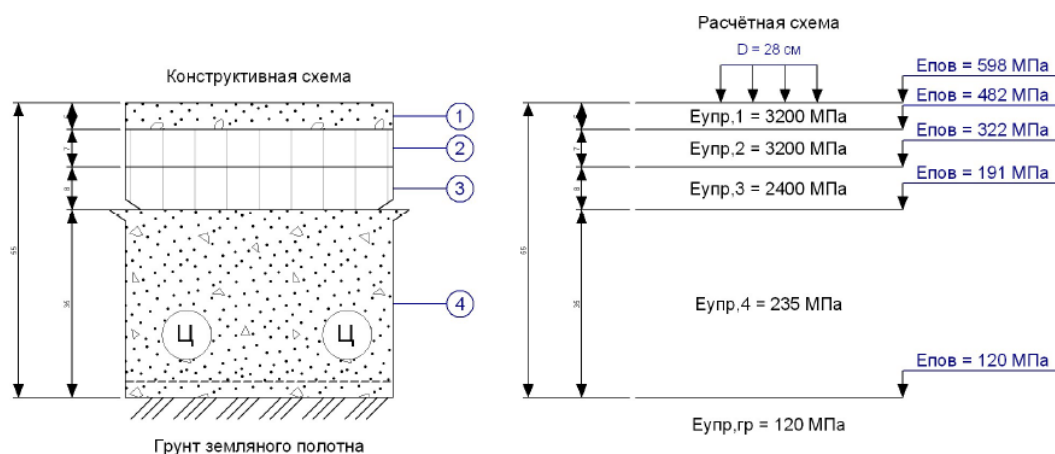
Исходные данные

Название объекта	Автомобильная дорога		
Район проектирования			
Выполняемые расчёты	На упругий прогиб		
Техническая категория дороги	III категория	Схема увлажнения	Схема 1
Тип дорожной одежды	Облегчённый	Коэффициент уплотнения грунта	0,97
Число полос движения (в обе стороны)	1	Требуемый поверхностный модуль упругости, МПа	393
Номер расчётной полосы от обочины	1	Суммарное число приложений нагрузки	34095600
Расчётная влажность грунта W_p	0,74	Расчётная скорость движения, км/ч	20
Нагрузка, кН / Давление, МПа / D штампа, см	55 / 0,60 / 28	Расчётное количество дней в году T_{rdg}	205
Заданная надёжность K_n	0,90	Срок службы между кап. ремонтами $T_{сл}$, лет	12
Дорожно-климатическая зона	II - подзона 1		

a(a)

№ варианта	Наименование слоёв и материалов конструкции дорожной одежды	Схема конструкции дорожной одежды. Толщина, см	Общий модуль упругости на поверхности слоёв, МПа	Упругий прогиб, МПа	Колейность, см
Вариант № 1	1. Верхний слой покрытия — ЩМА-20, марка битума 90/130		Е _{пов} = 598 Е _{ктр} = 1,150 К _{расч} = 1,520 Запас = 32%	Е _{упр} = 3200	Н _{общ} = 13,3 Запас = -9,8 см
	2. Нижний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90		Е _{пов} = 482	Е _{упр} = 3200	
	3. Верхний слой основания — Асфальтобетон горячей укладки плотный II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-90/130		Е _{пов} = 322	Е _{упр} = 2400	Н _{ост.д.} = 3,9
	4. Нижний слой основания — Щебёночно-гравийно-песчаные смеси, при максимальном размере зёрен 0-8 мм		Е _{пов} = 191	Е _{упр} = 235 $\alpha = 1,000$	Н _{ост.д.} = 2,2
	— Полотно геотекстильное тканое марки Геофлак ПП 40				
	Грунт земляного полотна — Песок средней крупности с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%		Е _{пов} = 120	Е _{упр} = 120	

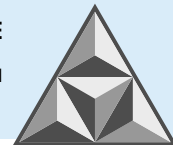
б(b)



- Верхний слой покрытия — ЩМА-20, марка битума 90/130
- Нижний слой покрытия — Асфальтобетон горячей укладки, плотный, II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90
- Верхний слой основания — Асфальтобетон горячей укладки, плотный, II марки из щебёночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-90/130
- Нижний слой основания — Щебёночно-гравийно-песчаные смеси, при максимальном размере зёрен 0-8 мм
— Полотно геотекстильное тканое марки Геофлак ПП 40

Рис. 8. Данные (a), конструктивная схема и порядок расчетов (б) в программе Indor Pavement

Fig. 8. Data (a), design scheme and calculation procedure (b) in the Indor Pavement programme



Показатели колеиности за 5 лет предполагаемой службы дорожного покрытия представлены в табл. 3, а расчет конструкции дорожной одежды дан в Приложении 1.

Таблица 3. Прогнозируемая колеиность в течение пяти лет

Table 3. Projected rutting within five years

Глубина колеи	Год службы дорожной одежды
4.4 см	1
6.6 см	2
7.8 см	3
8.9 см	4
9.8 см	5

Приложение 1

Appendix 1

Расчет конструкции дорожной одежды (отчет из программы Indor Pavement)

Calculation of pavement structure (report by Indor Pavement programme)

Исходные данные:

Название объекта: Автомобильная дорога

Район проектирования: город Москва

Выполняемые расчеты: На упругий прогиб

Дорожно-климатическая зона: II – подзона 1

Схема увлажнения: Схема 1

Расчетная влажность грунта W_p : 0.74

Коэффициент уплотнения грунта: 0.97

Продольный уклон i , ‰: 40.00

Проектные данные:

Техническая категория дороги: III категория

Тип дорожной одежды: Облегченный

Заданная надежность K_n : 0.90

Срок службы между кап. ремонтами $T_{сл}$, лет: 12

Ширина проезжей части, м: 7.5

Расчетная нагрузка:

Давление в шине p , МПа: 0.60;

Диаметр отпечатка шины D (дин.), см: 27.54

Статическая нагрузка на ось Q , кН: 55.00

Суммарное число приложений нагрузки:

Суммарное число приложений нагрузки: 34095600

Тип участка дороги: Полоса движения

Число полос движения (в обе стороны): 1

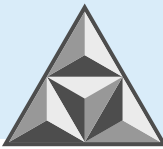
Номер расчетной полосы от обочины: 1

Расчетное количество дней в году $T_{р\text{дг}}$: 205

Показатель изменения интенсивности: 1.00

Приведенная интенсивность на первый год службы: 15000

Расчетная скорость движения, км·ч⁻¹: 20

*Вариант № 1*

Верхний слой покрытия: 5.0 см

ЩМА-20, марка битума 90/130

Нижний слой покрытия: 7.0 см

Асфальтобетон горячей укладки, плотный, II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-60/90

Верхний слой основания: 8.0 см

Асфальтобетон горячей укладки, плотный, II марки из щебеночной (гравийной) смеси типа Б, марка битума БНД/БН-90/130

Нижний слой основания: 35.0 см

Щебеночно-гравийно-песчаные смеси, при максимальном размере зерен 0-8 мм

Полотно геотекстильное тканое, марки Геофлакс ПП 40

Грунт земляного полотна:

Песок средней крупности, с содержанием пылевато-глинистой фракции 5%

Стоимость варианта 155.00 у.е. на участке проектирования ($10.00 \cdot 10 = 100 \text{ м}^2$)

Результаты расчета на упругий прогиб:

Поверхностный модуль упругости $E_{\text{пов}} = 598.0 \text{ МПа}$

Требуемый модуль упругости $E_{\text{тр}} = 392.9 \text{ МПа}$

Расчетный коэффициент прочности $K_{\text{расч}} = 1.520$

Требуемый коэффициент прочности $K_{\text{тр}} = 1.150$

Коэффициент усиления $\alpha = 1.000$

Запас прочности 32%

Результаты расчета колеяности – суммарное число приложений расчетной нагрузки
 $N_c = 9225000$

Остаточная деформация:

для слоя № 3 $h = 3.9 \text{ см}$;

для слоя № 4 $h = 2.2 \text{ см}$;

для грунта $h_r = 2.2 \text{ см}$

Износ покрытия $D_{\text{и}} = 1.7 \text{ см}$

Общая глубина колеи $h_{\text{общ}} = 13.3 \text{ см}$

Допустимая глубина колеи $h_{\text{д}} = 3.0 \text{ см}$

Предельно допустимая глубина колеи $h_{\text{пр}} = 3.5 \text{ см}$

Запас = – 9.8 см (колея)

На основании проведенных расчетов нами рекомендовано, во избежание колеяности в зоне зарядки электробусов, перераспределить нагрузку более равномерно.

Нагрузку можно перераспределить двумя способами:

а) использование стальных подставок с резиновым покрытием для электробусов (см. рис. 9).

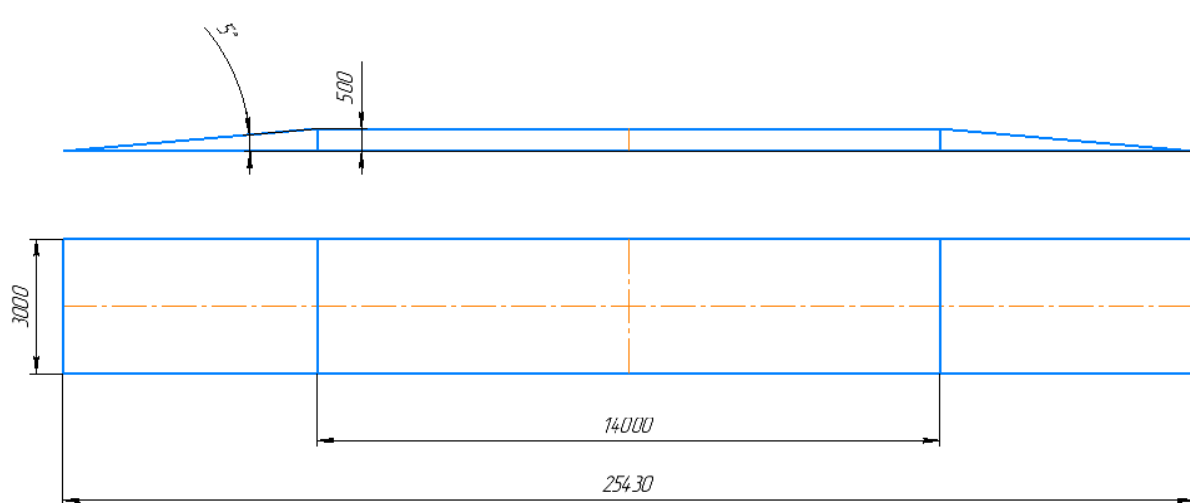
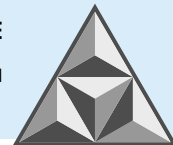


Рис. 9. Схема стальной подставки под электробус

Fig. 9. Schematic diagram of the steel stand for the electric bus

Распределяя нагрузку на большую площадь асфальтового покрытия, добиваемся значительного снижения давления;

б) замена верхнего слоя покрытия на жесткую дорожную одежду.

Монолитные бетонные покрытия имеют модуль упругости, который более чем вдвое превышает таковой для асфальтобетонных покрытий.

Площадь нагрузки, согласно схеме:

$$S_{\text{нагр}} = 25.43 \text{ м} \cdot 3 \text{ м} = 76.29 \text{ м}^2.$$

Нагрузка на дорожное покрытие составит:

$$Q_{\text{распр}} = \frac{12200 \text{ кг} \cdot g}{S_{\text{нагр}}} = \frac{12200 \cdot 9.82}{76.29} = 1.57 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}.$$

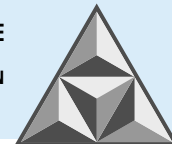
Следовательно, нагрузку на дорожное покрытие можно снизить минимум в 150 раз.

Программа *Indor Pavement* не позволяет задать столь малую нагрузку, поэтому расчет в условиях распределенной нагрузки не приведен. Обсуждение затрат на устройство разгрузочной площадки для зарядки электробусов в рамках настоящей работы также не предусматривалось.

ВЫВОДЫ

1. Определены расчетные нагрузки на площадках зарядки электробусов и предложены рекомендации по снижению колеиности на примере дорожного участка Москвы – столицы Российской Федерации. Результаты позволяют обоснованно подходить к вопросам проектирования и строительства дорог в местах расположения постов длительной зарядки общественного транспорта на электротяге.

2. Применение стальных устройств с резиновым покрытием по длине электробуса позволит равномерно распределить нагрузку по площади дорожного покрытия и значительно снизить давление на грунтовое основание. Замена верхнего слоя асфальтобетонного покрытия на жесткую дорожную одежду обеспечит существенное увеличение срока службы дорог в сети мегаполиса.



СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Официальная интерпретация национального стратегического плана и промышленной политики Коммунистической партии Китая «Made in China 2025» [Электронный ресурс] // URL: https://www.gov.cn/zhuanti/2016-05/12/content_5072762.htm (дата обращения 05.03.2025).
2. Распоряжение правительства российской федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р «Концепция по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс] // URL: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf> (дата обращения 12.02.2025).
3. **Осинцев Н.А.** Многокритериальные методы принятия решений в «зелёной» логистике // *Мир транспорта*. 2021. Т. 19. № 5. С. 105-114. URL: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13>.
4. **Ларин О.Н.** Транспортные системы крупных городов: вопросы эффективности // *Мир транспорта*. 2023. № 2 (105). С. 138-142. URL: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-16>.
5. **Битюков М.В.** Эксплуатация электробусов в России // *Молодой ученый*. 2022. № 48 (443). С. 21-25.
6. **Левкин С.И.** Доклад руководителя департамента городской политики г. Москвы. Комплексное освоение подземного пространства // Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы [Электронный ресурс] // URL: <https://stoi.mos.ru/news/v-moskvie-obsudili-voprosy-kompleksnogo-osvoeniia-podziemnogo-prostranstva> (дата обращения 14.02.2025).
7. **Рязанов Г.М., Доманов В.И.** Анализ и перспектива развития зарядных устройств для электромобилей // Мат. VI Национал. научно-практ. конф. В 2 т. Казань, 2020. С. 20-22.
8. **Тумаков С.А., Голубь Г.Н.** Вычисление напряжений в строительных конструкциях с учетом развития деформаций грунтового основания // *Умные композиты в строительстве*. 2021. Т. 2. Вып. 1. С. 7-13.
9. Отраслевой дорожный методический документ: Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах. М.: ГП «Ииформавтодор», 2003. 181 с.
10. Альбом типовых дорожных конструкций для города Москвы. Правительство Москвы. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы от 30.12.2020 [Электронный ресурс] // URL: <https://smart.mos.ru/mtsk-proxy/image/0af39c3a-189b-4beb-983d-a2339cb8326c> (дата обращения 12.03.2025).
11. Устройство и техническое обслуживание электробуса ЛИА3-6274 с зарядной системой «пистолетного» типа и пантографом. Учеб. пособие по программе профессиональной подготовки. Корпоративный ун-т московского транспорта [Электронный ресурс] // URL: <https://sop.mosmetro.ru/wp-content/uploads/2022/03/TK-voditel-D-ustrojstvo-elektrobusa.pdf> (дата обращения 12.03.2025).

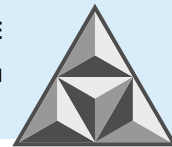
Поступила в редакцию 22.04.2025

Одобрена после рецензирования 19.05.2025

Принята к опубликованию 10.06.2025

REFERENCES

1. Official Interpretation of the National Strategic Plan and Industrial Policy of the Communist Party of China 'Made in China 2025'. Available at: https://www.gov.cn/zhuanti/2016-05/12/content_5072762.htm (accessed 05.03.2025).
2. Directive of the Government of the Russian Federation No. 2290-r dated 23 August 2021 'Concept for the Development of Production and Use of Electric Road Transport in the Russian Federation for the Period until 2030'. Available at: <http://static.government.ru/media/files/bW9wGZ2rDs3BkeZHf7ZsaxnlbJzQbJJt.pdf> (accessed 12.02.2025) (in Russian).
3. **Osintsev, N.A.** (2021), "Multicriteria methods of decision making in 'green' logistics", *Mir Transporta*, vol. 19, no. 5, pp. 105-114. Available at: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-13> (in Russian).
4. **Larin, O.N.** (2023), "Transport systems of large cities: issues of efficiency", *Mir Transporta*, vol. 2, no. 105, pp. 138-142. Available at: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-2-16> (in Russian).
5. **Bitjukov, M.V.** (2022), "Operation of electric buses in Russia", *Young Scientist*, vol. 48, no. 443, pp. 21-25 (in Russian).



6. **Levkin, S.I.** “Report of the Head of the Moscow City Policy Department. Integrated development of underground space”, Complex of urban policy and construction of the city of Moscow. Available at: <https://stroimsk.ru/news/v-moskve-obsudili-voprosy-kompleksnogo-osvoeniia-podzemnogo-prostranstva> (in Russian) (accessed 14.02.2025).
7. **Ryazapov, G.M. and Domanov, V.I.** (2020), “Analysis and Prospect of Development of Charging Devices for Electric Vehicles”, Proceedings of the Conference, Proceedings of the VI National Sci. Pract. Conf. [Mat. VI Natsional. nauch.-prakt. konf.], in 2 vols, Kazan, Russia, pp. 20-22 (in Russian).
8. **Tumakov, S.A. and Golub, G.N.** (2021), “Calculation of stresses in the building structures, taking into account ground base deformations”, *Smart Composite in Construction*, vol. 2, no. 1, pp. 7-13 (in Russian).
9. Industry road methodological document: Recommendations on identification and elimination of rutting on non-rigid pavements (2003). Moscow, State Enterprise ‘Informavtodor’ (in Russian).
10. Album of standard road structures for the city of Moscow. Moscow Government. Complex of urban policy and construction of the city of Moscow dated 30.12.2020. Available at: <https://smart.msk.ru/mtsk-proxy/image/0af39c3a-189b-4beb-983d-a2339cb8326c> (accessed 12.03.2025) (in Russian).
11. Design and maintenance of electric bus LIAZ-6274 with ‘pistol’ type charging system and pantograph. Manual for the professional training programme. Corporate University of Moscow Transport. Available at: <https://sop.mosmetro.ru/wp-content/uploads/2022/03/TK-voditel-D-ustrojstvo-elektrobusa.pdf> (accessed 12.03.2025) (in Russian).

Received 22.04.2025

Approved 19.05.2025

Accepted 10.06.2025