

# Снижение выбросов CO<sub>2</sub> в городах: электромобили или общественный транспорт

**С.Р. МИЛЯКИН**, кандидат экономических наук  
E-mail: milyakinsergei@gmail.com; ORCID: 0000-0002-3770-7785  
Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва

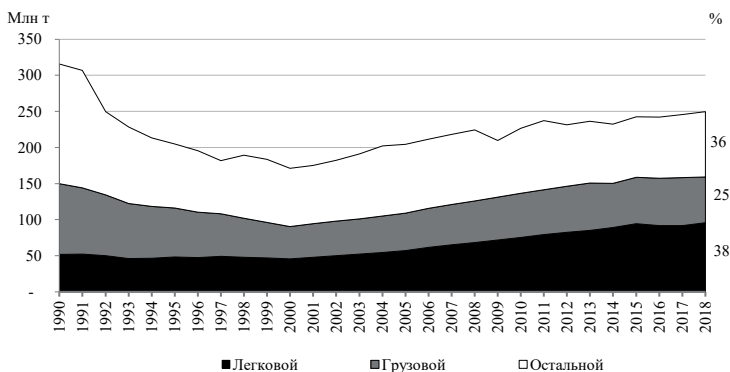
**Аннотация.** В статье анализируется формирование выбросов CO<sub>2</sub> на городском пассажирском транспорте. Рассматриваются две альтернативы – электрификация личных автомобилей и увеличение использования общественного транспорта. Для их сравнения используется модель расчета выбросов CO<sub>2</sub> на городском пассажирском транспорте. Проведены расчеты для семи сценариев, отличающихся степенью электрификации и степенью замещения использования легковых автомобилей общественным транспортом. На примере Москвы показано, что основным направлением снижения выбросов CO<sub>2</sub> может быть электрификация личных автомобилей, при этом замещение общественным транспортом может способствовать ослаблению других негативных последствий автомобилизации.

**Ключевые слова:** выбросы CO<sub>2</sub>; электромобили; автомобили; транспорт; общественный транспорт; сценарии; прогнозирование

## Введение

Автомобили (в том числе легковые) являются одним из крупнейших источников выбросов CO<sub>2</sub>. На них в 2018 г. приходилось около 63% всех выбросов в транспортном секторе (рисунок). При этом в легковом сегменте автотранспорта, в отличие от всех других, выбросы динамично растут: его вклад с 1990 г. вырос с 16% до 38%; в абсолютном выражении произошло почти удвоение с 52 до 96 млн т.

Будущая динамика выбросов CO<sub>2</sub> на транспорте в значительной мере зависит от особенностей формирования парка легковых автомобилей (его объема и структуры), режима использования и энергоэффективности.



**Источник.** Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых монреальским протоколом за 1990–2018 гг.<sup>1</sup>

Динамика выбросов вредных газов на транспорте в РФ в 1990–2018 гг. (левая шкала – объем выбросов, млн т в CO<sub>2</sub>-эквиваленте), (правая шкала – % от общего объема выбросов)

Назовем ключевые процессы, влияющие на эмиссию CO<sub>2</sub> транспортом в России.

1. Самый важный фактор роста выбросов – *увеличение парка легковых автомобилей* в результате повышения благосостояния населения. По данным Росстата, на 2021 г. число легковых автомобилей из расчета на 1000 человек в России составило 305 ед. Это впятеро больше, чем в 1990 г. (60), но существенно меньше уровня, достигнутого развитыми странами (в странах Западной Европы – 450–630, в США – 760, в Канаде – 650, Австралии – 600). При отсутствии значительных ограничений со стороны предложения можно ожидать дальнейшего увеличения парка легковых автомобилей<sup>2</sup> и порождаемого им эмиссии CO<sub>2</sub>.

2. *Повышение энергоэффективности используемых двигателей* – благотворный тренд, работающий на снижение выбросов, он поддерживается экологическими нормативами, вводимыми правительствами, постоянными технологическими

<sup>1</sup> URL: <http://www.igce.ru/2020/04/национальный-кадастр-антропогенных/>

<sup>2</sup> Следует отметить, что введение странами Запада антироссийских санкций может воспрепятствовать развитию автомобилизации в России.

усовершенствованиями двигателей и их гибридацией. По оценкам энергетического агентства США, за последние 50 лет энергоэффективность двигателей выросла почти на 50% и увеличится еще на 50% к 2050 г.

3. *Режимы личного и совместного использования* по-разному сказываются на эмиссии CO<sub>2</sub> в легковом секторе. В общественном секторе легковые автомобили (в том числе находящиеся в личной собственности граждан) используются для коммерческого извоза более интенсивно, их дополняют такси и каршеринг. Развитие технологий автоматического управления автомобилями может позволить расширить сегмент совместного использования. Общественное пользование способствует более интенсивному выбросу CO<sub>2</sub>.

4. *Изменение структуры парка легковых автомобилей по типу используемого топлива* может иметь важное значение для выбросов CO<sub>2</sub> на легковом автотранспорте.

Исследователи отмечают положительное (понижающее) воздействие электрификации личного легкового автотранспорта на выбросы CO<sub>2</sub>. Обзор 126 публикаций [Helmerts, Weiss, 2017], содержащий сравнительный анализ вреда для экологии со стороны электрокаров и традиционных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), демонстрирует, что почти во всех странах замещение авто с ДВС электромобилями приводит к ослаблению нагрузки на экологические системы на всем жизненном цикле транспортных средств – от производства и эксплуатации до утилизации.

Исключением является Китай, который характеризуется высокой долей угля в структуре электрогенерации, что косвенно сказывается на экологической эффективности китайских электромобилей. Но по мере сокращения доли угольной энергетики и в Китае электромобили могут стать более экологичной альтернативой автомобилям с ДВС на полном жизненном цикле.

В то же время добыча ресурсов, необходимых для производства электромобилей, – никеля, кобальта и лития – сопряжена с загрязнениями земли и детским трудом<sup>3</sup>, а предложение самих этих металлов ограничено; до сих пор отсутствует экологически

---

<sup>3</sup> URL: <https://www.amnesty.org/en/latest/press-release/2016/09/electric-cars-running-on-child-labour/>

безопасная технология утилизации литиево-ионных батарей [Prior et al., 2013]. Кроме того, несмотря на то, что электромобили не производят вредных выхлопов в месте эксплуатации, они могут провоцировать появление значительного количества пыли и мелких частиц покрышек вследствие своего большего веса [Timmers, Achten, 2018]. Также отмечается, что на производство электромобилей затрачивается в два раза больше энергии, чем на производство автомобиля с ДВС [Eckart, 2017].

Слишком сильный акцент транспортной политики на электрификации личного автотранспорта может усугубить проблемы, связанные с качеством городской среды. Как отмечают исследователи, владение электромобилем – это по-прежнему не столько экологическое решение, сколько вопрос жизненного стиля<sup>4</sup>. Оно не уменьшает загруженность дорог, не способствует рациональному использованию городских территорий [Khreis et al., 2017], усиливает нагрев воздуха в городах [Haddad, Aouahria, 2015]. Существуют оценки экономических потерь от пробок, связанных как с потерей времени, так и с увеличением транспортной нагрузки. Компания INRIX подсчитала, что москвичи проводят в пробках 91 час в год, что составляет 26% от времени, проведенного в автомобиле, а жители, например, Новосибирска – около 52 часов<sup>5</sup>. При этом важно учитывать, что масштаб проблемы пробок определяется не только уровнем автомобилизации, но и состоянием улично-дорожной сети и организации движения.

### **Барьеры и стимулы на пути развития общественного транспорта**

Основными препятствиями к использованию общественного транспорта вместо личного помимо очевидных ограничений предложения могут быть социальные нормы и установки. В частности, потребители могут опасаться ухудшения комфортабельности поездки, потери времени, снижения социального статуса [Kolbe, 2019]. Несмотря на то, что эти опасения могут не реализоваться на практике, установки на них являются важным фактором, предопределяющим поведение и потребительский выбор людей [Bamberg et al., 2007].

---

<sup>4</sup> URL: <https://www.inverse.com/article/58696-electric-car-or-mass-transit-tesla-and-singapore-clash-over-climate-change>

<sup>5</sup> URL: <https://www.rbc.ru/society/06/02/2018/5a79b4029a7947857547cb17>

Кроме того, само владение автомобилем сопряжено с набором характеристик, делающих его приобретение и использование более желательным. Сюда относится свобода от временных и пространственных ограничений, свойственных общественному транспорту, автономность, культурная укорененность автомобильности [Urqu, 2012]. Под автомобильностью социолог Джон Урри понимает комплексную систему, состоящую из автомобилей, всей автомобильной инфраструктуры, связанных с ними сервисов, производств и пр. Важной чертой этой системы является ее наступательная сила – она как бы подминает под себя все остальные системы, заставляя их адаптироваться. В таких условиях у потребителя в какой-то момент перестает существовать возможность выбора – владение автомобилем становится обязательным, а протест против автомобильности бессмысленным и неосуществимым.

Помимо этого, во многих культурах автомобиль обладает символической значимостью: он «придает» своему владельцу зрелость, ответственность, наличие множества деловых связей и высокие карьерные достижения, сексуальность и маскулинность, свободу [Urqu, 2004]. Психологи отмечают у некоторых индивидов особое отношение к автомобилю (например, его одушевление), для кого-то процесс вождения может представлять возможность побыть наедине с собой, создавая обстановку своеобразной медитации. Владение автомобилем может решать некоторые социальные задачи индивидов. Например, укрепление мужских связей, общение вне рутины и семейной жизни («гаражное» взаимодействие) [Siegelbaum, 2011]. Эти функции не могут быть в полной мере восполнены при использовании общественного транспорта.

В последнее время отмечается изменение отношения к автомобилю и его владению, которое может превратиться в долгосрочный тренд. Речь идет о формировании новых групп «наиболее желанных» товаров под влиянием технического прогресса (например, смартфонов) вместо автомобилей. Растет и экологическая осознанность населения, его осведомленность о том вреде, который наносит автомобилизация природе и городской среде.

Сильное влияние на процессы и результаты распределения поездок между общественным и легковым автомобильным

транспортом оказывает государственная и муниципальная транспортная политика. Речь идет не только о поддержке общественного транспорта, ограничении бесплатных парковок и т.п. Так, Вукан Вучик в книге «Транспорт в городах, удобных для жизни» [Vuchic, 2017], показывает, как различия в уровнях автомобилизации в разных странах связаны с особенностями проводимой в них государственной политики. Например, в США сильное развитие автомобилизации связано с двумя обстоятельствами. Первое из них состоит в том, что с 1950-х гг. дорожное строительство в штатах финансировалось из федерального бюджета, в то время как общественный транспорт – из местных. Кроме того, существовал запрет на нецелевое использование средств из трастового фонда, формируемого за счет дорожных налогов. Это привело к тому, что местные власти, имея в распоряжении федеральные целевые средства, были мотивированы к сооружению максимально возможного количества автодорог, но не общественного транспорта. Второй момент состоит в том, что государство активно субсидировало покупку односемейной недвижимости, предоставляя налоговые вычеты на суммы платежей по ипотеке, что стимулировало разрастание пригородов, где в полную силу проявлялись преимущества частных автомобилей перед общественным транспортом. Развитие пригородного строительства усугубляло тенденцию понижения плотности населения, при которой личный автомобиль становился необходимостью.

Значительная роль транспортной политики отчетливо прослеживается, если рассматривать США на фоне Канады и Австралии, которые также наделены большими свободными пространствами, но по уровню автомобилизации отстают от США в 1,2–1,3 раза. В Канаде, в отличие от США, за планирование и финансирование транспортной сети отвечают администрации провинций и муниципалитетов, что делает их решения более взвешенными. Кроме того, там нет льгот по ипотеке и налогам для владельцев односемейных домов, а потому пригороды менее привлекательны, чем города. Города Австралии характеризуются плотно застроенными центрами деловой активности и развитой сетью трамвайного и железнодорожного сообщения.

В Норвегии относительно низкие уровни автомобилизации при высоких уровнях экономического развития также объясняются особенностями национальной политики. В частности,

автовладельцам там вменяется возмещение внешних негативных эффектов автомобилизации: размер налога на покупку авто зависит от выбросов  $\text{CO}_2$  и может доходить до 100% от номинальной стоимости машины; высокие цены на моторное топливо включают природоохранный налог; установлен платный въезд в Осло; парковки, как правило, платные. При этом большое внимание уделяется развитию общественного транспорта, устройству в городах широких пешеходных улиц, парков и зон отдыха, содержание которых финансируется в значительной мере за счет дорожных сборов.

В Японии относительно низкие уровни автомобилизации объясняются не только высокой плотностью населения и дефицитом территориальных ресурсов. Во-первых, эту страну отличает разветвленная и эффективная система рельсового транспорта. Во-вторых, государство активно инвестировало в инфраструктуру для велосипедных сообщений, что сделало этот вид передвижения главным способом добраться до станции рельсового транспорта, особенно в случае служебных поездок.

В Сингапуре, где уровень автомобилизации ниже, чем в Норвегии и Японии, практикуются ограничения на владение и использование личного автотранспорта: квоты на покупку автомобилей; высокая таможенная пошлина; регистрационный взнос; дорожный налог; плата за пользование дорогами в часы пик. Платежи за въезд в центр города и парковку пропорциональны степени автомобилизации и интенсивности поездок, что приводит интенсивность движения на дорогах в соответствие с их пропускной способностью.

В настоящее время, по мнению исследователей, личный автотранспорт является одним из наиболее субсидируемых, хотя на первый взгляд может показаться, что это не так. Во-первых, субсидии имеют форму бюджетного финансирования строительства и поддержания дорог. Эти затраты полностью не покрываются транспортным налогом и по большей части оплачиваются всеми налогоплательщиками (сказанное в полной мере относится и к грузовому транспорту). Во-вторых, автомобильная система наносит обширный экологический вред, который также ложится на плечи всего населения и не компенсируется в полной мере «экологическими» сборами. Она же является источником шума, пыли, а главное – гибели людей под колесами.

В-третьих, существуют субсидии, создаваемые работодателями или бизнесом. Например, парковки рядом с работой формально бесплатны, но на самом деле содержатся работодателем. Аналогично – паркинги возле торговых центров: затраты на их содержание компенсируются за счет аренды торговых площадей и стоимости продаваемых товаров и услуг, хотя используются они только автомобилистами.

По некоторым оценкам, такого рода суммарные субсидии автомобилистам в США составляют от 400 до 900 млрд долл. в год (то есть примерно от 1600 до 3600 долл. на один автомобиль) [Vuchic, 2017]. Фактически автомобилист оплачивает около 60% реальных расходов на свою поездку, остальные ложатся на плечи общества. Потому личный автотранспорт может оказаться финансово более выгодным по сравнению с другими средствами передвижения.

Несмотря на то, что в данной статье электромобили и общественный транспорт противопоставляются, это не означает, что в контексте снижения количества вредных выбросов они не могут дополнять друг друга. Более того, развитие общественного транспорта в перспективе должно служить дополнением к мерам, направленным на постепенную электрификацию личного автомобильного парка. Это не обязательно должны быть субсидии или другие финансовые формы поддержки, такими мерами могут быть административные барьеры – ограничение въезда в определенные зоны города, дополнительные налоги на автомобили с ДВС и пр., что можно рассматривать как возврат владельцами личного транспорта рассмотренных выше косвенных субсидий.

### **Схема расчета**

Потенциал снижения объема вредных выбросов от электрификации автопарка и перераспределения части пассажиров с личных автомобилей на общественный транспорт может и должен быть оценен. Для этого была построена модель воздействия личного легкового автотранспорта и разных категорий общественного транспорта на уровень выбросов CO<sub>2</sub>. Основной переменной, которая используется для связи всех элементов модели, является VMT (vehicle miles travelled – суммарный «пробег» всех пассажиров).



Ядро модели, где проводятся основные расчеты, состоит из 3 блоков (легковые автомобили, автобусы, метро), в которых оценивается объем выбросов на соответствующем виде транспорта в разных сценариях. Для этого внутри каждого блока проводится расчет потребления моторного топлива (кроме метро) и электроэнергии, влияющего на эти выбросы. Блоки автобусов и метро также содержат оценку возможного замещения ими легковых автомобилей в сценариях с более интенсивной интер-модальной транспортной политикой.

Выбросы оцениваются в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте для трех основных вредных элементов, выделяемых при сжигании нефтепродуктов – собственно углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), метана ( $\text{CH}_4$ ) и оксида азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

Расчет в рамках каждого блока проводится в пять этапов.

**На первом этапе** оценивается объем потребления моторного топлива:

$$FuelCons = Fleet_{ICE} \cdot Mil \cdot Fuel, \quad (1)$$

где  $FuelCons$  – объем потребления моторного топлива,  $Fleet_{ICE}$  – парк данного вида транспорта с ДВС,  $Mil$  – средний пробег данного вида транспорта,  $Fuel$  – удельный расход моторного топлива данным видом транспорта, пересчитанный в нефтяной эквивалент (на 100 км).

Парк  $Fleet_{ICE}$  оценивается исходя из гипотез электрификации данного вида транспорта:

$$Fleet_{ICE} = Fleet \cdot (1 - ShareEl), \quad (2)$$

где  $Fleet$  – весь парк данного вида транспорта,  $ShareEl$  – доля электрифицированного парка.

**На втором этапе** рассчитывается объем вредных выбросов от сжигания моторного топлива данным видом транспорта:

$$Emiss_{ICE} = FuelCons \cdot EmissCoeff, \quad (3)$$

где  $EmissCoeff$  – коэффициент пересчета потребленной нефти по видам выбросов (углекислого газа, метана, оксида азота) в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте<sup>6</sup>.

**На третьем этапе** оценивается объем потребления электроэнергии, который затем пересчитывается в нефтяной эквивалент:

<sup>6</sup> По данным URL: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov>

$$ElCons = Fleet_{El} \cdot Mil \cdot El, \quad (4)$$

где  $ElCons$  – объем потребления электроэнергии в нефтяном эквиваленте,  $Fleet_{El}$  – парк данного вида транспорта на электричестве ( $Fleet_{El} = Fleet \cdot ShareEl$ );  $Mil$  – средний пробег данного вида транспорта,  $El$  – удельный расход электроэнергии данным видом транспорта, пересчитанный в нефтяной эквивалент (на 100 км).

**На четвертом этапе** рассчитывается объем вредных выбросов, связанных с потреблением электроэнергии, на данном виде транспорта:

$$Emiss_{El} = ElCons \cdot EmissCoefEl, \quad (5)$$

где  $EmissCoefEl$  – коэффициент пересчета потребленной электроэнергии по видам выбросов в CO<sub>2</sub>-эквиваленте, рассчитываемый по формуле:

$$EmissCoefEl = ShC \cdot EmissCoefC + ShF \cdot EmissCoefF + ShG \cdot EmissCoefG, \quad (6)$$

где  $ShC$ ,  $ShF$ ,  $ShG$  – доли угля, нефти, газа в структуре электрогенерации соответственно,  $EmissCoefC$ ,  $EmissCoefF$ ,  $EmissCoefG$  – коэффициенты пересчета потребленного энергоресурса (угля, нефти, газа) по видам выбросов (углекислого газа (CO<sub>2</sub>), метана (CH<sub>4</sub>), оксида азота (N<sub>2</sub>O)) в CO<sub>2</sub>-эквиваленте<sup>7</sup>.

В основу этого расчета заложены две сильные гипотезы. Во-первых, используется структура генерации Московской энергосистемы, которая, функционируя в основном в условиях профицита, может отличаться от структуры потребления. Во-вторых, принимается приблизительная оценка потерь в сетях 16%.

Суммарный объем вредных выбросов на каждом виде транспорта может быть оценен как:

$$Emiss = Emiss_{ICE} + Emiss_{El}. \quad (7)$$

**На пятом этапе** рассчитывается вклад в объем выбросов в сценариях замещения перевозок с использованием легковых автомобилей перевозок на общественном транспорте.

В Москве основными видами общественного транспорта являются железнодорожный (метро, «Московское центральное

<sup>7</sup> По данным URL: <https://sro150.ru/index.php/metodiki/371-metodika-rascheta-vybrosov-parnikovykh-gazov>

кольцо»<sup>8</sup>, «Московские центральные диаметры»<sup>9</sup>, трамваи – все они эксплуатируются ГУП «Московский метрополитен») и автобусный. Последние троллейбусные маршруты в Москве были закрыты летом 2020 г. Для простоты мы будем рассматривать сценарии, в которых основное развитие получают только метро и автобусы.

Расчеты проводились в предположении, что для комфортного передвижения пассажиров рост доступности общественного транспорта будет происходить за счет наращивания парка (и как следствие – увеличения частоты подачи транспорта), а не за счет увеличения средней загрузки транспортных средств.

Предлагается следующая схема расчета: каждая дополнительная единица транспорта позволяет перевезти количество пассажиров, равное средней наполняемости на данный момент, и тем самым восполнить потребность в передвижении, которая ныне удовлетворяется легковым транспортом. Это снижает средний пробег на легковом транспорте на величину равную:

$$\Delta Mil_{auto} = \Delta Fleet_{pt} \cdot (Cap_{pt} / Cap_{auto}) \cdot Mil_{auto}, \quad (8)$$

где  $\Delta Mil_{auto}$  – величина снижения пробега легковых автомобилей в результате роста доступности общественного транспорта,  $\Delta Fleet_{pt}$  – прирост парка общественного транспорта (единиц автобусов или вагонов метро),  $Cap_{pt}$  – средняя наполняемость единицы общественного транспорта (автобуса или вагона метро)<sup>10</sup>,  $Cap_{auto}$  – средняя наполняемость одного легкового автомобиля<sup>11</sup>,  $Mil_{auto}$  – средний пробег легкового автомобиля<sup>12</sup>.

Снижение пробега легковых автомобилей выражается в снижении потребления ими моторного топлива, а потому и вредных выбросов:

$$\Delta Emiss_{auto} = \Delta Mil_{auto} \cdot Fuel_{auto} \cdot EmissCoefF, \quad (9)$$

<sup>8</sup> Городская система движения электропоездов по основному ходу Малого кольца Московской железной дороги.

<sup>9</sup> Новое наземное метро, которое объединяет формат пригородных электричек и столичного метро.

<sup>10</sup> Мы используем приблизительную оценку, исходя из данных о площади одного вагона и плотности человек на 1 м<sup>2</sup> и учитывая, что в среднем наполняемость меньше, чем в часы пик: URL: <https://www.the-village.ru/city/moscow-in-figures/135273/>  
URL: [https://www.maz-rus.com/products/passenger\\_vehicle/maz-103/](https://www.maz-rus.com/products/passenger_vehicle/maz-103/)

<sup>11</sup> По данным URL: <https://proboknet.livejournal.com/270737.html>

<sup>12</sup> По данным URL: <https://www.autostat.ru/news/41617/>

где  $\Delta Emiss_{auto}$  – величина снижения объема вредных выбросов легковыми автомобилями в результате роста доступности общественного транспорта,  $\Delta Mil_{auto}$  – величина снижения пробега легковых автомобилей,  $Fuel_{auto}$  – удельный расход топлива, пересчитанный в нефтяной эквивалент (на 100 км),  $EmissCoefF$  – коэффициент пересчета потребленной нефти по видам выбросов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) в CO<sub>2</sub>-эквиваленте.

Увеличение пробега общественного транспорта за счет перехода на него части автомобилистов может быть определено по формуле:

$$\Delta Mil_{pt} = \Delta Mil_{auto} / (Cap_{pt} / Cap_{auto}), \quad (10)$$

где  $\Delta Mil_{pt}$  – величина увеличения пробега общественного транспорта в результате роста его доступности,  $\Delta Mil_{auto}$  – величина снижения пробега легковых автомобилей,  $Cap_{pt}$  – средняя наполняемость единицы общественного транспорта,  $Cap_{auto}$  – средняя наполняемость одного легкового автомобиля.

Увеличение пробега общественного транспорта выражается в дополнительном потреблении энергоресурсов (в нашем расчете это моторное топливо у автобусов и электроэнергии у метро).

$$\Delta Emiss_{pt} = \Delta Mil_{pt} \cdot Fuel_{pt} \cdot EmissCoef, \quad (11)$$

где  $\Delta Emiss_{pt}$  – увеличение объема вредных выбросов дополнительным парком общественного транспорта,  $\Delta Mil_{pt}$  – дополнительный пробег общественного транспорта,  $Fuel_{pt}$  – удельный расход топлива одной единицей общественного транспорта, пересчитанный в нефтяной эквивалент (на 100 км),  $EmissCoef$  – коэффициент пересчета потребленных энергоресурсов (нефтепродукты, электроэнергия) по видам выбросов (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) в CO<sub>2</sub>-эквиваленте.

Стоимость реализации той или иной транспортной политики определяется по следующим условиям:

– для реализации политики электрификации личных автомобилей предполагается субсидирование покупок электромобилей в размере 625 тыс. руб./ед.<sup>13</sup>;

<sup>13</sup> Согласно программе поддержки электромобилей российской сборки. URL: <https://www.ixbt.com/news/2021/08/04/oficialno-vlasti-rossii-obespechat-skidki-na-elektromobili-do-625-tysjach-rublej.html>

– для реализации политики стимулирования использования автобусов предполагается закупка автобусов по средней цене 26,4 млн руб./ед.<sup>14</sup>;

– для реализации политики стимулирования использования метро предполагается закупка вагонов метро по средней цене 100 млн руб./ед.<sup>15</sup>

Стоимость политики в каждом из сценариев определялась как произведение совокупных продаж (закупок) транспортных средств за весь период и стоимости одной его единицы.

Отметим, что такая оценка является приблизительной и включает большое количество допущений. Так, политика электрификации автопарка включает не только субсидирование покупок, но и развитие зарядной инфраструктуры. Политика стимулирования использования общественного транспорта помимо закупки транспортных средств включает обеспечение инфраструктуры (особенно в случае расширения метро), затраты на заработную плату работникам, на системы автоматического пилотирования и пр. При этом часть этих затрат компенсируется оплатой проезда пассажирами.

## Рассматриваемые сценарии

Расчеты проводились в семи вероятных сценариях. **Сценарий 1 (консервативный)** не предполагает ни электрификации личного парка, ни перетока пассажиров в сферу общественного транспорта. Прогноз парка легковых автомобилей был получен на основе прогноза динамики обеспеченности с помощью логистической функции (подробнее см. [Ksenofontov, Milyakin, 2018]). Парки остальных видов транспорта основаны на данных о сложившихся в ретроспективе закономерностях и на гипотезах относительно планируемых расходов городского бюджета на поддержку общественного транспорта. Средний пробег одного автомобиля задается постоянным<sup>16</sup>. Мы принимаем гипотезу о том, что средний расход бензина составляет 8,1 л/км и в перспективе будет снижаться (на 20% к 2045 г.).

<sup>14</sup> По данным о закупках Мосгортранса URL: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/ea44/view/common-info.html?regNumber=0173200001420001846>

<sup>15</sup> Подробнее см.: URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Москва\\_2020](https://ru.wikipedia.org/wiki/Москва_2020)

<sup>16</sup> Согласно оценке Автостата, в Москве в 2019 году он составил 16,1 тыс. км в год. URL: <https://www.autostat.ru/news/41617/>

**Сценарий 2 (активная электрификация).** В настоящее время продажи электромобилей в России сравнительно малы. В 2021 г. было продано всего 2,3 тыс. электрокаров, это менее 0,2% от общих продаж легковых автомобилей (1,7 млн ед.). В Москве продажи электромобилей составили 924 ед. (около 0,4%). В данном сценарии предполагается, что доля электромобилей в продажах (и как следствие – в парке) будет в перспективе повышаться.

Три следующих варианта **сценария – 3.1, 3.2, 3.3 – искусственные.** Они призваны проиллюстрировать различные гипотезы **увеличения доли общественного транспорта в перевозках пассажиров.**

Сценарий 3.1 показывает, каково влияние увеличения использования автобусного парка по сравнению с консервативным сценарием без дополнительных мер электрификации автомобильного или автобусного парка. При этом закладывается гипотеза, что это увеличение будет сопряжено со снижением использования личных автомобилей. Аналогично сценарий 3.2 позволяет предположить, как изменятся показатели потребления топлива и выбросов, если увеличится использование метро при снижении использования личных автомобилей. Сценарий 3.3 призван показать влияние перетока пользователей легковых автомобилей в сферу автобусов и метро.

**Сценарий 4** описывает предполагаемые результаты последовательных мер по снижению вредных выбросов в городе. Он сочетает в себе основные меры сценариев 2 и 3.3. **Сценарий 5 (радикальный)** опирается на маловероятные гипотезы ужесточения транспортной политики и приведения вредных выбросов к минимуму. В силу того, что в рассматриваемой перспективе радикального снижения выбросов в Москве за счет наращивания использования общественного транспорта не представляется возможным (для этого требуетсякратно увеличить используемые парки метро и автобусов, а также полностью перестроить существующую транспортную систему города), мы рассматриваем сценарий **полной электрификации личного транспорта.** В нем предполагаются активное субсидирование потребления электромобилей, значительное расширение зарядной инфраструктуры и постепенный запрет автомобилей с ДВС в черте города. Эти меры создают предпосылки для роста уровня продаж электромобилей до 5% к 2025 г. и 100% к 2030 г. Постепенное обновление парка

приводит к росту доли электромобилей в парке до 18% к 2030 г., 78% к 2035 г. и 100% к 2045 г.

Ключевые различия количественных гипотез между сценариями 1–5 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры сценариев расчета, %

| Показатель                              | Сценарий |   |     |     |     |    |     |
|---|----------|---|-----|-----|-----|----|-----|
|   | 1        | 2 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 4  | 5   |
| Доля электромобилей в парке (2045)      | 0        | 7 | 0   | 0   | 0   | 7  | 100 |
| Прирост парка автобусов (2045/2019)     | 0        | 0 | 50  | 0   | 50  | 50 | 50  |
| Прирост числа вагонов метро (2045/2019) | 0        | 0 | 0   | 50  | 50  | 50 | 50  |

В таблице 2 приведены исходные данные, необходимые для расчетов.

Таблица 2. Исходные данные для расчета показателей выбросов (по состоянию на 2021 г., если не указано иное)

|   |      |
|---|------|
| Численность населения, млн чел.                               | 12,5 |
| Численность населения, млн чел. (оценка Росстата для 2045 г.) | 14,0 |
| Парк легковых автомобилей, тыс. ед.                           | 3937 |
| Парк легковых автомобилей, тыс. ед. (оценка для 2045 г.)      | 4983 |
| Средняя загрузка одного автомобиля, чел.                      | 1,4  |
| Средний пробег автомобиля, тыс. км в год                      | 16,1 |
| Расход бензина одним автомобилем, л на 100 км                 | 8,1  |
| Расход электроэнергии одним электромобилем, кВт*ч на 100 км   | 19,6 |
| Потери электроэнергии в сетях                                 | 1,16 |
| Доля угля в электрогенерации, %                               | 16   |
| Доля нефти в электрогенерации, %                              | 1    |
| Доля газа в электрогенерации, %                               | 55   |
| Углеродоемкость угля, кг CO <sub>2</sub> на кг топлива        | 3,6  |
| Углеродоемкость нефти, кг CO <sub>2</sub> на кг топлива       | 2,2  |
| Углеродоемкость газа, кг CO <sub>2</sub> на кг топлива        | 1,6  |
| Парк автобусов, тыс. ед.                                      | 8,8  |
| Расход моторного топлива одним автобусом, л на 100 км         | 24,0 |
| Число вагонов метро, тыс. ед.                                 | 6,0  |
| Расход электроэнергии одним вагоном метро, кВт*ч на 100 км    | 80,0 |
| Число сидячих мест в автобусе, ед.                            | 30   |
| Число стоячих мест в автобусе, ед.                            | 30   |
| Число сидячих мест в вагоне метро, ед.                        | 36   |
| Число стоячих мест в вагоне метро, ед.                        | 100  |

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

**Таблица 3. Вредные выбросы в CO<sub>2</sub>-эквиваленте для Москвы в 2021 г. и в 2045 г. в разных сценариях, а также затраты, необходимые для достижения снижения выбросов (оценка автора)**

| Показатель   | Вредные выбросы в CO <sub>2</sub> -экв, тыс. т | Затраты на субсидирование покупок электромобилей и/или закупок автобусов/вагонов метро, трлн руб. | Затраты на каждый 1% снижения выбросов по сравнению со сценарием 1, млрд руб. |
|--------------|--|---|---|
| 2021         | 8401   |   |   |
| Сценарий 1   | 7887   |   |   |
| Сценарий 2   | 7449   | 0,23  | 42  |
| Сценарий 3.1 | 7553   | 0,12  | 28  |
| Сценарий 3.2 | 7340   | 0,31  | 45  |
| Сценарий 3.3 | 7006   | 0,43  | 39  |
| Сценарий 4   | 6632   | 0,66  | 42  |
| Сценарий 5   | 1661   | 3,47  | 44  |

Сценарий 1 характеризуется незначительным снижением выбросов к 2045 г. по сравнению с 2021-м. Это связано с тем, что рост использования легковых автомобилей и общественного транспорта компенсируется увеличением энергоэффективности двигателей. Сценарий 2 показывает, что увеличение доли электромобилей в парке до 7% может помочь сократить выбросы еще на 6%. Стоит отметить, что в силу инерционности формирования автопарка доля 7%, возможна, только если продажи электрокаров будут расти опережающими темпами относительно всего рынка (к 2045 г. в этом расчете они достигают 20%).

Затраты, необходимые для субсидирования электромобилей в принятых гипотезах, оцениваются в 230 млрд руб. (что составляет 42 млрд руб. на 1% снижения выбросов по сравнению со сценарием 1).

Сценарии 3.1 – 3.3 показывают возможности влияния существенного наращивания использования общественного транспорта на выбросы. При этом *сценарий 3.1 можно характеризовать как*



*один из самых эффективных с точки зрения объем затрат на закупку транспортных средств:* для снижения объема выбросов на 1% по сравнению с базовым сценарием требуется 28 млрд руб. А сценарий 3.2, напротив, наиболее дорогой – 1% снижения выбросов стоит 45 млрд руб. В сценарии 3.3, где наращивается использование автобусов и метро, дополнительное к сценарию 1 снижение выбросов оценивается в 11%.

Потенциал снижения выбросов за счет общественного транспорта ограничен из-за несопоставимости объемов его парка и автомобильного. Парк вагонов метро на 2021 г. насчитывал около 6,8 тыс. единиц, парк автобусов – около 11,6 тыс. единиц, в то время как легковых автомобилей в Москве зарегистрировано 4,1 млн. С учетом максимальной вместимости одного вагона (мы ее приняли равной 136 пассажирам) и автобуса (60 пассажиров) для того, чтобы компенсировать половину поездок на личных авто, парк автобусов и метро должен вырасти почти втрое (на 176%). Это потребует радикального изменения транспортной системы города, активной запрещающей политики в отношении автомобилей, что не только сопряжено с огромными финансовыми затратами и рядом соответствующих рисков, но и требует большой политической воли.

Сценарий 4 показывает, что комплексная транспортная политика – увеличение использования общественного транспорта и умеренная электрификация способны привести к снижению выбросов к 2045 г. на 16% по сравнению с базовым сценарием. При этом стоимость снижения выбросов на 1% оценивается в 42 млрд руб.

Сценарий 5 радикальной электрификации, в котором доля электромобилей в продажах доходит до 100% уже к 2030 г., позволяет снизить выбросы, связанные с использованием легковых автомобилей на 79% по сравнению со сценарием 1. При этом стоимость снижения выбросов на 1% сравнима с остальными сценариями – 44 млрд руб. Однако общие совокупные затраты до 2045 г. оцениваются в 3,5 трлн руб.

## **Выводы**

В статье рассмотрен один из возможных подходов к анализу потенциала снижения выбросов CO<sub>2</sub> от пассажирского транспорта в крупных городах. В фокусе внимания две основные

альтернативы: электрификация личного легкового транспорта и повышение использования общественного транспорта. На примере Москвы показано, что рост спроса на передвижение будет сопряжен в инерционном сценарии с увеличением парка легковых автомобилей, при этом рост энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания будет компенсировать связанный с этим прирост выбросов. Дополнительные меры (электрификация, стимулирование меньшего использования собственных автомобилей в пользу общественного транспорта) способны благотворно повлиять на объем выбросов. Однако умеренная электрификация, рассматриваемая в сценариях 2 и 4, не приводит к их радикальному снижению.

Несмотря на то, что сценарий стимулирования использования автобусов может быть привлекательным с точки зрения затрат на его осуществление, возможности снижения выбросов за счет наращивания использования общественного транспорта ограничены. Для радикального сокращения выбросов без потери в комфорте в передвижении требуется кратное увеличение его парка.

Поэтому в качестве ключевого сценария предлагается усиленная электрификация, в результате которой возможно сокращение выбросов на 80% по сравнению с уровнем 2021 г. С точки зрения абсолютных затрат этот сценарий требует существенных вложений в субсидирование покупок электромобилей, однако из расчета затрат на 1% снижения выбросов его стоимость сопоставима с другими сценариями.

Полученные результаты могут быть использованы и для других городов России. Ограничением для их тиражирования являются отличия в структуре транспортной системы городов. Так, для Москвы и Санкт-Петербурга ведущую роль в передвижении пассажиров играет метро, в то время как в других городах России его либо нет, либо его роль вспомогательная. Что касается наземного общественного транспорта, то в большинстве городов России в гораздо большей степени, чем автобусы, используется маршрутное такси, которое отличается как по вместимости, так и по объему потребления топлива.

Тем не менее субсидируемая электрификация автомобилей, а также развитие зарядной инфраструктуры может быть важным фактором снижения выбросов в городах России, а масштабы

снижения выбросов в сценариях электрификации в процентном выражении могут быть оценены как сопоставимые с московскими.

## References

Bamberg, S., Hunecke, M., Blöbaum, A. (2007). Social context, personal norms and the use of public transportation: Two field studies. *Journal of environmental psychology*. Vol. 27. No. 3. Pp. 190–203.

Haddad, L., Aouachria, Z. (2015). Impact of the transport on the urban heat island. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, Vol. 9. No. 8. Pp. 968–973.

Helmers, E., Weiss, M. (2017). Advances and critical aspects in the life-cycle assessment of battery electric cars. *Energy and Emission Control Technologies*, Vol. 5. No. 1. Pp. 1–18.

Khreis, H., May, A.D., & Nieuwenhuijsen, M.J. (2017). Health impacts of urban transport policy measures: A guidance note for practice. *Journal of Transport & Health*. No. 6. Pp. 209–227.

Kolbe, K. (2019). Mitigating urban heat island effect and carbon dioxide emissions through different mobility concepts: Comparison of conventional vehicles with electric vehicles, hydrogen vehicles and public transportation. *Transport Policy*. No. 80. Pp. 1–11.

Ksenofontov, M.Y., Milyakin, S.R. (2018). The automobilization process and its determining factors in the past, present, and future. *Studies on Russian Economic Development*. Vol. 29. No. 4. Pp. 406–414.

Prior, T., Wäger, P.A., Stamp, A., Widmer, R., Giurco, D. (2013). Sustainable governance of scarce metals: The case of lithium. *Science of the total environment*. No. 461. Pp. 785–791.

Siegelbaum, L.H. (2011). Cars for comrades. In *Cars for Comrades*. Cornell University Press. 328 p.

Timmers, V.R., Achten, P.A. (2018). Non-exhaust PM emissions from battery electric vehicles. *Non-exhaust emissions*. Pp. 261–287.

Eckart, J. (2017, November). Batteries can be part of the fight against climate change – if we do these five things. In *World Economic Forum*.

Urry, J. (2012). *Sociology beyond societies: Mobilities for the twenty-first century*. Routledge. 272 p.

Urry, J. (2004). The 'system' of automobility. *Theory, culture & society*. Vol. 21. No. 4–5. Pp. 25–39.

Vuchic, V.R. (2017). *Transportation for livable cities*. Routledge. 378 p.  
Milyakin S.R., Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economic Forecasting of the RAS, Moscow, milyakinsergei@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3770-7785>

Статья поступила 17.07.2022

Статья принята к публикации 17.08.2022

**Для цитирования:** Мильякин С.Р. Снижение выбросов CO<sub>2</sub> в городах: электромобили или общественный транспорт // ЭКО. 2022. № 12. С. 32–51.  
DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-12-32-51

## Summary

*Milyakin, S.R., Cand. Sci. (Econ.). E-mail: milyakinsergei@gmail.com  
Institute of Economic Forecasting of the RAS, Moscow*

### **Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Cities: Electric Cars or Public Transport**

**Abstract.** The paper examines the emission of CO<sub>2</sub> in urban passenger transport. Two alternatives are considered – electrification of private cars and increased use of public transport. To compare them, a model for calculating CO<sub>2</sub> emissions from urban passenger transport is used. Calculations were made for seven scenarios differing in the degree of electrification and the degree of substitution of the use of cars by public transport. The example of Moscow shows that electrification of private cars can be the main direction to reduce CO<sub>2</sub> emissions, while the substitution of public transport can help to mitigate other negative effects of motorization.

**Keywords:** *CO<sub>2</sub> emissions; electric vehicles; cars; transport; public transport; scenarios; forecasting*

**For citation:** Milyakin, S.R. (2022). Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Cities: Electric Cars or Public Transport. *ECO*. No.12. Pp. 32–51. (In Russ.). DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2022-12-32-51