

ПУТИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ ТАШКЕНТА

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ: МОДЕЛЬ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ ТАШКЕНТА

Ноябрь 2023г.



Supported by:

О ДОКУМЕНТЕ

В рамках SIPA, Программы устойчивой инфраструктуры в Азии, в Узбекистане проведено национальное исследование по принципу «дорожной карты». Оно посвящено снижению углеродных выбросов городского пассажирского транспорта в Ташкенте с акцентом на роль общественного транспорта. Основными результатами этого исследования являются План улучшения городской мобильности Ташкента и Модель городской мобильности Ташкента.

В данном методологическом отчете даются разъяснения по компонентам модели, исходным допущениям, этапам моделирования и интерпретации результатов. Он является справочным документом для любого пользователя инструмента, желающего детально разобраться в модели и взаимосвязях между различными переменными.

Получить дополнительную информацию и ознакомиться с результатами проекта:

<https://www.itf-oecd.org/decarbonising-pathways-urban-mobility-uzbekistan>

ДИСКЛЕЙМЕР

Результаты, представленные в модели, следует рассматривать как оценку, полученную на основе наилучших доступных данных и информации, собранных в ходе проекта. Ее основная ценность заключается в обеспечении сравнения сценариев, а не в предоставлении точных значений определенных показателей в будущем.

МТФ гарантирует получение результатов для стандартных сценариев в модели: Базовый сценарий, Сценарий текущей политики и Сценарий климатических амбиций. Эти сценарии утверждены технической группой и Министерством транспорта Республики Узбекистан. Модель позволяет вручную создавать альтернативные сценарии путем корректировки вводных данных, однако МТФ не подтверждает результаты такой работы и не должен указываться как источник каких-либо результатов, полученных вручную.

Использование модели, ее стандартных сценариев и любых других элементов является бесплатным.

Данная работа выполнена по лицензии CC BY-NC-SA 4.0 Creative Commons и может свободно адаптироваться и распространяться для некоммерческого использования.

Пожалуйста, цитируйте эту работу как: ITF (2023), "Tashkent's Urban Mobility Model: Methodology Report", *Sustainable Infrastructure Programme in Asia – Transport*, OECD Publishing, Paris.

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛЬ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ ТАШКЕНТА	5
Цели.....	5
Масштаб моделирования	5
Подход к моделированию.....	7
Оговорка касательно модели.....	8
ВВОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИ: ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ	9
Вводные данные базового года и экзогенные прогнозы	9
Социально-экономические данные	9
Сценарные/пользовательские вводные данные	10
ВВОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИ: ЭНДОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ	12
Расстояние поездки	12
Транспортное обеспечение	13
Характеристики видов транспорта	15
Корректировка технологичности транспорта	22
МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОК И ВЫБОРА ВИДА ТРАНСПОРТА	23
Модель формирования поездок	23
Модель выбора вида транспорта	23
ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	25
Пассажиро-километры	25
Автомобиле-километры	25
Выбросы CO ₂ и локальных загрязняющих веществ	26
СЦЕНАРНЫЕ МЕРЫ.....	28
Обзор мер	28
Расширение инфраструктуры	29
Развитие общественного транспорта.....	30
Развитие транспорта совместного использования (шеринга)	32
Ограничительные меры	34
Ценовые меры	36
Развитие технологичности транспорта	37
Другие меры.....	38
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	40

МОДЕЛЬ ГОРОДСКОЙ МОБИЛЬНОСТИ ТАШКЕНТА

Цели

Цель модели - предоставить директивным органам удобный инструмент для определения и оценки возможных путей снижения углеродных выбросов сектора городского пассажирского транспорта в Ташкенте до 2050 года. Пользователи данного инструмента могут свободно тестировать различные пакеты политик развития путем построения сценариев.

Модель на основе электронных таблиц представляет собой готовый к использованию инструмент для специалистов по планированию городского транспорта и директивных органов для определения воздействия альтернативных политик и программ на городскую мобильность с точки зрения доли видов транспорта, уровня мобильности, выбросов углерода («well-to-wheel» - полный жизненный цикл топлива) и локальных загрязняющих веществ.

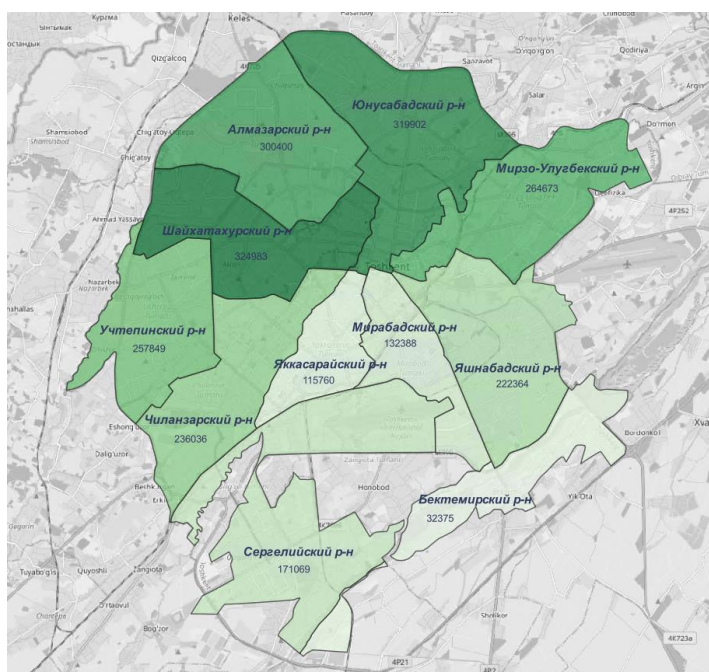
Инструмент разработан на основе Глобальной модели городского пассажирского транспорта МТФ (Chen, Kauppi, 2017), которая была впервые представлена в 2017 году и усовершенствована в рамках проекта Horizon 2020 «Decarbonising Transport in Europe» (ITF, 2020), после чего ежегодно обновлялась в рамках «ITF Transport Outlook 2021» (ITF, 2021) и «ITF Transport Outlook 2023» (ITF, 2023).

Модель передана Министерству Транспорта Республики Узбекистан. Модель разработана в рамках «Программы устойчивой инфраструктуры в Азии» (SIPA) ОЭСР, где МТФ возглавляет деятельность в транспортном секторе, финансируемую Федеральным министерством по защите окружающей среды, охране природы и ядерной безопасности Германии (BMU).

Масштаб моделирования

Модель представляет городскую мобильность Ташкента, Узбекистан. Территория исследования соответствует территории города Ташкента, состоящего из 11 районов (см. рис. 1).

Рисунок 1: Карта г. Ташкент и его населения на 2022 год по районам



Источник: Анализ МТФ на основе OpenStreetMap, Агентство по статистике при Президенте Республики Узбекистан

Модель анализирует 14 видов транспорта, охватывая все существующие и потенциальные будущие виды транспорта. Эти виды транспорта перечислены и описаны в Таблице 1.

Таблица 1: Список видов транспорта, включенных в модель

Активная мобильность	
Пешком	Пешком
Велосипед	Личный велосипед
Байкшеринг и скутершеринг	Система шеринга самокатов и велосипедов
Личный транспорт	
Мотоцикл	Личный мотоцикл
Автомобиль	Личный автомобиль
Общественный транспорт	
ОТ-ЖД	Система тяжелого рельсового транспорта для пригородных поездок
ОТ-Метро	Система тяжелого рельсового транспорта для коротких и средних городских поездок
ОТ-Автобус	Система стандартных автобусов
ОТ-САТ	Система скоростного автобусного транспорта
ОТ-Миниавтобус	Паратранзитная система (маршрутные такси), не управляемая государственной администрацией
ОТ-Транспорт по требованию	Система совместных поездок, основанная на использовании транспортных средств большой вместимости. Также известно как «такси-автобус»
Совместная мобильность	
Такси	Система такси
Совместный транспорт	Частная система вызова/сбора попутчиков
Каршеринг	Система совместного использования автомобилей

Чтобы лучше представить городскую мобильность для различных сегментов рынка, потребность в поездках в модели дополнительно разбивается по полу (мужчины и женщины), по 5 различным возрастным категориям и по 6 категориям расстояний поездок, как показано на Рисунке 2. Например, мужчины и женщины могут иметь различные предпочтения в отношении видов транспорта, а в зависимости от расстояния поездки, некоторые виды транспорта являются более привлекательными или практичными, чем другие.

Что касается временных рамок прогнозирования, то модель создает прогнозы будущей потребности в поездках и соответствующих выбросов с шагом в 5 лет, в период между 2015 и 2050 годами.

Рисунок 2: Категории населения и расстояния поездок в модели



Подход к моделированию

Общие этапы моделирования

В основе модели лежит традиционный 4-этапный подход к моделированию транспортной системы для определения потребности в поездках, с дополнительным этапом для расчета выбросов CO₂ и локальных загрязняющих веществ в результате потребности в поездках. Результаты каждого этапа поступают на следующий этап в качестве вводных данных, как показано на Рисунке 3.

Рисунок 3: Общая структура моделирования



Во-первых, модель инициализируется с различными вводными данными, которые включают в себя 1) данные базового года (2015), 2) внешние/экзогенные прогнозы, которые отображают эволюцию городской территории (например, демографические показатели, социально-экономическое развитие, пути развития технологий транспортных средств, или ТС) до 2050 года, и 3) различные сценарные вводные данные - набор политических мер и допущений, которые либо predeterminedены в модели, либо заданы пользователем.

Во-вторых, модель использует обновленные географические характеристики (например, размер и плотность городской застройки) исследуемой зоны на основе социально-экономических данных, а также вводных данных о мерах, принимаемых в определенном сценарии. На основе этой информации, рассчитывается транспортное обеспечение (т. е. доступная транспортная инфраструктура и транспортные услуги) и среднее расстояние поездки для каждого диапазона (категории) расстояний поездок. Это позволяет перейти к следующему шагу, который заключается в корректировке доступности и характеристик различных видов транспорта для каждой категории расстояния поездок и пола пассажиров.

В-третьих, запускается основная часть транспортной модели. Модель генерирует общее количество поездок на основе географических и социально-экономических данных. Затем, с помощью модели выбора вида транспорта, учитывающей различные характеристики таких видов транспорта, рассчитываются процентные доли этих видов транспорта.

Наконец, производятся основные выходные данные (результаты) модели. Потребность в пассажирских поездках является результатом комбинации сгенерированного количества поездок, среднего расстояния поездки и долей видов транспорта. Затем, потребность в пассажирских поездках преобразуется в потребность в использовании ТС с использованием предполагаемых коэффициентов загрузки ТС. Наконец, технологические допущения, такие как комбинация видов топлива, расходы топлива и коэффициенты выбросов, позволяют оценить выбросы CO₂ и локальных загрязняющих веществ в результате потребности в использовании ТС.

На рисунке не представлено исчерпывающее описание регрессионных моделей, связывающих экзогенные и эндогенные вводные переменные, которые позволяют строить прогнозы на будущее. На рисунке также не приводится различие между вводными данными, которые зафиксированы в модели, и теми, которые могут изменяться в результате различных (политических) сценариев. Обе взаимосвязи более подробно описаны в следующих разделах.

Калибровка модели

Данная модель является частью Глобальной модели городского пассажирского транспорта МТФ (версия 2023 года), которая была разработана и обновлена для подготовки «ITF Transport Outlook 2023» (ITF, 2023). Модель откалибрована по регионам мира, а не на национальном уровне, что позволяет получить согласованные результаты по всем регионам.

Коэффициенты модели, представленные в следующих разделах, взяты непосредственно из Глобальной модели МТФ и применены для города Ташкента. Кроме того, при наличии данных, коэффициенты были адаптированы к местным условиям Ташкента, чтобы воспроизвести наблюдаемую потребность в поездках и поведенческие характеристики для базового года, например, доли видов транспорта, интенсивность поездок и т. д.

Стоит отметить, что не все параметры калибровки могут быть оптимальными для Ташкента из-за ограниченной доступности данных. Тем не менее, значения параметров можно рассматривать как соответствующие отправные точки для калибровки модели. Как только (и если) в будущем появятся качественные данные для различных субмоделей, можно будет перекалибровать некоторые параметры и включить их в модель. В данном методологическом отчете представлены соответствующие формулы.

Валидация модели

Некоторые результаты модели для исторических и прогнозируемых годов были проверены на основе существующей информации по Ташкенту, предоставленной Министерством Транспорта. Эта информация взята из Указов Президента (например, №ПП-111 от 02.02.2022), годовых отчетов операторов общественного транспорта (ТошШахарТрансХизмат) и существующих исследований, проведенных международными партнерами (Kalyon Ulastirma, MOEF - Южная Корея). В Таблице 2 представлены подтвержденные значения. Как видно из таблицы, большинство значений очень близки к значениям, указанным в документах.

Таблица 2: Валидация модели, основные транспортные характеристики

Транспортные характеристики	Модель МТФ		Информация МТ	
	Год	Значение	Год	Значение
Общая численность населения	2030	2,9 млн	2030	3 млн
Поездки на метро в день	2021	515 тыс	2021	500 тыс
Поездки на автобусе в год	2021	121 млн	2021	138 млн
Поездки на общественном транспорте в день	2021	1,24 млн	2021	1,32 млн
Модальная доля общественного транспорта	2021	19%	2021	21%

Оговорка касательно модели

Несмотря на то, что модель способна отразить большую часть динамики городской транспортной системы, в ней есть некоторые ограничения, связанные с отсутствием части данных, а также техническими и временными ограничениями. Тем не менее, структура модели разработана таким образом, чтобы обеспечить гибкость для включения дополнительных модулей и динамики, как только в будущем появятся достаточно достоверные дополнительные данные.

ВВОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИ: ЭКЗОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

В этой главе представлены вводные данные, необходимые для инициализации модели: данные базового года (2015), экзогенные переменные, социально-экономические вводные данные и пользовательские/сценарные вводные данные. Экзогенная переменная - это переменная, значение которой определяется вне модели и накладывается на модель.

Вводные данные базового года и экзогенные прогнозы

Социально-экономические данные

Размер территории, валовый региональный продукт (ВРП), численность населения, возрастные и гендерные доли рассчитываются на основе данных, предоставленных Агентством по статистике при Президенте Республики Узбекистан. На основе этих данных, темпы роста для будущих периодов оцениваются с помощью метода линейной регрессии и применяются для каждого пятилетнего периода с 2015 по 2050 год. Соответствующий лист модели (*Socio-economic Input*) отражает будущие прогнозы.

В таблице 1 представлены характеристики исследуемой территории для отдельных лет.

Таблица 3: Характеристики исследуемой территории

Год	Городская территория, кв. км	Население	Плотность населения (чел. на кв. км)	ВРП на душу населения, долл. США
2015	334,8	2 371 300	7 083	6 740
2020	334,8	2 571 700	7 681	7 820
2030	411,6	2 953 400	7 175	12 104
2050	411,6	3 749 500	9 109	19 103

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Данные о транспортном обеспечении

Базовым годом модели является 2015 год. Данные о транспортном обеспечении 2015 года, включая протяженность сети, размер парка, характеристики и затраты по видам транспорта, были предоставлены в основном Министерством транспорта. Оставшиеся пробелы в данных были восполнены с помощью открытых источников (например, OpenStreetMap, Numbeo, местные СМИ) и прокси-данных из других стран региона, которые в итоге были подтверждены Министерством.

Данные о транспортном спросе

База данных транспортного спроса за 2015 год содержит сочетание доступных статистических данных и данных исследований касательно поведенческой модели пассажиров (т.е. выбор вида транспорта, расстояние поездок) и, в случае отсутствия необходимых данных, экспертную оценку. Эта база данных далее используется для калибровки модели: в процессе используются различные методы регрессии и оптимизации для определения коэффициентов субмоделей таким образом, чтобы смоделированные результаты соответствовали наблюдаемым трендам или экспертным оценкам. Чтобы обеспечить совместимость данных из разных источников, был проведен процесс тщательной очистки и дезагрегирования/компиляции данных.

Данные о выбросах транспортных средств

Данные о технологическом развитии ТС поступают из двух основных источников. Для каждого вида транспорта состав автопарка (по видам топлива), соответствующие коэффициенты выбросов CO₂ («от бака до колеса» (TTW) и «от скважины до бака» (WTT)), а также коэффициенты загрузки транспортных средств в период с 2015 по 2050 год получены из Модели Мобильности (MoMo) Международного энергетического агентства (МЭА) (IEA, 2020). В данную модель интегрированы два направления развития технологий ТС и изменения выбросов из модели MoMo. Это направление Сценария Новой Политики МЭА (NPS), отражающего базовый график развития, и направление Сценария Устойчивого Развития (SDS), представляющего более амбициозное в экологическом плане развитие парков ТС до 2050 года. Коэффициенты выбросов локальных загрязняющих веществ (например, SO₄, NO_x и PM_{2.5}) по видам транспорта и типам топлива взяты из модели «Дорожная карта развития транспорта» Международного совета по экологически чистому транспорту (ICCT, 2019).

Сценарий NPS МЭА, который теперь переименован в Сценарий Заданной Политики (Stated Policies Scenario - STEPS), является ключевым компонентом «World Energy Outlook». Этот сценарий отражает влияние существующих политических рабочих рамок и заявленных политических планов. Он включает в себя только те политические инициативы, которые уже были заявлены, фокусируясь на их воздействии, а не на предположениях о будущем развитии политики. Сценарий охватывает широкий спектр политических мер, в том числе связанных с субсидированием потребления ископаемого топлива, стандартами топливной эффективности, поддержкой электромобилей и внедрением чистой энергии.

SDS МЭА описывает масштабные преобразования в глобальной энергетической системе, показывая, как мир может изменить курс, чтобы одновременно достичь трех основных целей устойчивого развития, связанных с энергетикой. Данный сценарий предусматривает ограничение глобального роста температуры до 1,65 °C с вероятностью 50 % и оказание мощной поддержки электромобилям, альтернативным видам топлива и энергоэффективности. В сценарии SDS энергоэффективность всех технологий повышается гораздо значительнее, чем в сценарии NPS.

Сценарные/пользовательские вводные данные

Чтобы пользователи могли свободно разрабатывать и тестировать различные политические сценарии, инструмент содержит 30 мер, перечисленных в Таблице 4. Эти меры могут быть прямыми политическими мерами, такими как уровень цен за пользование дорогами, или же они могут относиться к желаемым результатам, таким как развитие и внедрение технологий ТС.

На листе «Scenario Setting» пользователи могут установить целевые уровни каждой меры на 2050 год, а также на любой из промежуточных годов (2025, 2030, 2035, 2040, 2045), предполагая, что уровень реализации политики известен пользователю. Эти целевые показатели переведены в промежуточные параметры на листе «Scenario Parameters» для каждого 5-летнего периода между 2015 и 2050 годами. От текущего года к промежуточному отчетному этапу и от такого этапа к окончательному целевому показателю 2050 года применяется стабильный линейный рост. Подробная информация о том, как каждая мера влияет на модель, представлена на листе «Scenario Parameters» и в соответствующем разделе данного отчета.

Таблица 4: Список мер в модели

Название меры	Описание меры
Расширение инфраструктуры	
Сеть метро	Общая протяженность сети (км)
Сеть САТ	Общая протяженность сети (км)
Сеть пригородных ЖД	Общее количество остановок
Сеть стандартных автобусов	Общая протяженность сети (км)
Велосипедная сеть	Общая протяженность сети (км)
Пешеходная сеть	Дополнительное увеличение длины сети (%)
Развитие общественного транспорта	
Улучшение функционирования массовых видов ОТ	Увеличение эксплуатационной скорости за счет оптимизации расположения остановок и операционных улучшений, включая ICT (%)
Улучшение функционирования	Увеличение эксплуатационной скорости за счет оптимизации

Название меры	Описание меры
стандартных автобусов	расположения остановок и операционных улучшений, включая ICT (%)
Приоритет общественного транспорта	Доля автобусной сети, имеющей приоритет перед другими видами транспорта (%)
Интеграция тарифов общественного транспорта	Среднее снижение стоимости поездки на общественном транспорте (%)
Запуск услуг «по требованию»	Общий размер парка транспорта «по требованию» (ТС)
Мобильность как услуга (Mobility as a Service - MaaS)	Доля населения с подпиской на MaaS (%)
Развитие транспорта совместного использования (шеринга)	
Стимулы для услуг такси	Общий размер парка такси (количество ТС)
Стимулы для каршеринга	Общий размер парка каршеринга (количество ТС)
Стимулы для системы совместных поездок	Общий размер парка системы совместных поездок (ТС)
Стимулы для шеринга велосипедов и скутеров	Общий размер парка шеринговых велосипедов и скутеров (количество ТС)
Реформа рынка такси	Доля легально работающих автомобилей в общем парке такси (%)
Стимулы для карпулинга	Изменение коэффициента загрузки личного автотранспорта (%)
Ограничительные меры	
Ограничения на парковку	Доля городской территории, на которой действуют (жесткие) ограничения на парковку
Ограничения доступа ТС	Доля автомобилей, которым будет запрещено передвигаться по городу
Ограничения скорости	Снижение ограничений скорости (%)
Ценовые меры	
Стоимость пользования дорогами (плата за въезд в загруженные зоны)	Средний тариф на въезд в город (долл. США)
Цены на парковку	Средний тариф за парковку (долл. США /ч)
Топливный налог	Увеличение стоимости использования транспортного средства (на км) в связи с ростом стоимости ископаемого топлива (%)
Налог на владение и покупку ТС	Увеличение стоимости владения и покупки ТС (%)
Развитие технологичности транспорта	
Развитие и внедрение технологий ТС - заранее определенные сценарии	Запуск двух возможных сценариев развития технологий и эффективности транспортных средств: 0 - NPS МЭА, 1 - SDS МЭА
Целевые технологические показатели для парка автомобилей	Доля различных технологий в парке личного транспорта (замена данных в сценарии МЭА)
Целевые технологические показатели для парка автобусов	Доля различных технологий в парке автобусов (замена данных в сценарии МЭА)
Другие меры	
Поощрение удаленной работы	Доля активного населения, регулярно пользующегося удаленной работой (%)
Транзитно-ориентированное развитие и улучшение городского планирования	Увеличение разнообразия функций землепользования и плотности застройки вокруг сети общественного транспорта (%)

ВВОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИ: ЭНДОГЕННЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

В этом разделе описываются эндогенные (внутренние) вводные данные, используемые для запуска основных субмоделей, и то, как оцениваются их будущие значения до 2050 года. Эндогенная переменная - это переменная в статистической модели, которая изменяется или определяется ее связью с другими переменными в рамках модели. Почти во всех случаях данные за базовый год взяты из Глобальной модели городского пассажирского транспорта МТФ, в которой собраны различные источники на уровне городов. В оставшейся части этого раздела описываются различные взаимосвязи между переменными и то, как эти взаимосвязи используются в модели.

Расстояние поездки

Этот модуль вычисляет среднее расстояние, приписываемое каждому диапазону расстояний поездок, и определяет долю поездок, совершаемых в каждом диапазоне расстояний (например, x% поездок в Ташкенте составляют ≤ 1 км).

Его можно найти на листе «Sub-models Calibration», а полученные расчеты - на листе «Trip Rates & Distances».

Среднее расстояние поездки

Предполагаемое среднее расстояние поездки:

1) Для первого диапазона расстояний, «0-1 км»: distance = 0,75 км.

2) Для всех остальных диапазонов расстояний:

- Если среднее расстояние предыдущего диапазона отсутствует: distance = NA.
- Если $\text{bound}_{\text{lower}}$ более чем в 3 раза превышает radius ($3 \times \sqrt{\frac{\text{urbanArea}}{\pi}}$), то distance = NA; иначе,
 - Для категории «> 20 км» применяются дополнительные ограничения, чтобы в этой категории расстояний не было среднего расстояния поездки более 50 км или менее 25 км:
$$\text{distance} = \min \left(50, \max \left(1,25 \times \text{bound}_{\text{lower}}, 1,25 \times \sqrt{\frac{\text{urbanArea}}{\pi}} \right) \right)$$
 - Для остальных категорий,
 - Если $\text{bound}_{\text{upper}} > 3 \times \text{radius}$, то distance = $1,25 \times \text{bound}_{\text{lower}}$
 - Иначе, distance = $0,4 \times \text{bound}_{\text{lower}} + 0,6 \times \text{bound}_{\text{upper}}$

Где distance - среднее расстояние поездок в диапазоне расстояний (км), $\text{bound}_{\text{lower}}$ и $\text{bound}_{\text{upper}}$ - нижняя и верхняя границы диапазона расстояний, radius - средний радиус города (км), urbanArea - размер городской территории (кв. км).

Доля поездок по диапазонам расстояний

Доля поездок по диапазонам расстояний объясняется размером городской территории, плотностью городского населения и коэффициентом смешанного землепользования. Она калибруется с помощью модели дискретного выбора в формате полиномиальной модели вероятности с логистическим распределением. Функция полезности для каждого диапазона расстояний U_{dist} формулируется следующим образом. Коэффициенты полиномиальной

логистической модели, используемые для расчета функции полезности каждого диапазона расстояний d : $Utility^d = \mu * (\sum_i Parameter^d_i * variable^d_i)$

Переменные слегка трансформированы, чтобы учесть пороговые эффекты и влияние мер «Пешеходная сеть», «Велосипедная сеть» и «Поощрение удаленной работы». Велосипедная и пешеходная инфраструктуры увеличивают долю поездок в двух категориях с наименьшим расстоянием, а удаленная работа увеличивает долю поездок в трех категориях с наименьшим расстоянием.

$$U_{dist} = \mu \times \left(ASC_{dist} + parameter_{dist}^{Areacoeff} \times Area + parameter_{dist}^{Densitycoeff} \times Density + parameter_{dist}^{LandUseMix} \times LandUseMix \right)$$

Где μ - стандартный коэффициент, ASC_{dist} - альтернативная специфическая константа для диапазона расстояний, $parameter_{dist}^{variable}$ - параметр модели, связанный с переменной $variable$ для диапазона расстояний $dist$.

Общая доля поездок в категории расстояний $dist$, $Dist_{share}$, рассчитывается по формуле полиномиального логистического распределения:

$$Dist_{share} = \frac{e^{U_{dist}}}{\sum_{i=1}^6 e^{U_i}}$$

Транспортное обеспечение

Этот модуль проецирует будущее транспортное обеспечение городской территории, рассматриваемой в модели. Показатели транспортного обеспечения обновляются с учетом будущих географических и социально-экономических характеристик городской территории, а также предположений о соответствующих мерах, определенных на листе «Scenario Setting».

Его можно найти на листе «Sub-models Calibration», а полученные расчеты - на листе «Urban Area Descriptors».

Обеспечение транспортной инфраструктурой

Обеспечение дорожной инфраструктурой

Данные по обеспеченности дорожной инфраструктурой за базовый год предоставлены Министерством транспорта и затем проверены с помощью базы данных OpenStreetMap. Это позволяет получить общую протяженность дорог городской территории с разбивкой по типам дорог. Существует пять типов дорог, от типа 1 (магистральные дороги) до типа 5 (проезды в жилых зонах).

Протяженность сети каждого типа дорог (1-5) в 2015 году - это задаваемое пользователем значение, которое можно найти на листе «Transport Indicators».

Формула для расчета общей протяженности дорожной сети с 2020 года и далее представлена ниже:

$$length_i = \max \left(length_{i-1}; 0.5 \times length_{i-1} \times \frac{urbanArea_i}{urbanArea_{i-1}} + 0.5 \times (length_{i-1} + Pop\ coefficient \times (Population_i - Population_{i-1}) + Area\ coefficient \times (urbanArea_i - urbanArea_{i-1}) + GRP\ coefficient \times (\ln(GRP\ per\ capita_i) - \ln(GRP\ per\ capita_{i-1}))) \right)$$

Где $length_i$ - общая протяженность дорог (км), $urbanArea_i$ - размер городской территории (кв. км), $Population_i$ - общая численность населения, $GRP\ per\ capita_i$ - ВВП на душу населения (долл. США), все для выбранного года; $Pop\ coefficient$, $Area\ coefficient$ и $GRP\ coefficient$ - калиброванные коэффициенты данной регрессионной модели, которые можно найти на листе «Sub-models Calibration».

Введено ограничение на рост дорожной сети, чтобы площадь всех дорог в городе не превышала 30% от общей площади городской территории.

После вычисления общей протяженности дорожной сети, она разделяется между типами дорог на основе постоянных долей, полученных в базовом 2015 году:

$$\text{Share}_{\text{type}_i} = \frac{\text{length}_{\text{type}_i}}{\sum_{i=1}^5 \text{length}_{\text{type}_i}}$$

Обеспечение пешеходной инфраструктурой

Общая протяженность пешеходной сети представляет собой сумму протяженности дорог типа 4 (третьестепенного значения) и типа 5 (в жилых зонах), представленных в разделе выше.

Влияние меры «Пешеходная сеть» учитывается путем увеличения длины сети в соответствии с исходными данными сценария.

Обеспечение велосипедной инфраструктурой

Протяженность велосипедной сети в 2015 и 2050 годах - это значения, задаваемые пользователем. Пользователи также могут выбрать промежуточный год и ввести соответствующее значение. Эти значения можно найти на листах «Transport Indicators» (2015 год) и «Scenario Setting» (промежуточный год и 2050 год).

Для остальных лет, значения определяются методом линейной регрессии от 2015 года к выбранному промежуточному году, а затем от этого промежуточного года к 2050 году.

Обеспечение инфраструктурой общественного транспорта

Общественный транспорт включает в себя метро, САТ, пригородные железные дороги, автобусы и миниавтобусы. Обеспеченность инфраструктурой метро, САТ, автобусов и миниавтобусов выражается в километрах, в то время как предложение для пригородного железнодорожного транспорта выражается в количестве остановок.

Данные об обеспеченности для всех лет с 2015 по 2050 год являются пользовательскими значениями, которые можно найти на листах «Transport Indicators» (2015) и «Scenario Setting» (2020-2050).

Парки транспортных средств

Владение личным автотранспортом

Владение личными транспортными средствами представляет собой количество личных транспортных средств (а именно автомобилей и мотоциклов) на 1000 жителей. Данные по парку личного автотранспорта в 2015 году - это задаваемое пользователем значение, которое можно найти на листе «Transport Indicators». Этот субмодуль можно найти на листе «Sub-models Calibration», а полученные расчеты - на листе «Urban Area Descriptors».

Рост числа владельцев транспортных средств в значительной степени зависит от ВРП. Кроме того, ряд политических мер, направленных на использование личного транспорта, ограничивает рост числа владельцев: «Ограничения доступа транспортных средств» (VAR), «Ограничения скорости» (SL), «Ограничения на парковку» (PR), «Цены за пользование дорогами» (RP), «Цены на парковку» (PP), «Топливный налог» (FT), «Налог на владение и покупку транспортных средств» (VT) и «Транзитно-ориентированное развитие» (TOD).

Для обоих видов транспорта расчет производится по стандартной формуле:

- Если год > 2015г.:

$$\text{ownership}_m = \text{Threshold}_m \times \left(\frac{1}{1 + \exp(-\text{Parameter2}_m \times \text{GRP})} \right)^{\text{Parameter1}_m} \\ \times \min(\text{Maximum impact}, (1 - \text{VAR coeff} \times \text{VAR}) \times (1 - \text{SL coeff} \times \text{SL}) \times (1 - \text{PR coeff} \times \text{PR}) \times (1 - \text{FT coeff} \times \text{FT} \times (1 - \text{ShareSustainableFleet})) \times (1 - \text{PP coeff} \times \text{PP}) \times (1 - \text{TOD coeff} \times (\text{TOD} - 1)) \times (1 - \text{RP coeff} \times \text{RP}) \times (1 - \text{VT coef} \times \text{VT}))$$

Где Threshold_m - значение насыщенности парка для выбранного вида транспорта, Parameter1_m и Parameter2_m - калиброванные коэффициенты, $\text{measure}_{\text{coeff}}$ - расчетный коэффициент для каждой из применяемых сценарных мер (VAR, SL, PR, RP, PP, FR, VT и TOD), $\text{ShareSustainableFleet}$ - доля экологических ТС в общем парке, Maximum impact - предел совокупного воздействия всех действующих мер на владение ТС.

На владение автомобилями также влияет развитие услуг каршеринга. Поэтому, к стандартной формуле, приведенной выше, применяется дополнительный параметр снижения:

$$\text{Car sharing impact} = \left(1 - \min \left(0.25, 0.05 \times \frac{\text{car sharing}}{0.01} \right) \right)$$

Где car sharing - размер каршерингового парка.

Таблица 5: Калиброванные коэффициенты для модели владения ТС

Coefficient	Value
Threshold car	800
Threshold motorcycle	120
Parameter1 car	3.40
Parameter1 motorcycle	3.50
Parameter2 car	0.00010
Parameter2 motorcycle	0.00003
VAR coeff	0.20
SL coeff	0.20
PR coeff	0.10
FT coeff	10.00
PP coeff	0.20
TOD coeff	0.10
RP coeff	0.007
VT coeff	0.60
Maximum impact	0.40

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Обеспечение услугами транспорта совместного использования (шеринга)

Услуги транспорта совместного использования включают в себя такси, систему совместных поездок, шеринг велосипедов и скутеров, каршеринг и транспорт «по требованию», которые выражаются в количестве транспортных средств на 1000 жителей. Данные по размеру парка шеринга для 2015 и 2050 годов - это значения, задаваемые пользователем. Пользователи также могут выбрать (промежуточный) год и ввести соответствующее значение. Эти значения можно найти на листах «Transport Indicators» (2015 год) и «Scenario Setting» (промежуточный год и 2050 год).

Для остальных лет, значения определяются методом линейной регрессии от 2015 года к выбранному (промежуточному) году, а затем от этого (промежуточного) года к 2050 году, с учетом того, была ли услуга уже введена или появится только в будущем.

Характеристики видов транспорта

Этот раздел можно найти на листе «Sub-model Calibration», а полученные расчеты - на листах «Modal Attributes» и «Urban Area Descriptors».

После расчета среднего расстояния поездки в зависимости от диапазона расстояний и транспортного обеспечения, можно определить характеристики для каждого вида транспорта. Эти элементы являются ключевыми вводными данными для модели выбора вида транспорта. Модуль характеристик видов транспорта оценивает характеристики каждого вида транспорта во время поездки, в том числе время доступа, время ожидания, инфраструктурную связанность, скорость, время в пути, стоимость поездки и стоимость парковки. Эти характеристики рассчитываются для каждой категории расстояния поездок.

Перед этим устанавливается матрица применимости, чтобы определить, будет ли альтернативный вид транспорта включен в выбор вида транспорта или нет.

Доступность и применимость видов транспорта

Субмодуль доступности и применимости видов транспорта ограничивает количество альтернативных видов транспорта, рассматриваемых при выборе. Доступность и применимость определяются соответственно:

- **Транспортной обеспеченностью на городской территории.** В то время как некоторые виды транспорта доступны по умолчанию, например, пешее перемещение, велосипед и личный автомобиль, некоторые другие могут появиться только в будущем. Для того чтобы учесть это, альтернатива вида транспорта учитывается при выборе только в том случае, если существует (в т.ч. будущее) транспортное обеспечение для этого вида транспорта (парк транспортных средств или инфраструктура). Доступность будущих видов транспорта варьируется в зависимости от исходных данных сценария. В Таблицах 6 и 7 показана соответствующая доступность четырех потенциальных видов транспорта, которые не фигурируют в базовом сценарии. Значение «1» означает, что данный вид транспорта доступен в выбранном году.

Таблица 6: Доступность видов транспорта в соответствии со сценарием «Текущая политика»

	PT-BRT	Bike and scooter sharing	Car-Sharing	PT-On-demand Transport
2015	-	-	-	-
2020	-	-	-	-
2025	1	1	-	-
2030	1	1	-	-
2035	1	1	-	-
2040	1	1	-	-
2045	1	1	-	-
2050	1	1	-	-

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Таблица 7: Доступность транспорта в соответствии со сценарием «Климатические амбиции»

	PT-BRT	Bike and scooter sharing	Car-Sharing	PT-On-demand Transport
2015	-	-	-	-
2020	-	-	-	-
2025	1	1	1	1
2030	1	1	1	1
2035	1	1	1	1
2040	1	1	1	1
2045	1	1	1	1
2050	1	1	1	1

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

- **Диапазон расстояний.** Некоторые виды транспорта обычно используются только на ограниченных расстояниях. Например, пешие прогулки и велосипед часто рассматриваются для перемещения на короткие расстояния, поэтому они исключены из выбора вида транспорта для самых высоких категорий расстояний поездок в модели. Применимость каждого вида транспорта для каждого диапазона расстояний может быть определена вручную на листе «Sub-models Calibration». Эта применимость представлена в виде матрицы, где «1» означает, что данный вид транспорта применим для соответствующего диапазона расстояний, а «0» - если он неприменим. Выдержка из матрицы применимости для Ташкента представлена в Таблице 8.

Комбинирование элементов доступности и применимости позволяет определить окончательный набор альтернативных видов транспорта для модели выбора.

Таблица 8: Матрица применимости видов транспорта для Ташкента

Mode	Mode ID	Distance bin					
		bin 0	bin 1	bin 2	bin 3	bin 4	bin 5
		< 1km	1 - 2.5 km	2.5 km - 5 km	5 km - 10 km	10 - 20 km	20 km
Walk	M_1	1	1	1	-	-	-
Bicycle	M_2	1	1	1	1	-	-
Motorcycle	M_3	1	1	1	1	1	1
Car	M_4	1	1	1	1	1	1
Taxi	M_5	1	1	1	1	1	1
PT-Rail	M_6	-	-	1	1	1	1
PT-Metro	M_7	-	1	1	1	1	1
PT-Bus	M_8	1	1	1	1	1	1
PT-BRT	M_9	-	1	1	1	1	1
PT-Minibus	M_10	1	1	1	1	1	1
Bike and scooter sharing	M_11	1	1	1	1	-	-
Ride-sharing	M_12	1	1	1	1	1	1
Car-sharing	M_13	-	1	1	1	1	1
On-demand Transport	M_14	1	1	1	1	1	1

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Скорость

Атрибут скорости относится к средней скорости движения в километрах в час. Начальные значения даны для базового года (2015), затем они автоматически обновляются для последующих лет. Также вводятся дополнительные ограничения, чтобы избежать нереалистичных значений. Значения 2015 года можно найти на листе «Transport Indicators».

Несколько мер, определяемых пользователем, могут влиять на скорость для определенных видов транспорта: «Расширение инфраструктуры для велосипедной сети» (BN), «Расширение инфраструктуры для пешеходной сети» (PN), «Улучшение функционирования массовых видов ОТ» (MTS), «Улучшение функционирования стандартных автобусов» (PTS) и «Приоритет общественного транспорта» (PTP).

Формулы скорости с 2020 года и далее представлены ниже:

Пешком:

$$= \min \left(\text{MaximalValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1+\text{PNcoeff} \times \text{PN}} \left(\frac{\text{road 4 length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right)$$

Велосипеды, шеринг велосипедов и скутеров:

$$= \min(\text{MaximalValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1+\text{BN coeff} \times \text{BN}})$$

Автомобиль, мотоцикл, каршеринг, совместные поездки:

$$= \min(\text{MaximalValue}, \max(\text{MinimumValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1 - (\text{PN coeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) + \text{BN coeff} \times \text{BN} + \text{PTP coeff} \times \text{PTP})}}))$$

Такси:

$$= \min(\text{MaximalValue}, \max(\text{MinimumValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1 - \text{PTP coeff} \times \text{PTP}}))$$

ЖД, метро, САТ:

$$= \min(\text{MaximalValue}, \max(\text{MinimumValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1 + \text{MTS coeff} \times \text{MTS}}))$$

Автобус, миниавтобус:

$$= \min(\text{MaximalValue}, \max(\text{MinimumValue}, \text{speed}_{\text{old}}^{1 + \text{PTScoeff} \times \text{PTS} + \text{PTPcoeff} \times \text{PTP}}))$$

Где MaximalValue и MinimumValue - соответственно верхний предел и нижний предел значения скорости, road 4 length and road 5 length - длина сети для дорог типов 4 и 5, road density - общая плотность дорожной сети (км на кв. км), $\text{measure}_{\text{coeff}}$ - расчетный коэффициент для каждой из применимых сценарных мер (PN, BN, MTS, PTS и PTP).

Время доступа

Время доступа, как видно из названия, измеряет среднее время в минутах, необходимое для доступа к определенному виду транспорта. Для личного транспорта это среднее время, необходимое для того, чтобы добраться до места, где припарковано ТС. Для общественного транспорта это среднее время, необходимое для того, чтобы добраться до ближайшей остановки/станции. Начальные значения даны для базового года (2015), затем они автоматически обновляются для последующих лет. Значения 2015 года можно найти на листе «Transport Indicators».

На время доступа к общественному транспорту могут влиять несколько определяемых пользователем мер, таких как расширение инфраструктуры (MN, BRTN, SRN, CBN), расширение парка (CSI, BSI, ODS), «Ограничения доступа транспортных средств» (VAR), «Транзитно-ориентированное развитие» (TOD) и «Мобильность как услуга» (MAAS). Также вводятся дополнительные ограничения, чтобы избежать нереалистичных значений.

Ниже приведены формулы времени доступа для каждого вида транспорта, с 2020 года и далее:

Велосипед:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{AccessTime}_{\text{old}} \left(1 - \left(\text{PNcoeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 l length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right) \right))$$

Мотоцикл, автомобиль:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{AccessTime}_{\text{old}} \left(1 - \left(\text{PNcoeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 l length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right) \right) \left(1 - \text{VARcoeff} \times \text{VAR} \right) \left(1 - \text{PRcoeff} \times \text{PR} \right)$$

ЖД, метро, САТ:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{AccessTime}_{\text{old}} \left(1 - \left(\text{PNcoeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 l length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right) \right) \left(1 - (\text{SRN}(\text{MN}, \text{BRTN})\text{coeff} \times \text{SRN}(\text{MN}, \text{BRTN})) \right) \left(1 - (\text{MAAScoeff} \times \text{MAAS}) \right) \left(1 - (\text{TODcoeff} \times \text{TOD}) \right)$$

Автобус, миниавтобус:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{AccessTime}_{\text{old}} \left(1 - \left(\text{PNcoeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 l length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right) \right) \left(1 - (\text{PTScoeff} \times \text{PTS}) \right) \left(1 - (\text{CBNcoeff} \times \text{CBN}) \right) \left(1 - (\text{MAAScoeff} \times \text{MAAS}) \right) \left(1 - (\text{TODcoeff} \times \text{TOD}) \right)$$

Транспорт «по требованию», шеринг:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{AccessTime}_{\text{old}} (\text{FLEETcoeff} * \text{Sqrt}(\text{PI}/\text{fleet expansion})) \left(1 - \left(\text{PNcoeff} \times \text{PN} \times \left(\frac{\text{road 4 l length} + \text{road 5 length}}{\text{road density} \times \text{urbanArea}} \right) \right) \right)$$

Где MinimumValue - нижний предел времени доступа, road 4 length and road 5 length - длина сети для дорог типов 4 и 5, road density - общая плотность дорожной сети (км на кв. км), fleet expansion - один из параметров мер политики (CSI, BSI и ODS) и measure_{coeff} - расчетный коэффициент для каждой из применимых сценарных мер (MN, BRTN, SRN, CBN, CSI, BSI, OD, VAR, TOD и MAAS).

Время ожидания

Время ожидания - это среднее время в минутах, потраченное на ожидание доступа или посадки в транспортное средство на остановке общественного транспорта или шеринговой станции. Для активных видов транспорта и личных ТС оно равно нулю. Начальные значения даны для базового года (2015), затем они автоматически обновляются для последующих лет.

На время ожидания могут влиять несколько мер, определяемых пользователем: «Улучшение функционирования массовых видов ОТ» (MTS), «Улучшение функционирования стандартных автобусов» (PTS), «Запуск услуг по требованию» (ODS), «Стимулы для такси» (TI) и «Стимулы для совместных поездок» (RSI).

Ниже приведены формулы времени ожидания для каждого вида транспорта, с 2020 года и далее:

ЖД, метро, САТ, автобус, миниавтобус:

$$= \max(\text{MinimumValue}, \text{WaitingTime}_{\text{old}}^{1+\text{PTS}(\text{MTS})\text{coeff} \times \text{PTS}(\text{MTS})})$$

Транспорт по требованию:

$$= \text{if}(\text{ODS} = 0, \max(\text{MinimumValue}, \text{InitialValue} * \text{Sqrt}(\frac{\text{PI}}{\text{ODS}})), \max(\text{MinimumValue}, \text{WaitingTime}_{\text{old}}^{1-\text{FLEETcoeff} \times ((\text{ODS}_{\text{new}} - \text{ODS}_{\text{old}}) / \text{ODS}_{\text{old}})})$$

Такси и совместные поездки:

$$= \max(\text{Minimum value}, \text{WaitingTime}_{\text{old}}^{1-\text{FLEETcoeff} \times \frac{\text{TI}(\text{RSI})_{\text{new}} - \text{TI}(\text{RSI})_{\text{old}}}{\text{TI}(\text{RSI})_{\text{old}}})$$

Где MinimumValue - нижний предел времени ожидания, InitialValue - начальное значение времени ожидания и $\text{measure}_{\text{coeff}}$ - расчетный коэффициент для каждой из применимых сценарных мер (MTS, PTS, ODS, TI и RSI).

Связанность инфраструктуры

Показатель связанности инфраструктуры представляет собой преимущество расширенной и связанной инфраструктуры для совершения более эффективных поездок. Он учитывается для всех видов транспорта и объясняется следующими атрибутами:

- Автомобиль и мотоцикл: доля владения транспортным средством;
- Железнодорожный транспорт: плотность остановок;
- Пешеходы, велосипед, метро, автобус и САТ: плотность сети;
- Миниавтобус: плотность дорог;
- Шеринговые виды транспорта и транспорт «по требованию»: размер парка ТС на 1000 жителей.

Расстояние и время в пути

Время в пути традиционно и интуитивно является одним из самых важных факторов при выборе вида транспорта. Чтобы рассчитать время в пути, необходимо определить реальное расстояние поездки и среднюю скорость каждого вида транспорта.

Во-первых, важно различать расстояние перемещения и реальное расстояние поездки. Расстояние перемещения считается «по прямой», в то время как реальное расстояние поездки увеличивается за счет дополнительных объездов в зависимости от плотности, формы и направленности сети. Дополнительные элементы, такие как поиск парковки на личном транспорте или подбор пассажиров на транспорте «по требованию», также влияют на реальное расстояние поездки. Степень непрямолинейности сильно зависит от выбранного вида транспорта и диапазона расстояний, и как правило она значительно ниже на больших расстояниях.

Для того чтобы преобразовать расстояние перемещения в реальное расстояние поездки, применяется коэффициент объезда в зависимости от вида транспорта:

$$\text{travel distance} = \text{coefficient}_{\text{detour}} \times \text{trip distance}$$

Этот коэффициент всегда больше 1. Исходная матрица, содержащая все коэффициенты объезда для каждого вида транспорта и диапазона расстояний, представлена в Таблице 9. Матрица коэффициентов объезда основана на экспертной оценке и может быть отредактирована на листе «Sub-models Calibration».

Таблица 9: Исходная матрица коэффициентов объезда

Code_mode	Mode	Distance bin					
		bin 0: < 1 km	bin 1: 1 - 2.5 km	bin 2: 2.5 - 5 km	bin 3: 5 - 10 km	bin 4: 10 - 20 km	bin 5: > 20 km
0	Walk	1.20	1.10	1.05	1.02	1.02	1.02
1	Bicycle	1.22	1.15	1.10	1.05	1.02	1.02
2	Motorcycle	1.60	1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
3	Car	1.75	1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
4	Taxi	1.75	1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
5	PT-Rail	1.20	1.15	1.10	1.08	1.05	1.03
6	PT-Metro	1.20	1.15	1.10	1.08	1.05	1.03
7	PT-Bus	1.40	1.33	1.25	1.20	1.15	1.08
8	PT-BRT	1.30	1.20	1.10	1.08	1.05	1.03
9	PT-Minibus	1.40	1.33	1.25	1.20	1.15	1.08
10	Bike and scooter shar	1.40	1.32	1.27	1.10	1.02	1.02
11	Ride-sharing	1.75	1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
12	Car-sharing	1.84	1.58	1.31	1.23	1.10	1.05
13	On-demand Transport	2.05	1.76	1.46	1.41	1.29	1.23

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Время в пути для каждого диапазона расстояний и вида транспорта определяется путем деления расстояния на соответствующую скорость.

Стоимость поездки

Общие сведения о стоимости поездки

Последний атрибут вида транспорта, который, вероятно, так же важен для выбора способа передвижения, как и время в пути, - это стоимость поездки (в долл. США). Стоимость поездки состоит из нескольких компонентов, которые зависят от расстояния (например, стоимость топлива, тарифы на такси), от природы поездки (например, стоимость проезда в общественном транспорте, стоимость парковки) и от долгосрочных затрат (владение и обслуживание автомобиля). Эти компоненты стоимости существенно различаются в зависимости от вида транспорта.

Модель включает в себя три отдельные категории затрат: транспортные тарифы, которые можно найти на листе «Urban Area Descriptors», а также среднюю стоимость поездки и стоимость парковки, которые находятся на листе «Modal Attributes».

Транспортные тарифы

Начальные данные для 2015 года - это задаваемое пользователем значение, которое можно найти на листе «Transport Indicators». Начиная с 2020 года, оценка транспортных тарифов производится по формуле:

$$TF = TF_{\text{old}} \times \frac{\text{GRP per capita new}^{\text{Elasticity coeff}}}{\text{GRP per capita old}} \times PTF$$

Где Elasticity coeff означает восприимчивость, или эластичность, различных видов тарифов от ВРП на душу населения; PTF - показатель «Интеграция тарифов общественного транспорта», который применяется только к общественному транспорту.

Коэффициенты эластичности можно найти и обновить на листе «Sub-models Calibration».

Таблица 10: Эластичность транспортных тарифов по видам транспорта

Elasticity to GDP per capita	Value
Elasticity of taxi fixed	0.70
Elasticity of taxi var km	0.80
Elasticity of taxi var hour	0.70
Elasticity of PT fare	0.60
Elasticity of minibus fare	0.70
Elasticity of PT subscription	0.60
Elasticity of Ride Sharing fixed	0.60
Elasticity of Ride Sharing var km	1.00
Elasticity of Ride Sharing var hour	0.60

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Средняя стоимость поездки

Средняя стоимость поездки показывает комплексную оценку затрат, которая включает в себя различные экономические, эксплуатационные и поведенческие факторы, влияющие на стоимость поездки с использованием различных видов транспорта.

На среднюю стоимость поездки могут влиять несколько определяемых пользователем показателей, таких как «Цены за пользование дорогами» (RP), «Топливный налог» (FT) и «Налог на владение и покупку транспортных средств» (VT). Предполагается, что с электромобилей будет взиматься более низкая стоимость парковки - в качестве стимула для их использования.

Оценка средней стоимости поездки производится по формуле:

Мотоцикл, автомобиль:

$$= \frac{\left(\begin{aligned} & \text{GRPcoeff} \times \text{GRPperCapita}^{\text{GRPpower}} \times \\ & \left\{ 1 + \text{VT} \times \left[\text{ELECcoeff} \times \text{Share of Electric VKM} + \right] \right\} + \\ & \left\{ \text{Average cost per VKM} \times [1 + (1 - \text{Share of Electric VKM}) \times \text{FT}] \right\} \times \text{Distance} \\ & + \text{RPcoeff} \times \text{RP} \end{aligned} \right)}{\text{Load Factor}}$$

Шеринг велосипедов и скутеров:

$$= (\text{Taxi fixed start cost} \times \text{Ratio coeff} + \text{Taxi variable per km cost} \times \text{Ratio coeff} \times \text{Distance}) \times (1 - \text{Fleet coeff} \times \text{BSI})$$

Каршеринг:

$$= \frac{\left(\begin{aligned} & \text{Taxi fixed start cost} \times \text{Ratio coeff} + \\ & \text{Taxi variable per km cost} \times \text{Ratio coeff} \times \text{Distance} \end{aligned} \right)}{\times (1 - \text{Fleet coeff} \times \text{CSI}) \text{Load Factor}}$$

Такси и совместные поездки:

$$= \frac{\text{Taxi fixed start cost} + \text{Distance} \times \text{Taxi variable per km cost} + \text{Share Stop} \times \text{Taxi variable per hour cost}}{\text{Load Factor}}$$

Где GRPcoeff и GRPpower - калиброванные коэффициенты модели, ELECcoeff - ставка дисконтирования, применяемая к налогам на электромобили, Share of Electric VKM означает долю автомобиле-километров, пройденных электромобилями, Average cost per VKM - стоимость проезда одного километра на автомобиле (в основном основанная на стоимости топлива), Load Factor - среднее количество людей в автомобиле, Taxi fixed start/variable per km/variable per hour cost - различные компоненты составного тарифа такси, Ratio coeff - коэффициент пересчета между различными услугами шеринга.

Стоимость парковки

Этот атрибут отражает затраты, связанные с парковкой транспортного средства на платной парковке. В основном это касается личных транспортных средств (автомобилей и мотоциклов) и зависит от типа двигателя транспортного средства. Предполагается, что с электромобилей будет взиматься более низкая стоимость парковки - в качестве стимула для их использования. Динамика стоимости парковки определяется мерой «Цена на парковку» (PP), которую задает пользователь. Затем она оценивается по следующей формуле:

$$\text{parking cost} = \text{parking cost}_{\text{old}} \times (1 - \text{ELECcoeff} \times \text{ShareofElectricVKM})$$

Где ELECcoeff - ставка дисконтирования, применяемая к стоимости парковки для электромобилей.

Корректировка технологичности транспорта

Доля «зеленых» технологий (водородных, водородно-гибридных и электрических) в каждом виде транспорта может быть разной. Например, в парках такси и каршеринга часто встречаются современные транспортные средства, которые в среднем имеют лучшие показатели, чем личные автомобили. Иначе обстоит дело с паратранзитными службами (маршрутными такси), к которым обычно предъявляются менее строгие требования к эксплуатационным характеристикам по сравнению с городскими автобусами.

Однако пользователю предлагается ввести данные только для целевых показателей технологического парка для автомобилей (СТЕЧ) и автобусов (ВТЕЧ), как показано на Рисунке 4 (более подробная информация приведена в главе «Сценарные меры»).

Рисунок 4: Меры СТЕЧ и ВТЕЧ

Measure code	Measure name	Description of value to be provided	Implementation year	Anticipated values in implementation year	Anticipated values in 2050	
СТЕЧ	Technology stock targets for car fleet	Shares of different vehicle technologies in private car fleet (%). Please note that if you specify the shares, they will substitute the default shares of the IEA scenario. Please make sure the sum of the shares is 100%, otherwise the default IEA shares will be used.	2025	Gasoline	60%	35%
				Gasoline-hybrid	0%	0%
				Diesel	0%	0%
				Diesel-hybrid	0%	0%
				LPG/CNG	30%	15%
				Hydrogen	0%	0%
				Hydrogen-hybrid	0%	0%
				Electric	10%	50%
				Total	100%	100%
				ВТЕЧ	Technology stock targets for bus fleet	Shares of different vehicle technologies in bus fleet (%). Please note that if you specify the shares, they will substitute the default shares of the IEA scenario. Please make sure the sum of the shares is 100%, otherwise the default IEA shares will be used.
Gasoline-hybrid	0%	0%				
Diesel	60%	0%				
Diesel-hybrid	0%	0%				
LPG/CNG	15%	0%				
Hydrogen	0%	0%				
Hydrogen-hybrid	0%	0%				
Electric	25%	100%				
Total	100%	100%				

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

К исходным долям применяются дополнительные поправочные коэффициенты, чтобы отразить состав технологий для других видов транспорта, которые, как ожидается, будут иметь более высокие или более низкие целевые показатели эффективности. Значения представлены в Таблице 11 и приведены на листе «Sub-models Calibration». Это результат первоначальной калибровки, основанной на экспертной оценке; коэффициенты могут быть дополнительно адаптированы к местным условиям.

Таблица 11: Коэффициенты корректировки технологичности транспорта

Mode	Value
Taxi	10%
PT-Minibus	-20%
Car-sharing	10%
Ride-sharing	-20%
PT-BRT	20%

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЕЗДОК И ВЫБОРА ВИДА ТРАНСПОРТА

В этой главе описаны основные этапы формирования поездок и распределения общей потребности в поездках между доступными видами транспорта.

Модель формирования поездок

Этот submodule можно найти на листе «Sub-models Calibration», а полученные расчеты - на листе «Trip Rate & Distances».

Submodule формирования поездок оценивает интенсивность поездок (среднесуточное количество поездок на одного жителя) для городской территории и для каждой группы населения. Группы населения определяются двумя гендерными категориями и пятью возрастными категориями, как показано в Таблице 12. Динамика интенсивности поездок зависит, прежде всего, от ВРП на душу населения. Интенсивность поездок оценивается по следующей формуле:

$$\text{Trip rate} = \log(\text{GRP}_{\text{coeff}} * \text{GRP per capita}) * \exp(\text{Constant} + \text{Gender} + \text{Age}_{\text{group}})$$

Где $\text{GRP}_{\text{coeff}}$ and Constant - фиксированные параметры функции формирования поездок, откалиброванные для городской территории, Gender и $\text{Age}_{\text{group}}$ - параметры с фиксированными значениями, зависящими от соответствующих половозрастных групп населения, а GRP per capita - фактическое значение ВРП за выбранный год. Все калиброванные параметры взяты из Глобальной модели городского пассажирского транспорта МТФ и могут быть дополнительно настроены на листе «Sub-models Calibration».

Таблица 12: Коэффициенты модели интенсивности поездок

Variable	Category	Value
Constant	All	0.200
GRPcap	All	0.005
Gender	M	-0.050
Gender	F	0.106
Age_group	0-19	0.136
Age_group	20-34	0.240
Age_group	35-54	0.310
Age_group	55-69	0.184
Age_group	70+	0.000

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

Модель выбора вида транспорта

Этот submodule можно найти на листе «Sub-models Calibration», а полученные расчеты - на листе «Mode Share Utilities».

Модель выбора вида транспорта представляет собой логистическую модель с 14 альтернативными видами транспорта, представленными в предыдущей главе. Хотя в настройках по умолчанию существует 14 видов транспорта, доступность каждого из них активируется в зависимости от существования этого вида транспорта во времени и его применимости для определенных расстояний поездок.

В этой модели используется стандартный подход дискретного выбора, объясняющий совокупные доли видов транспорта с помощью атрибутов каждого вида транспорта (например, время в пути, стоимость поездки, время доступа, связанность инфраструктуры и т. д.).

Следующее уравнение описывает вероятность, P, выбора видов транспорта m, среди K видов:

$$P_m = \frac{e^{U_m}}{\sum_{k=1}^K e^{U_k}}$$

Полезность, U_m , для каждого вида транспорта m рассчитывается с помощью общей функции полезности, приведенной ниже. Функция полезности различна для разных видов транспорта. Например, стоимость парковки применяется только к моторизованному личному транспорту.

$$U_m = \text{Gender}_{\text{coeff}} * \log (\text{ASC}_m + \beta_{\text{travel time}} * \text{travel time}_m + \beta_{\text{cost}} * \text{travel cost}_m + \beta_{\text{access time}} * \text{access time}_m + \beta_{\text{waiting time}} * \text{waiting time}_m + \beta_{\text{parking cost}} * \text{parking cost}_m + \beta_{\text{infrastructure}} * \text{infrastructure}_m + \beta_{\text{measure}} * \text{measure}_m) * \text{availability}_{m,\text{year}}$$

ASC - это специфическая константа для каждого вида транспорта, учитывающая любые другие критерии принятия решений, которые не отражены во включенных атрибутах вида транспорта; β - это расчетный коэффициент для каждого из атрибутов вида транспорта, включая время поездки, стоимость поездки, время доступа и ожидания, стоимость парковки и инфраструктуру, а также для применимых сценарных мер; $\text{Gender}_{\text{coeff}}$ - это гендерный коэффициент.

Для учета гендерных предпочтений, в функцию полезности выбора вида транспорта включается дополнительная вспомогательная переменная. Согласно мировой практике, женщины реже пользуются личными транспортными средствами (велосипедами, мотоциклами и автомобилями), предпочитая общественный транспорт и услуги шеринга. Первоначальная модель выбора вида транспорта калибруется для женщин, а затем корректируется для мужчин с помощью гендерного коэффициента.

Несколько мер, определяемых пользователем, могут повысить полезность шерингового транспорта и общественного транспорта, например, «Улучшение функционирования массовых видов ОТ» (MTS), «Улучшение функционирования стандартных автобусов» (PTS), «Интеграция тарифов общественного транспорта» (PTF), «Мобильность как услуга» (MAAS), «Запуск услуг по требованию» (ODS) и «Транзитно-ориентированное развитие» (TOD).

Параметры и специфические константы для каждого вида транспорта, полученные с помощью модели дискретного выбора, представлены в Таблице 13.

Таблица 13: Калиброванные коэффициенты модели выбора вида транспорта

Mode	Mode ID	Gender	ASC	Access time	Waiting time	Cost	Parking cost	Infrastructure	Travel time
Walk	M_1	1.00	0.0					0.040	-2.30
Bicycle	M_2	1.30	-2.5					1.000	-2.30
Motorcycle	M_3	1.60	-2.8			-0.20	-0.20	0.030	-2.30
Car	M_4	1.40	0.0			-0.20	-0.20	0.003	-2.30
Taxi	M_5	0.90	-1.3	-0.045	-0.05	-0.20		0.600	-2.30
PT-Rail	M_6	0.60	-0.3	-0.045	-0.05	-0.20		21.000	-2.30
PT-Metro	M_7	0.60	0.0	-0.045	-0.05	-0.20		1.800	-2.30
PT-Bus	M_8	0.50	-0.5	-0.045	-0.05	-0.20		0.080	-2.30
PT-BRT	M_9	0.60	0.0	-0.045	-0.05	-0.20		1.500	-2.30
PT-Minibus	M_10	0.50	-0.7	-0.045	-0.05	-0.20		0.040	-2.30
Bike and scooter sharing	M_11	1.30	-1.6	-0.045	-0.05	-0.20		0.600	-2.30
Ride-sharing	M_12	0.90	-1.3	-0.045	-0.05	-0.20		0.300	-2.30
Car-sharing	M_13	1.30	-0.5	-0.045	-0.05	-0.20		1.250	-2.30
PT-On-demand Transport	M_14	0.50	-1.0	-0.045	-0.05	-0.20		7.000	-2.30

Mode	Mode ID	MTS Coeff	PTS Coeff	PTF Coeff	MAAS Coeff	ODS Coeff	TOD Coeff
Walk	M_1						
Bicycle	M_2						
Motorcycle	M_3						
Car	M_4						
Taxi	M_5					0.4	
PT-Rail	M_6	0.2			0.3	0.4	0.0003
PT-Metro	M_7	0.2			0.3	0.4	0.0003
PT-Bus	M_8		0.2		0.3	0.4	1.00
PT-BRT	M_9	0.2			0.3	0.4	0.0003
PT-Minibus	M_10		0.2		0.3	0.4	1.00
Bike and scooter sharing	M_11					0.4	
Ride-sharing	M_12					0.4	
Car-sharing	M_13					0.4	
PT-On-demand Transport	M_14				0.3	0.4	1.00

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В этой главе описываются заключительные этапы преобразования потребности в поездках в активность транспортных средств и, в конечном итоге, в соответствующие выбросы. Основные выходные результаты модели включают в себя доли видов транспорта, пассажиро-километры, автомобиле-километры, выбросы CO₂ и выбросы локальных загрязняющих веществ. Каждый результат представлен в разбивке по видам транспорта, полу и расстояниям.

Пассажиро-километры

Общее количество поездок сначала рассчитывается путем умножения общей численности населения на среднюю интенсивность поездок (количество поездок в день на одного жителя). Затем эта потребность распределяется между различными видами транспорта путем применения расчетных долей видов транспорта, полученных с помощью модели выбора вида транспорта (как представлено в предыдущей главе). Умножение на среднее расстояние поездки по видам транспорта дает общее количество пассажиро-километров.

$$PKM_{year,gender,dist,mode} = \left(\sum population_{year,gender} \times trip\ rate_{year,gender} \right) \times share\ of\ trips_{dist} \times mode\ share_{dist} \times 365 \div 1000 \times trip\ distance_{dist}$$

Где $population_{year,gender}$ - общая численность населения по полу за выбранный год, $trip\ rate_{year,gender}$ - среднее суточное количество поездок на одного жителя, $share\ of\ trips_{dist}$ - доля от всех поездок в определенном диапазоне расстояний, $mode\ share_{dist}$ - доля видов транспорта в каждом диапазоне расстояний, $trip\ distance_{dist}$ - среднее расстояние поездки для каждого диапазона расстояний.

Автомобиле-километры

Автомобиле-километры напрямую вытекают из применения среднего коэффициента загрузки каждого вида транспорта (количество человек на транспортное средство) к пассажиро-километрам. Коэффициенты загрузки для базового сценария соответствуют предположениям сценария NPS МЭА (IEA, 2020). Коэффициенты загрузки альтернативных сценариев могут либо соответствовать допущениям сценария SPS МЭА (IEA, 2020), либо могут быть непосредственно скорректированы пользователем. Значения для базового года приведены в Таблице 14 ниже. Коэффициенты загрузки для частных видов транспорта, как правило, остаются стабильными в прогнозах, в отличие от роста таковых для общественного транспорта.

Таблица 14: Коэффициенты загрузки по видам транспорта в 2015 году

Вид транспорта	Коэффициент загрузки (чел. / транспортное средство)
Мотоцикл	1.1
Автомобиль	1.5
Такси	2.1
ОТ-ЖД	205.1
ОТ-Метро	205.1
ОТ-Автобус	23.6
ОТ-САТ	47.1
ОТ-Миниавтобус	6.3
Шеринг велосипедов и скутеров	1.0
Совместные поездки	2.1
Каршеринг	1.9
ОТ-Транспорт «по требованию»	6.3

Источник: Модель мобильности MoMo МЭА, 2020

Выбросы CO₂ и локальных загрязняющих веществ

Выбросы CO₂ Tank-to-wheel (от топливного бака до колеса)

Выбросы CO₂ «от бака до колеса» (TTW) рассчитываются как результат транспортной потребности по видам транспорта и по типам транспортных средств. Сначала общее количество автомобиле-километров по видам транспорта распределяется между различными технологиями транспортных средств. Затем рассчитывается потребление по видам топлива путем применения средней экономии топлива для каждого вида транспорта, технологии и типа топлива к пройденным автомобиле-километрам. Выбросы CO₂ для каждого вида топлива определяются в результате применения соответствующих коэффициентов выбросов CO₂.

$$\text{TTW CO}_2 \text{ emissions} = \text{VKM}_{\text{mode}} \times \text{share of VKM}_{\text{fuel type, mode}} \times \text{fuel econ}_{\text{fuel type, mode}} \times \text{TTW CO}_2 \text{ emission factor}_{\text{fuel type, mode}}$$

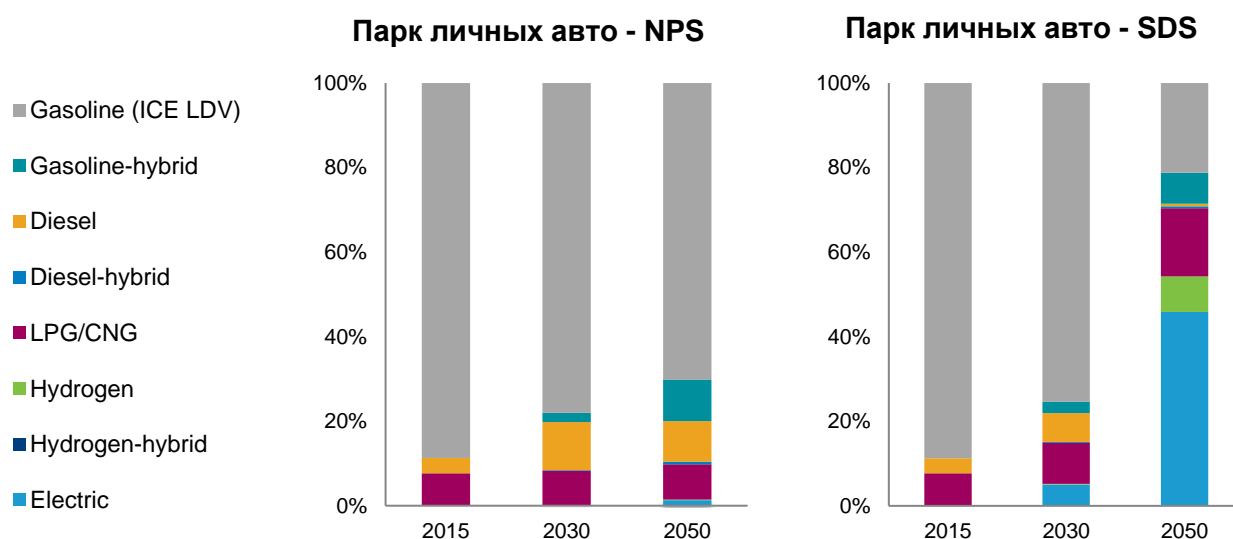
В альтернативных сценариях можно проверить более высокий уровень доли автомобилей на альтернативном топливе. Сценарий использования альтернативных транспортных средств в данном исследовании, основан на сценарии SDS МЭА (IEA, 2020). Рисунки 5 и 6 показывают, соответственно, состав парка личных автомобилей и автобусного парка по видам топлива для базового и прогнозируемого годов для обоих сценариев МЭА.

Пользователь модели может также переписать настройки сценариев МЭА в разрезе технологий для парка личных автомобилей и автобусного парка, применив соответствующие меры STECH и VTECH (см. описание в главе «Сценарные меры»).

Выбросы CO₂ Well-to-tank (от скважины до бака)

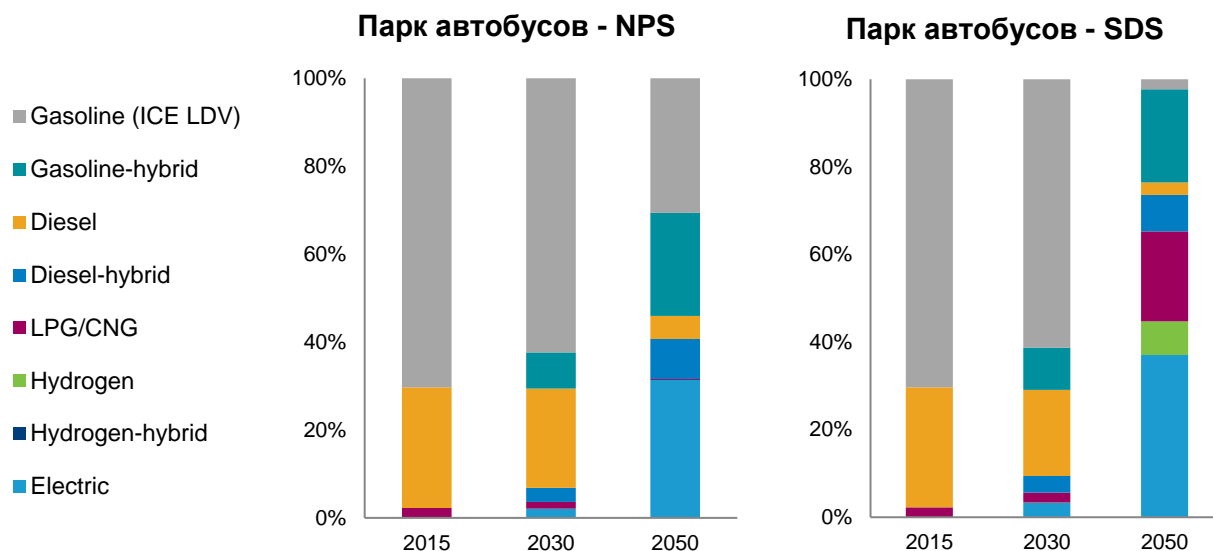
В данной модели результаты также включают в себя выбросы CO₂ «от скважины до бака» (WTT), чтобы отразить полный объем выбросов, связанных с городским транспортом. Выбросы WTT учитывают выбросы от производства и распределения топлива. Возможны два коэффициента выбросов WTT, основанные на сценариях NPS МЭА и SDS МЭА соответственно (IEA, 2020). Эти два сценария различаются потенциальными источниками электроэнергии на ближайшие десятилетия. В сценарии SDS к 2050 году произойдет почти 100-процентный переход на возобновляемые источники энергии. Это окажет значительное влияние на общий объем выбросов от городских железных дорог (например, метро, пригородных электричек) или любых других видов транспорта, где электромобили в значительной степени проникают на рынок.

Рисунок 5: Парк личных автомобилей по видам топлива в соответствии с различными сценариями МЭА



Источник: Модель мобильности MoMo МЭА, 2020

Рисунок 6: Парк автобусов по видам топлива в соответствии с различными сценариями МЭА



Источник: Модель мобильности MoMo МЭА, 2020

Локальные загрязняющие вещества

Городской транспорт вносит значительный вклад в локальное загрязнение воздуха, в основном за счет выбросов оксидов азота (NO_x), сульфатов (SO₄) и твердых частиц размером до 2,5 мкм (PM_{2.5}). Выбросы CO₂ строго пропорциональны расходу топлива автомобилями, в то время как количество локальных загрязняющих веществ на единицу топлива в выхлопных газах может сильно различаться. В данной модели используются коэффициенты выбросов из модели «Дорожной карты развития транспорта» Международного совета по экологически чистому транспорту (ICCT, 2019). «Дорожная карта» ICCT включает в себя ожидаемые улучшения стандартов эффективности транспортных средств и их вероятные доли в автопарках до 2050 года.

СЦЕНАРНЫЕ МЕРЫ

В этой главе подробно описывается определение каждой меры, которая используется в листе «Scenario Setting», и то, как она влияет на различные компоненты и параметры модели (например, рост городских районов, транспортное обеспечение, доля видов транспорта, потребность в поездках и т. д.).

Обзор мер

Модель содержит в общей сложности 30 мер из семи категорий: Расширение инфраструктуры, Развитие общественного транспорта, Развитие совместной мобильности, Ограничительные меры, Ценовые меры, Развитие технологичности транспорта и Прочие меры. Прочие меры - это группа экзогенных сценарных переменных, над которыми, как предполагается, орган, принимающий решения, не имеет полного контроля.

Эти меры охватывают широкий спектр политических и технологических альтернатив, влияющих на окружающую среду, транспортное обеспечение, транспортный спрос и усредненные выбросы транспортных средств. Такое разнообразие мер позволяет проверить комбинированное воздействие нескольких мер в рамках одного сценария на конечную потребность в городском транспорте и соответствующие выбросы CO₂ (включая выбросы TTW и WTT), а также других загрязняющих вещества, такие как NO_x, PM_{2,5} и SO₄.

Для большинства мер, пользователь задает ожидаемое значение в год реализации и целевое значение к 2050 году. Модель автоматически преобразует эти два значения в набор параметров для каждого пятилетнего шага, которые используются в итерациях модели. Значения этих параметров могут быть дополнительно отредактированы на листе «Scenario Parameters», если необходима нерегулярная/нелинейная реализация мер.

Рисунок 7: Настройка сценария в модели

Selected scenario	Baseline	Insert your values into these columns				Suggested value range	
Measure code	Measure name	Description of value to be provided	Implementation year	Anticipated values in implementation year	Anticipated values in 2050	MIN	MAX
Infrastructure Expansion							
MN	Metro network	Total network length (km)	2015	36.2	35	300	
			2020	59.5	35	300	
			2025	59.5	35	300	
			2030	59.5	35	300	
			2035	59.5	35	300	
			2040	59.5	35	300	
			2045	59.5	35	300	
BRTN	BRT network	Total network length (km)	2015	0.0	0	300	
			2020	0.0	0	300	
			2025	0.0	0	300	
			2030	0.0	0	300	
			2035	0.0	0	300	
			2040	0.0	0	300	
			2045	0.0	0	300	
SRN	Suburban rail network	Total number of stops	2015	8	8	30	
			2020	8	8	30	
			2025	8	8	30	
			2030	8	8	30	
			2035	8	8	30	
			2040	8	8	30	
			2045	8	8	30	
CBN	Conventional bus network	Total network length (km)	2015	3800.0	2500	10000	
			2020	3800.0	2500	10000	
			2025	3800.0	2500	10000	
			2030	3800.0	2500	10000	
			2035	3800.0	2500	10000	
			2040	3800.0	2500	10000	
			2045	3800.0	2500	10000	

Источник: Модель городской мобильности Ташкента, МТФ

В следующих разделах представлена информация о каждой мере, которую пользователь модели может применить для определения сценариев. За описанием меры следует описание того, как эта мера реализована в модели. В последнем разделе по каждому направлению политики представлено влияние мер на выбросы CO₂. Оценка воздействия по каждому направлению

политики проводится путем сравнения друг с другом двух сценариев, которые отличаются только параметрами конкретного рассматриваемого направления политики.

Расширение инфраструктуры

Улучшение инфраструктуры общественного транспорта [MN], [BRTN], [CBN]

Усиление инфраструктуры общественного транспорта увеличивает протяженность его сети. Это приводит к улучшению общего охвата территории ОТ, связанности, обеспечению устойчивой мобильности и безопасности движения.

Пользователь устанавливает целевые значения общей протяженности сети метро, CAT и стандартных автобусов в период с 2015 по 2050 год. Модель также преобразует эти значения в:

- Общую длину сети для метро, CAT и стандартного автобуса.
- Сокращение времени доступа для метро, CAT и стандартного автобуса.

Улучшение сети пригородных железных дорог [SRN]

Как и в предыдущем случае, количество и расположение станций на существующих железнодорожных линиях влияет на время доступа, транспортную связанность и общую устойчивость и безопасность городской мобильности.

Пользователь задает значение общего количества остановок в период с 2015 по 2050 год. Модель преобразует это значение в:

- Общее количество Ж/Д остановок.
- Сокращение времени доступа к пригородному железнодорожному транспорту.

Расширение велосипедной сети [BN]

Улучшение обеспечения и дизайна сети велосипедной инфраструктуры в городе стимулирует большее количество людей к езде на велосипеде. Эта мера позволяет быстрее и безопаснее передвигаться на велосипеде благодаря специализированной инфраструктуре. Однако, большинство видов транспорта испытывают дополнительные трудности, так как велосипедисты получают приоритет на перекрестках и в других местах пересечения дорог.

Велосипедная сеть уже существует в городе. Пользователь задает целевое значение общей длины сети (км) для года расширения в будущем и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Увеличение длины велосипедной сети.
- Увеличение доли поездок в двух категориях с наименьшим расстоянием.
- Увеличение скорости для шеринга велосипедов и скутеров.
- Снижение скорости для моторизованных видов транспорта (кроме приоритетных видов ОТ и такси).

Расширение пешеходной сети [PN]

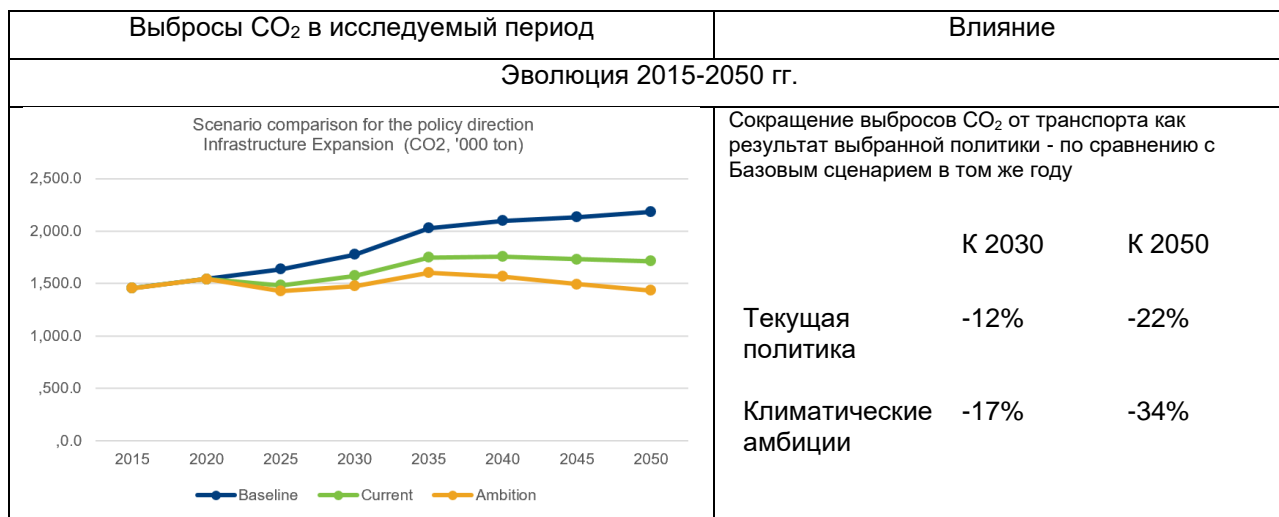
Улучшение обеспечения и дизайна сети пешеходной инфраструктуры в городе стимулирует большее количество людей к пешему перемещению. Больше пользователей с различными физическими возможностями и потребностями могут свободно передвигаться по городу, получая доступ к большему количеству пунктов назначения, а также к местам расположения других видов транспорта (включая общественный). Однако, большинство видов транспорта испытывают дополнительные трудности, так как пешеходы получают приоритет на перекрестках и в других местах пересечения дорог.

Пешеходная сеть уже существует в городе. Пользователь задает целевой показатель для года расширения в будущем и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Увеличение протяженности пешеходной сети (дороги категорий 4 и 5).

- Увеличение доли поездок в двух категориях с наименьшим расстоянием.
- Сокращение времени доступа для всех видов транспорта.
- Увеличение скорости пешеходного движения.
- Снижение скорости для моторизованных видов транспорта (кроме приоритетных видов ОТ и такси).

Рисунок 8: Влияние расширения инфраструктуры на выбросы CO₂



Развитие общественного транспорта

Улучшение функционирования массовых видов ОТ [MTS]

Улучшение функционирования массовых видов ОТ подразумевает более эффективное планирование путем совершенствования проектирования маршрутов будущей сети, разработки частоты и расписания движения, а также оптимизации расписания работы транспортных средств и персонала. Это делает услугу более удобной для существующих и потенциальных пассажиров.

Пользователь задает целевой показатель увеличения скорости движения в результате улучшения сервиса, включая ICT (%) для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Сокращение времени ожидания для метро, САТ и пригородных поездов.
- Увеличение скорости для метро, САТ и пригородных поездов.
- Увеличение «полезности» для метро, САТ и пригородных поездов.

Улучшение функционирования стандартных автобусов [PTS]

Этот показатель аналогичен предыдущему, однако гибкость стандартных автобусных сетей позволяет перераспределять остановки, пересматривать всю структуру маршрута и применять современные технологии для оптимизации работы в режиме реального времени.

Пользователь задает целевой показатель увеличения скорости движения в результате оптимизации расположения остановок, включая ICT (%) для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Сокращение времени доступа для автобусов и миниавтобусов.
- Сокращение времени ожидания для автобусов и миниавтобусов.
- Увеличение скорости движения автобусов и миниавтобусов.
- Увеличение «полезности» для автобусов и миниавтобусов.

Приоритет общественного транспорта [РТР]

Задержки, обусловленные работой общественного транспорта в общем трафике, составляют значительную долю общего времени в пути автобусов. Это сказывается на качестве обслуживания, может привести к снижению числа пассажиров общественного транспорта и влияет на расход топлива и выбросы, связанные с работой общественного транспорта. Создание выделенных полос и внедрение приоритета транзитного сигнала для автобусов может повысить их эффективность и время в пути. Эта инфраструктура также может быть использована официальными такси и транспортом совместного пользования.

Пользователь устанавливает целевое значение доли автобусной сети, имеющей приоритет перед другими видами транспорта, для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Снижение скорости движения личного автотранспорта и каршеринга.
- Увеличение скорости движения моторизованных видов ОТ, такси и совместной мобильности.

Интеграция тарифов общественного транспорта [РТФ]

Интеграция может принимать форму общего механизма оплаты, единого билета на услуги разных операторов, единого билета на разные виды транспорта или комбинации этих элементов. В большинстве случаев интегрированная система продажи билетов также включает в себя интегрированные тарифы, где существуют общие структуры цен для разных видов транспорта и операторов. Преимущества для пользователей включают в себя удобство доступа, экономию времени и большую гибкость, что может способствовать росту числа пассажиров общественного транспорта.

Пользователь устанавливает целевой показатель снижения средней стоимости поездки на общественном транспорте для предполагаемого года внедрения и для 2050 года. Модель преобразует это значение в:

- Снижение роста стоимости проезда на ОТ и ежемесячной абонентской платы.
- Повышение «полезности» всех видов общественного транспорта.
- Применение стандартного тарифа на проезд в общественном транспорте к миниавтобусам.

Запуск услуг «по требованию» [ODS]

Транспортные услуги «по требованию», такие как такси-автобус, предлагают пассажирам гибкий и эффективный способ заказа совместных поездок, сочетающий удобство такси с экономичностью групповых перевозок. Пассажиры могут легко забронировать эти услуги через приложения или платформы, оптимизируя варианты поездок на короткие расстояния или для больших групп. В идеале сервис «по требованию» должен быть интегрирован в систему общественного транспорта, включая также структуру тарифов.

Пользователь задает целевой показатель общего размера парка транспорта «по требованию» (количество транспортных средств) на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель преобразует это значение в:

- Эволюцию парка транспортных средств «по требованию».

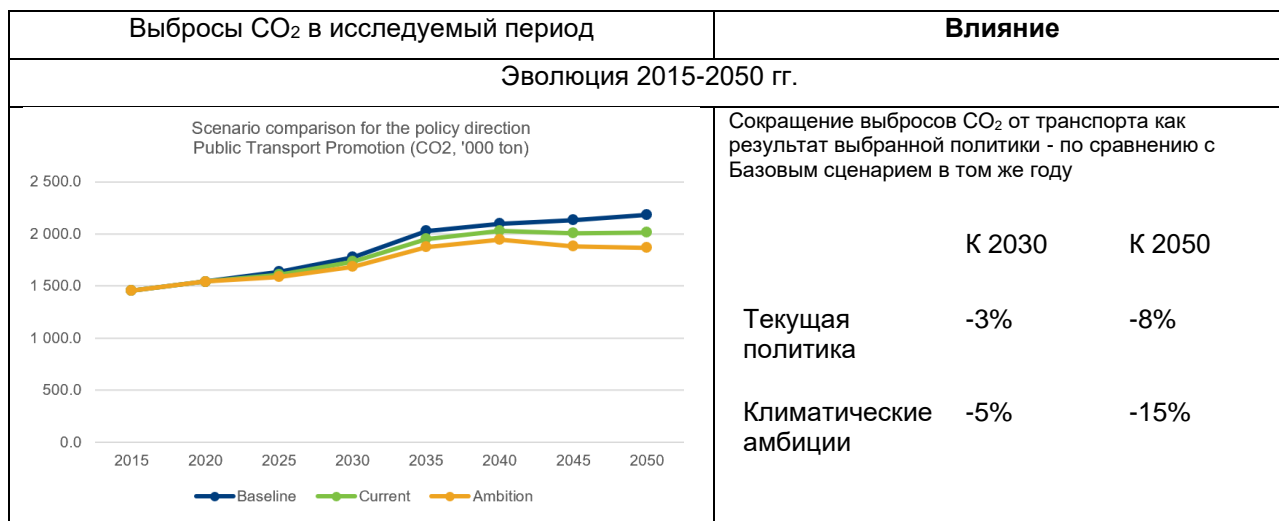
Мобильность как услуга [MAAS]

МааS предполагается как модель транспортных услуг (на основе приложений). Она объединяет транспортные сети и услуги всех операторов таким образом, чтобы все возможные способы выполнения поездки (включая общественный и личный транспорт) могли быть представлены пассажирам и выполнены ими с помощью единого интерфейса или точки контакта. Пользователи смогут запланировать всю поездку (от точки до точки), купить билеты на общественный транспорт и забронировать услуги по требованию, шеринговый транспорт и/или микромобильность с помощью этой платформы.

Пользователь устанавливает целевой ожидаемый показатель доли населения, имеющего подписку на МааS, на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель преобразует это значение в:

- Увеличение числа подписок на ОТ.
- Сокращение времени доступа для всех видов общественного транспорта.
- Увеличение «полезности» ОТ и совместной мобильности.

Рисунок 9: Изменение выбросов CO₂ при развитии общественного транспорта



Развитие транспорта совместного использования (шеринга)

Стимулы для услуг такси [TI]

Эта мера направлена только на традиционные службы такси. Такси, как правило, принадлежат частным лицам или таксомоторным компаниям, и управляются ими. Эти автомобили предназначены для использования в качестве такси и регулируются различными правилами, включая лицензирование, проверку безопасности и структуру тарифов. Такси можно остановить на улице, вызвать по телефону или найти на специальных стоянках, хотя некоторые компании перешли на системы, основанные на приложениях. Местные или муниципальные власти могут контролировать общий размер парка такси, выдавая или отзывая лицензии на эксплуатацию. Увеличение парка такси может стать удобной альтернативой поездкам на личном автотранспорте, а значит, повысить полезность использования личного автотранспорта за счет увеличения коэффициента загрузки, а также сократить число владельцев автомобилей. Однако, такси могут составить конкуренцию общественному транспорту, если соответствующие тарифы будут сопоставимы.

В городе уже существуют службы такси. Пользователь задает целевой показатель общего размера парка такси (количество транспортных средств) на ожидаемый год внесения изменений и на 2050 год. Модель также преобразует эти значения в:

- Корректировку размера парка такси.
- Корректировку времени ожидания такси.

Стимулы для системы совместных поездок [RSI]

Эта мера направлена только на службы совместных поездок, включая как легально, так и нелегально используемые автомобили (см. Следующую меру - TMR). Такие службы не владеют транспортными средствами, используемыми для перевозки. Вместо этого они связывают пассажиров с водителями, которые используют свои личные автомобили. Доступ к легальным услугам осуществляется в основном через мобильные приложения. Требования к квалификации водителя и к характеристикам автомобиля как правило менее строгие. В случае с нелегальными сервисами, пассажиры запрашивают поездки «голосуя» на улице. Увеличение парка сервисов совместных поездок может стать удобной альтернативой поездкам на личном автотранспорте, а значит, повысить полезность использования личного автотранспорта за счет увеличения коэффициента загрузки, а также сократить число владельцев автомобилей. Однако, совместные

поездки могут составить конкуренцию общественному транспорту, если соответствующие тарифы будут сопоставимы. Доступ на рынок служб совместных поездок контролируется соответствующими госорганами, однако точное количество транспортных средств и их эксплуатация не могут регулироваться полностью, что создает потенциальную необходимость для введения дополнительных мер.

В городе уже существуют сервисы совместных поездок. Пользователь задает целевой показатель общего размера парка совместных поездок (количество транспортных средств) на ожидаемый год внесения изменений и на 2050 год. Модель также преобразует эти значения в:

- Корректировку размера парка совместных поездок.
- Корректировку времени ожидания для совместных поездок.

Реформа рынка такси [TMR]

Нелегальная деятельность такси является постоянным источником проблем/обеспокоенности в Ташкенте, порождая серьезные проблемы, выходящие за рамки самой отрасли такси и совместных поездок. Эти проблемы включают в себя: негативное влияние на спрос на ОТ, снижение безопасности, комфорта и надежности, а также значительные потери муниципальных доходов из-за неуплаты налогов при оказании услуг такси. Для решения этих проблем, была проведена комплексная реформа рынка такси, направленная на создание более благоприятных условий для легального использования транспортных средств. Таким образом, власти смогут убедиться, что большая часть автомобилей работает на платформах совместных поездок, а значит, тарифы, квалификация водителей и характеристики транспортных средств станут доступны для регулирования.

Реформа рынка такси была введена в 2020 году. Пользователь задает целевой показатель доли легально эксплуатируемых транспортных средств в общем парке систем совместных поездок для ожидаемого года расширения и для 2050 года. Модель также преобразует эти значения в:

- Увеличение стоимости совместных поездок.
- Присвоение привилегий официального такси (например, доступ к приоритетным полосам движения).
- Улучшение показателей выбросов загрязняющих веществ при совместных поездках.

Стимулы для системы каршеринга [CSI]

Каршеринг - это вид аренды автомобилей, при котором пользователи могут арендовать транспортные средства на короткий срок (например, на час). В зависимости от структуры сервиса, он может работать с фиксированными местами/станциями или же как схема со свободным перемещением с использованием любых доступных мест парковки в городе. Как правило, пользователи могут определять местонахождение автомобилей или станций с помощью веб-приложений и/или мобильных приложений. Каршеринг обычно привлекателен для людей, совершающих лишь редкие поездки на автомобиле, и это может помочь сократить число владельцев личного транспорта. Каршеринг также можно использовать в сочетании с общественным транспортом - в качестве средства доступа «первой/последней мили» для ОТ. Кроме того, каршеринговые автомобили обычно современные и регулярно обновляются, поэтому их средний уровень выбросов ниже, чем у парка личного транспорта.

Пользователь задает целевой показатель общего размера парка каршеринга (количество транспортных средств) на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель также преобразует эти значения в:

- Эволюцию парка каршеринга.
- Сокращение времени доступа для каршеринга.

Стимулы для шеринга велосипедов и скутеров [BSI]

Программы шеринга велосипедов и скутеров обеспечивают удобные и надежные варианты передвижения по городским территориям. Эти сервисы предлагают доступ к (электрическим) велосипедам и скутерам в качестве самостоятельных средств передвижения или для поездок «первой/последней мили», снижая зависимость от личного транспорта при перемещении на

короткие расстояния. Модель шеринга микромобильности не только снижает загруженность дорог и выбросы углекислого газа, но и способствует более здоровому и активному образу жизни.

Пользователь задает целевой показатель общего размера парка велосипедов и скутеров (количество единиц) на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель также преобразует эти значения в:

- Эволюцию парка шеринга велосипедов и скутеров.
- Сокращение времени доступа к шерингу велосипедов и скутеров.

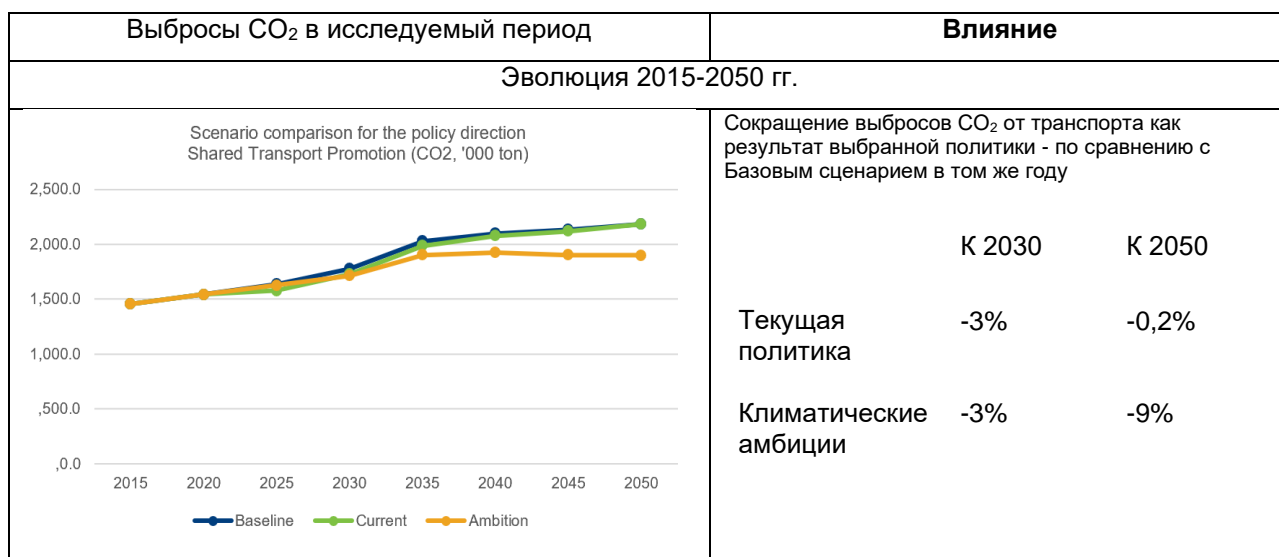
Стимулы для карпулинга [CPI]

Политика карпулинга способствует переходу на использование автомобилей с большей загрузкой. Она направлена на увеличение среднего коэффициента загрузки автомобиля, который обычно низок и близок к единице, чтобы снизить интенсивность движения и выбросы в атмосферу в расчете на одного пользователя автомобиля. Политика карпулинга может способствовать развитию компаний, занимающихся карпулингом, предоставлять преимущества для автомобилей с большей загрузкой, такие как выделенные полосы (HOV) или доступ к зонам или полосам с ограничением движения, а также вознаграждать карпулинг специальными поощрениями или субсидиями.

Пользователь устанавливает целевое значение изменения коэффициента загрузки личного автотранспорта (%) для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение коэффициента загрузки для мотоциклов, автомобилей и каршеринга.

Рисунок 10: Изменение выбросов CO₂ при развитии совместной мобильности



Ограничительные меры

Ограничения на парковку [PR]

Ограничения на парковку - это меры, которые влияют на доступность парковочных мест для личных ТС. Они могут распространяться на отдельные улицы, районы, зоны или на весь город. При введении мер по ограничению парковки снижается уровень доступности для личных ТС, что, в свою очередь, снижает показатель владения личными ТС. Директивные органы должны обратить внимание на то, чтобы не ухудшить в целом привлекательность зон с ограничением на парковку, обеспечив доступность других альтернативных видов транспорта до введения таких мер.

Пользователь устанавливает целевое значение доли городской территории, на которую распространяются (строгие) ограничения на парковку, для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение времени доступа для личного транспорта.
- Снижение роста числа владельцев личных ТС.

Ограничения доступа транспортных средств [VAR]

Политика ограничения доступа транспортных средств подразумевает установление своеобразного «кордона» в городской зоне, т. е. блокирование зоны для подгруппы городского автопарка на определенные периоды времени, чтобы уменьшить пробки и количество выбросов. Политика ограничения движения транспортных средств может применяться как в периоды пиковых нагрузок так и в течение всего рабочего дня (например, определенного дня или нескольких дней в течение недели). В более амбициозной форме такие политики предполагают полное закрытие улицы или района для движения, чтобы создать зоны, свободные от ТС.

Пользователь устанавливает целевое значение доли личных ТС, которым будет запрещено передвигаться по городу в год реализации и в 2050 году. Модель преобразует эти значения в:

- Снижение роста числа владельцев личных ТС.
- Увеличение времени доступа для личных ТС.
- Увеличение расстояния объезда для личного транспорта.

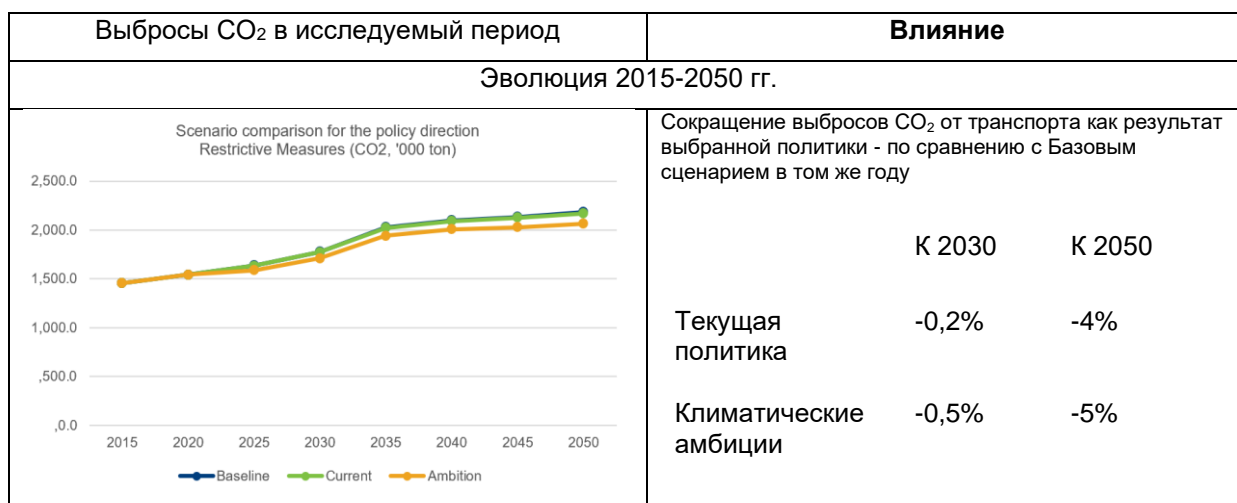
Ограничения скорости [SL]

Ограничение скорости направлено на снижение доминирования автотранспорта, повышение безопасности и качества окружающей среды на городских территориях. Как правило, ограничение скорости должно применяться в масштабах всего района. Если его применять только к отдельным улицам, это может привести к тому, что аварийные ситуации, загрязнение окружающей среды и «срезки» переместятся в районы с более высокими ограничениями скорости. Успокоительная инфраструктура улиц, включающая ограничители скорости, знаки «Стоп» и круговое движение, может еще больше повысить эффективность политики.

Пользователь устанавливает целевой показатель понижения ограничения скорости в процентах для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует эти значения в:

- Снижение базовой скорости на дорогах.
- Снижение роста числа владельцев личных ТС.

Рисунок 11: Влияние ограничительных мер на выбросы CO₂



Ценовые меры

Стоимость пользования дорогами (плата за въезд в загруженные зоны) [RP]

Плата за въезд в загруженные зоны - это система, при которой водители должны платить за въезд в зоны с интенсивным движением в определенный период времени. Такой подход помогает снизить загруженность дорог, уменьшить выбросы углекислого газа и стимулировать переход на экологичные виды транспорта.

Пользователь устанавливает целевой показатель среднего тарифа на въезд в город (в долл. США) на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение стоимости использования личных видов транспорта.
- Снижение роста числа владельцев личных ТС.

Цены на парковку [PP]

Введение цен на парковку обычно означает взимание платы с автомобилистов за пользование парковкой. Она может применяться к перехватывающим парковкам, уличным парковкам и к парковкам в жилых районах. Цена на парковку может оказать значительное влияние на стоимость владения и использования личного ТС. Поскольку стоимость парковки не зависит от расстояния поездки, ее влияние более актуально для относительно коротких поездок. В последние годы все больше городов устанавливают цены в зависимости от экологических характеристик ТС.

Пользователь устанавливает целевой показатель среднего тарифа за парковку (в долл. США в час) на предполагаемый год внедрения и на 2050 год. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение стоимости парковки для личного транспорта (электромобили получают скидку).
- Снижение роста числа владельцев личных ТС.

Топливный налог [FT]

Топливный налог, вводимый как налог на углеродные выбросы, предполагает взимание налога на содержание углерода в топливе с целью сокращения выбросов парниковых газов. Этот налог стимулирует физические и юридические лица к переходу на более чистые и эффективные виды транспорта и технологии.

Пользователь устанавливает целевой показатель увеличения стоимости использования транспортного средства (в расчете на километр) на предполагаемый год введения налога и на 2050 год. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение стоимости использования личного транспорта, создающего выбросы.
- Снижение роста числа владельцев личного транспорта, создающего выбросы.

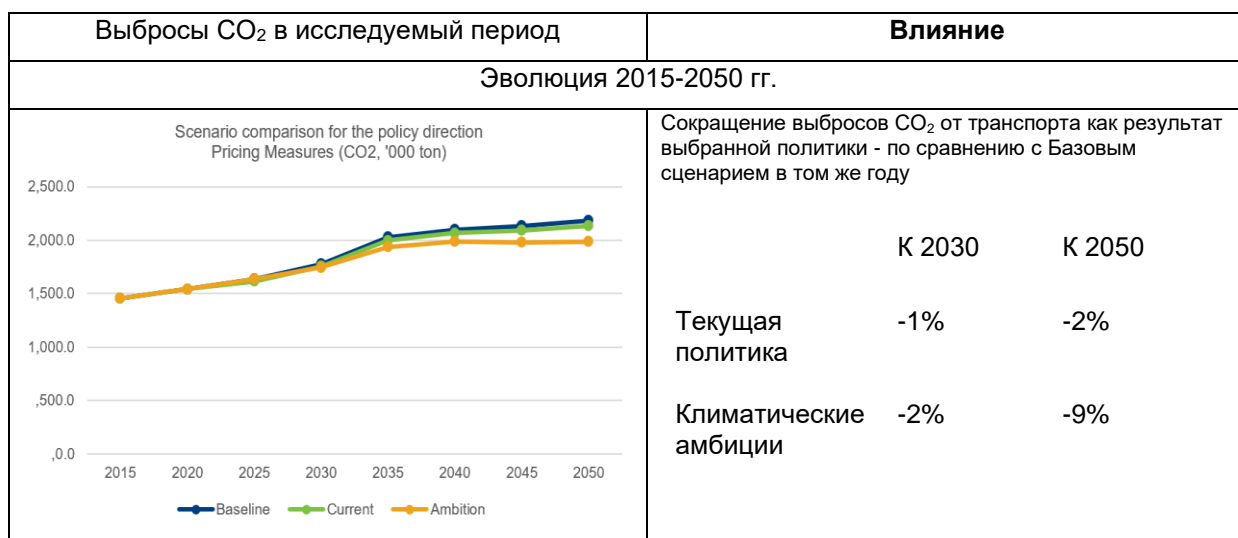
Налог на владение и покупку транспортного средства [VT]

Налог на владение транспортным средством - это ежегодный налог, который владельцы транспортных средств должны уплачивать государству. Этот налог обычно рассчитывается на основе таких факторов, как масса ТС, объем двигателя, уровень выбросов или других факторов, связанных с его потенциальным воздействием на дороги и окружающую среду. Налог на покупку транспортного средства взимается в момент приобретения ТС, часто на основании его стоимости и типа, а иногда на основе выбросов или топливной эффективности. Налог может составлять фиксированную сумму или процент от стоимости ТС. Он призван приносить доход государству и, в некоторых случаях, препятствовать чрезмерному потреблению или способствовать переходу на более экологичные ТС.

Пользователь устанавливает целевой показатель увеличения стоимости владения и покупки транспортного средства на предполагаемый год введения и на 2050 год. Модель преобразует это значение в:

- Увеличение стоимости личного транспорта (электромобили получают скидку).
- Снижение роста числа владельцев личных ТС.

Рисунок 12: Влияние ценовых мер на выбросы CO₂



Развитие технологичности транспорта

Развитие и внедрение технологий использования топлива - заранее определенные сценарии [ТЕСН]

Пользователь может активировать один из технологических сценариев МЭА. Это может быть 1) NPS МЭА, соответствующий базовому подходу, или 2) SPS МЭА, соответствующий подходу с высокими амбициями. Описание каждого сценария см. в главе «Вводные данные модели: Экзогенные» данного документа. Влияние сценария на выбросы CO₂ см. в главе "Выходные данные".

Пользователь выбирает сценарий МЭА: 0 выбирает сценарий NPS МЭА, а 1 - выбирает сценарий SDS МЭА. Этот выбор влияет на способ расчета выбросов.

Целевые технологические показатели для парка автомобилей [СТЕСН]

Политика экологизации парка личного автотранспорта включает в себя ряд мер, направленных на стимулирование и ускорение перехода на экологически чистые автомобили. Эти меры могут включать налоговые льготы, скидки и субсидии, чтобы сделать электрические и гибридные автомобили более доступными. Регулирующие меры могут также включать ужесточение стандартов топливной эффективности и ограничений на выбросы. Кроме того, развитие зарядной инфраструктуры и кампании по повышению осведомленности населения могут дополнять эти меры, делая выбор в пользу более экологичных автомобилей более привлекательным для людей.

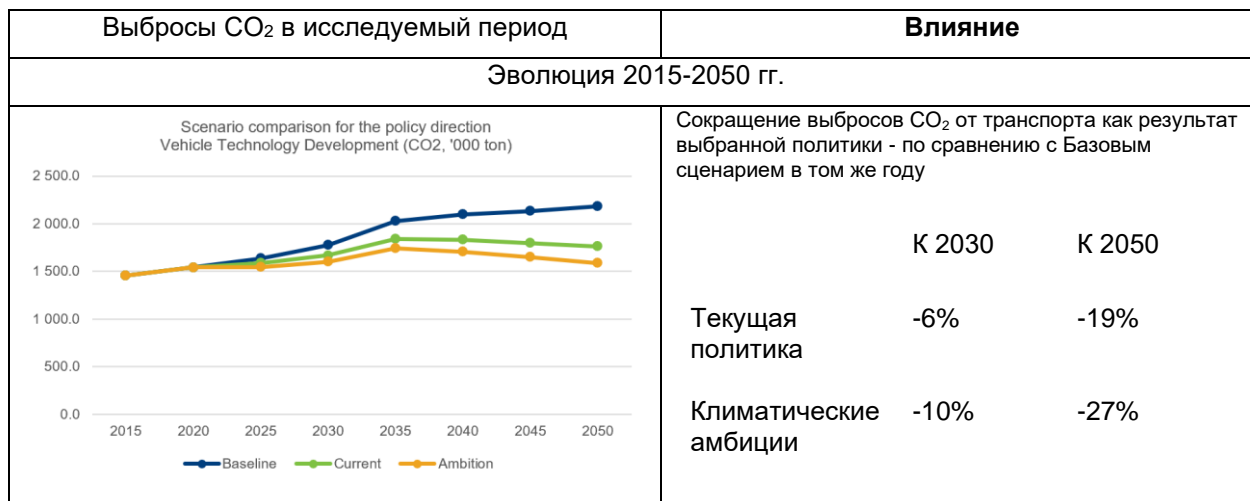
Пользователь задает ожидаемые доли различных технологий в парке личного транспорта в целевом году и в 2050 году. Затем модель пересчитывает средние выбросы на основе состава автопарка на заданный год (который прогнозируется на основе целевых значений) в рамках модели парка транспортных средств.

Целевые технологические показатели для парка автобусов [ВТЕСН]

Политика экологизации автобусных парков направлена на снижение воздействия общественного транспорта на окружающую среду путем поощрения использования более чистых и экономичных автобусов. Обычно это предполагает переход от традиционных дизельных автобусов к электрическим, гибридным или альтернативным видам топлива, что приводит к снижению выбросов парниковых газов и улучшению качества воздуха. Решающую роль в достижении этих целей играют государственные стимулы, нормативные акты и инвестиции в устойчивые технологии.

Пользователь задает ожидаемые доли различных технологий в автобусном парке в предполагаемом целевом году и в 2050 году. Затем модель пересчитывает средние выбросы на основе состава парка автобусов на заданный год (который прогнозируется на основе целевых значений) в рамках модели парка транспортных средств.

Рисунок 13: Влияние развития технологий на выбросы CO₂



Другие меры

Поощрение удаленной работы

Удаленная работа в широком смысле определяется как выполнение работы в месте, удаленном от места расположения работодателя, при сохранении связи с офисом посредством сетевых технологий. Удаленная работа помогает сократить количество поездок на работу, которые, как правило, происходят в часы пик и превышают среднюю продолжительность городских поездок. Поощрение удаленной работы может создать дополнительную потребность в поездках на короткие расстояния, однако устойчивые виды транспорта (особенно активные виды транспорта) более конкурентоспособны в этом диапазоне. Поощрение удаленной работы может сыграть свою роль в стратегиях управления потребностью в поездках, направленных на декарбонизацию транспорта.

Пользователь устанавливает долю активного населения, которое регулярно занимается удаленной работой в целевом году и в 2050 году, начиная с оценки в 1% для 2015 года. Модель преобразует эти значения в:

- Увеличение доли поездок в трех категориях с наименьшим расстоянием.

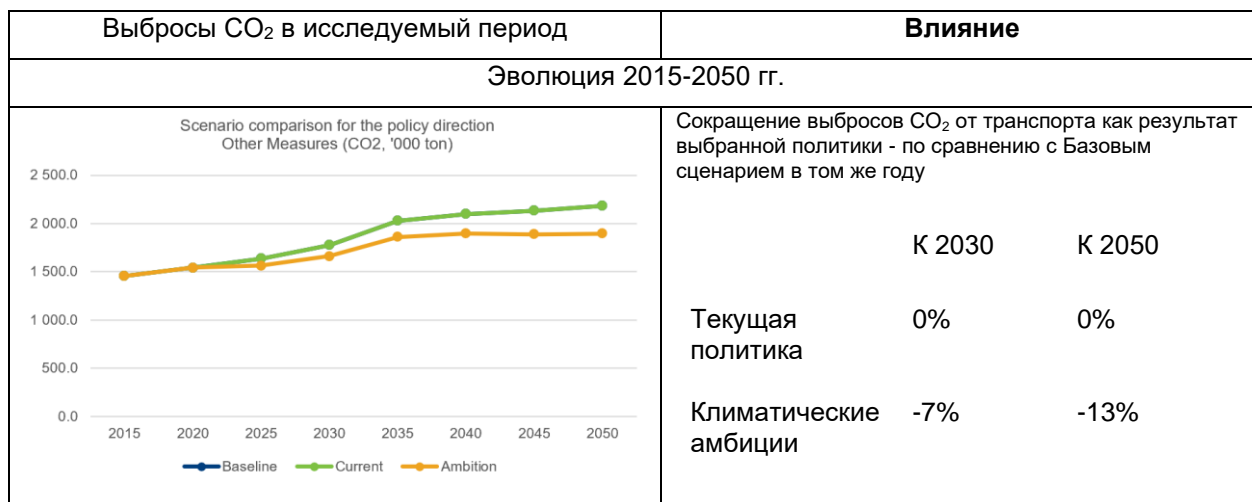
Транзитно-ориентированное развитие и улучшение городского планирования [TOD]

Транзитно-ориентированное развитие (TOD) направлено на создание компактных, пешеходно-ориентированных, многофункциональных сообществ, сосредоточенных вокруг высококачественных систем общественного транспорта. Оно объединяет транспорт и практику развития землепользования. TOD ведет к повышению плотности населения и эффективности общественного транспорта, снижая необходимость путешествовать на большие расстояния и использовать личный транспорт.

Пользователь устанавливает целевой показатель смешанного землепользования для предполагаемого года реализации и для 2050 года. Модель преобразует эти значения в:

- Снижение роста числа владельцев личных ТС.
- Сокращение времени доступа к общественному транспорту.
- Снижение доли поездок в трех категориях с наибольшим расстоянием.
- Повышение полезности общественного транспорта.

Рисунок 14: Влияние прочих мер на выбросы CO₂



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Chen, Guineng, and Jari Kauppila (2017), “Global Urban Passenger Travel Demand and CO2 Emissions to 2050: New Model.” Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 2671, no. 1 71–79, <https://doi.org/10.3141/2671-08>

ICCT (2019), Transportation Roadmap, <https://www.theicct.org/transportation-roadmap>

IEA (2020), IEA Mobility Model, <https://www.iea.org/areas-of-work/programmes-and-partnerships/the-iea-mobility-model>

ITF (2020), “The ITF Urban Passenger model – Insights and example outputs”, Horizon 2020 project “Decarbonising Transport in Europe”, 2020, <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5cc3ef7f1&appId=PPGMS>

ITF (2021), ITF Transport Outlook 2021, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/16826a30-en>

ITF (2023), ITF Transport Outlook 2023, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b6cc9ad5-en>