

Особенности транспортного моделирования при оценке выбросов парниковых газов автотранспортом

В.Н. Азаров, Е.О. Брызгина, С.С. Мокроусов, О.С.Власова¹

Н.Ю.Клименти²

Н.В.Мензелинцева³

¹*Волгоградский государственный технический университет*

²*Академия ГПС МЧС России*

³*Волгоградский государственный университет*

Аннотация: Транспортная стратегия Российской Федерации с учетом особенностей транспортной системы страны требует при решении проблем карбоновой нейтральности использовать транспортное моделирование. Транспортная модель решает многоплановые задачи, в том числе прогноз и оценку выбросов парниковых газов. Рассмотрены основные принципы разработки транспортных моделей. Проведено сравнение методик НИИАТ и ЕЕА/COPERT, наиболее часто используемых при расчетах выбросов парниковых газов по транспортным моделям. Сформулированы основные требования к результатам расчетов по математической модели транспортных потоков.

Ключевые слова: углеродная нейтральность, транспортное моделирование, карбоновая нейтральность, парниковые газы, удельные выбросы, расчетный сценарий.

Последние годы во всем мире характеризуются усилением политики и практики, способствующих предотвращению изменения климата, а также разработке адаптационных мероприятий, если произошедшие изменения уже практически необратимы. Парижское соглашение определило достижение к 2050 г углеродной нейтральности как конечной цели, при этом рост средней температуры должен быть не превышать 2°C, оптимально -1,5°C. Углеродная нейтральность характеризуется как «достижение сбалансированности между антропогенными выбросами из источников и абсорбцией поглотителями парниковых газов во второй половине этого века» [1].

Одной из основных причин изменения климата на планете является выброс парниковых газов, и в значительной степени - от автотранспорта. Транспортной стратегией Российской Федерации, исходя из анализа современной транспортной системы, поставлена задача достижения карбоновой

нейтральности, существенная роль отводится транспортному моделированию.

Транспортное моделирование - это профессиональная деятельность, связанная с построением и исследованием транспортных моделей различного уровня, описывающих состояние и характеристики транспортных систем, транспортную доступность, транспортный спрос на грузовые и пассажирские перевозки, движение транспортных средств, пассажиро- и грузопотоки, технологические процессы и бизнес-процессы на транспорте, транспортные услуги, загрузку транспортной инфраструктуры, показатели безопасности функционирования транспорта и его влияния на окружающую среду, а также другие характеристики [2].

Перед транспортными моделями ставятся задачи по оценке и прогнозированию как основных параметров транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети (УДС), включающих скорость, плотность, интенсивность потока, время движения, пассажиропотоки на сети пассажирского транспорта общего пользования (ПТОП) и ряд других показателей транспортного спроса (число поездок, объемы движения, структуру по видам транспорта, по пунктам назначения поездок, так и выбросов парниковых газов от транспортных средств в окружающую среду. При этом учитывается неравномерность характеристик по времени суток.

Модель транспортной системы позволяет определить выброс в атмосферу вредных веществ от автотранспорта, учитывая реальную и перспективные ситуации, в том числе, показатели расселения, застройки, социально-экономические характеристики, которые влияют на транспортный спрос, слой спроса. Расчёт можно детализировать по маршрутам на всех участках графа транспортной сети; прогнозировать эффект от планируемых мероприятий в области строительства транспортной инфраструктуры, организации транспортного обслуживания населения, организацию дорожного движения.

При разработке транспортной модели необходимо учитывать современную концепцию планирования застройки и транспортной инфраструктуры, определяющую степень влияния на выбросы транспорта в окружающую среду. Большинство специалистов признают существование двух концепций: Car-oriented development (СОД) и Transit-oriented development (ТОД) [3-5].

Город, в соответствии с концепцией СОД, сочетает сверхурбанизированный центр и дезурбанизированный пригород и максимально ориентируется на индивидуальный транспорт в качестве средства передвижения.

Концепция ТОД ориентирована на преимущественное использование общественного транспорта. Города, для которых характерна концепция застройки ТОД, ориентированы на устойчивое развитие, ему сопутствует постоянное снижение вредного действия на окружающую среду; применение экологически чистых технологий, максимальная замена классического топлива альтернативными.

СОД-города характеризуются трендом снижения качества воздушной среды. Поэтому в последнее время наблюдается обратный процесс, связанный с отходом от концепции СОД и переходом к концепции ТОД [3-5].

Известные подходы и модели анализа транспортной ситуации при решении задач организации дорожного движения для оценки выбросов в атмосферу можно классифицировать по уровню детализации и типу применяемого математического аппарата на макро-, мезо- и микромодели [2,6,7].

Макромодели, использующие методы аналогового моделирования, исследуют усредненные характеристики транспортного потока (скорость, плотность, интенсивность) на определенных участках УДС на основе детерминированных функциональных зависимостей.

Мезомоделям, занимающим промежуточное положение между макро и микромоделями, присущ высокий уровень детализации исследуемой протя-

женной и разветвленной УДС при достаточно упрощенном описании динамики транспортного потока.

Микромодели воспроизводят (имитируют) режимы движения каждого автомобиля в потоке, с учетом геометрических характеристик дороги, параметров автомобиля, и косвенным учетом поведения и реакций водителя.

Выбор модели зависит от основных характеристик объекта моделирования; имеющихся данных результатов обследования транспортных потоков и УДС; особенностей организации дорожного движения; функциональные задачи проектирования и др.

Алгоритм моделирования городской транспортной сети представлен на рис.1.



Рис.1. - Порядок моделирования городской транспортной системы

В транспортном моделировании наиболее часто используются так называемые четырехшаговые статические макромодели. Они на базе графа транспортной сети и данных по расселению застройки позволяют оценить транспортный спрос для каждого района, его структуру по пункту назначе-

ния, способам передвижения, корреспонденции по транспортной сети, загрязнение атмосферы выбросами.

При разработке модели транспортной системы важным является выбор программного обеспечения, т.к. каждая программная среда обладает собственной методологией моделирования транспортных систем.

От выбора объекта моделирования, типа используемой модели и конкретной версии программного обеспечения зависит перечень исходных данных. В общем случае, для моделирования транспортной системы собираются исходные данные, которые можно сгруппировать:

1. Основные характеристики УДС (например, дороги по технико-эксплуатационным характеристикам и функциональному назначению; характеристики поперечного сечения дороги, дорожки для велотранспорта; пешеходные зоны и тротуары; полосы, выделенные для движения только общественного транспорта и т.д.);

2. Исходные данные по организации дорожного движения (данные скоростных режимов—скорость свободного движения, средняя скорость, скорость на отдельных участках УДС; установленное ограничение скорости и т.д.);

3. Исходные данные о транспортном спросе (характеристики транспортных зон; интенсивность движения транспортных потоков на всех входах/выходах в зоне моделирования и т.д).

4. Данные, необходимые для калибровки модели: интенсивность движения в контрольных точках; скорость проезда контрольных сечений на УДС; длина очередей АТС на контрольных пересечениях.

5. Данные для оценки массы выбросов вредных веществ автомобильным транспортом (структура парка автотранспортных средств (АТС) по типу и потреблению используемого топлива, силовой установки, рабочему объему двигателя и экологическому классу).

После создания модели необходимо провести полную проверку для выявления потенциальных ошибок на всех этапах создания и работы модели. Процесс уточнения параметров модели путем подбора значений, обеспечивающих работоспособность модели в определенных условиях, принято называть калибровкой. Цель калибровки заключается в том, чтобы найти для модели множество значений параметров, при которых наилучшим образом воспроизводятся реальные условия движения. Необходимость калибровки обусловлена тем, что ни одна модель может обеспечить требуемую достоверность оценок всех возможных ситуаций. Разработанная модель должна быть адаптирована к местным условиям. Каждый программно-моделирующий комплекс имеет набор настраиваемых параметров калибровки модели к конкретному проекту.

Калибровка включает в себя анализ и корректировку параметров модели, каждый из которых влияет на результаты моделирования, с одновременным учетом влияния этих параметров друг на друга.

Оценка достоверности – проверка, насколько результаты моделирования соответствуют характеристикам транспортных потоков, наблюдаемым на сети. Оценка достоверности (валидация) заключается в проверке соответствия результатов моделирования по откалиброванной модели фактическим данным. При оценке достоверности могут использоваться следующие статистические оценки: среднеквадратическая ошибка; нормализованная среднеквадратическая ошибка; коэффициент корреляции; коэффициент Зэйла.

Анализ проектных решений может состоять из различных сценариев: моделирование условий движения с учетом совершенствования ОДД и развитии УДС при неизменном транспортном спросе, прогнозирование перспективного транспортного спроса при существующей схеме организации дорожного движения и транспортной инфраструктуре, либо совмещать эти подходы. Для каждого из рассматриваемых сценариев необходимо осуществ-

вить несколько расчетов по модели при различных начальных случайных числах, произвести статистическую обработку данных моделирования, провести анализ изменения прогнозируемых показателей уровня транспортного обслуживания, и сделать выводы по проектным решениям.

Моделирование альтернативных проектных решений состоит из нескольких этапов: разработка альтернативных проектных решений; прогнозирование транспортного спроса для различных проектных решений; выбор индикаторов сравнения и определения эффективности проектных решений; моделирование возможных сценариев; статистическая обработка полученных результатов; определение обеспечиваемого уровня транспортного обслуживания территорий поселения для различных проектных решений.

Модели для альтернативных сценариев должны быть разработаны непосредственно на откалиброванной базовой модели. Параметры модели, скорректированные в процессе калибровки, обычно используются без изменений во время этапа анализа альтернативных сценариев. Однако, в случае развития сети или использования алгоритмов управления движением, предусматривающих динамическую маршрутизацию, некоторые параметры калибровки могут быть изменены.

Качество организации дорожного движения, эффективность принятых проектных решений являются важным аспектом моделирования. Параметрами для сравнения различных вариантов должны быть различные критерии уровня транспортного обслуживания территорий (сетевые показатели мобильности и загруженности, временной и буферный индекс, сетевой и локальные уровни обслуживания), а также, при необходимости, такие первичные показатели, как время поездки, скорость, плотность движения, отношение интенсивности к пропускной способности, длина очереди, время задержки. Анализ эффективности должен проводиться на сетевом и локальном уровнях.

В качестве методологической основы для оценки экологической эффективности влияния предлагаемых решений на уменьшение выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта принимается [8], где содержатся рекомендации по формированию расчетных сценариев и применению набора моделей оценки транспортных выбросов.

Расчеты наиболее часто ведутся по методике НИИАТ [9] и методике ЕЕА/COPERT [9-11]. На рис.2 приведена структура расчета выбросов по этим методикам.



Рис. 2. - Структура расчета выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом по методикам ЕЕА/COPERT и НИИАТ

К достоинствам методики ЕЕА/COPERT относятся: ее международно признанный статус; наличие свободно распространяемого программного пакета COPERT 4, который позволяет автоматически обрабатывать большие объемы данных; применение функциональных зависимостей удельных выбросов загрязняющих веществ от скорости движения автотранспортного средства.

Исходя из состава и структуры исходных данных, необходимых для расчета и прогноза изменения массы выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом, вследствие реализации инвестиционных проектов и мер в сфере дорожно-мостового строительства и организации дорожного движения, можно сформулировать следующие основные требования к результатам расчетов по математической модели транспортных потоков.

1. Адекватность и надежность результатов моделирования за счет учета всех требований, предъявляемым к исходным данным модели, а также выполнением процедур калибровки и валидации модели.

2. Моделирование УДС в зоне транспортного влияния проекта; учет не только локального, но и сетевого эффекта реализации проекта. Для корректной оценки экологической составляющей социально-экономического эффекта от реализации проектов и мероприятий в сфере дорожно-мостового строительства, организации дорожного движения и развития ПТОП, необходимо моделировать не только локальный участок УДС, на котором будет реализован проект (новый тоннель, улицу, на которой будут организованы выделенные полосы для движения автобусов и т.д.), но и прилегающие участки УДС, на которых реализация проекта приведет к перераспределению транспортных потоков и изменению их характеристик (скорости и интенсивности). Это требование связано с тем, что локальный экологический эффект многих проектов может быть отрицательным – например, строительство новой магистрали гарантированно приведет к росту массы выбросов ЗВ автомобильным транспортом, если зона транспортного моделирования ограничена только проектируемой магистралью и непосредственными подъездам к ней. В то же время, эффект от мероприятия, наблюдаемый на УДС поселения в целом, может быть положительным (новая магистраль разгружает направления, на которых до того возникали заторы, что приводит к снижению средней суточной массы выбросов за счет роста скоростей движения).

3. Агрегированные данные о скорости движения транспортного потока (при микромоделировании). Как методика ЕЕА/COPERT, так и методика НИИАТ носят относительно укрупненный характер (не учитывают поведение отдельных транспортных средств и изменения массы выбросов при разгонах, торможениях, остановках на регулируемых пересечениях, и т.д.). Удельные пробеговые выбросы, приведенные в этих методиках, осреднены для типовых условий движения, и не позволяют учесть некоторые локальные варьирования некоторых характеристик транспортного потока (таких, как изменение числа маневров перестроения, разгона торможения, длины очереди на пересечениях), которые могут быть получены при использовании имитационной микромоделли (ПО PTVVISUM, AIMSUN, Paramics и т.д.).

4. Учет максимума расчетных категорий автотранспорта при разработке моделей транспортных потоков. Для достаточной точности расчета выбросов от автотранспорта необходимо располагать данными о средней длине поездки и средней скорости движения по каждой из расчетных категорий автотранспортных средств (АТС). Поэтому рекомендуется, чтобы используемая математическая модель транспортных потоков позволяла получить данные по типам АТС, максимально близким к расчетным категориям, используемым в методике расчета массы выбросов. Как минимум, модель должна позволять получить данные по легковым и грузовым АТС и автобусам; крайне желательно наличие в модели структуры парка по категориям, установленным ТР ТС 018/2011.

5. Учет внутрирайонных поездок при макро моделировании транспортных потоков на УДС поселения, городского округа. В случаях, когда зона транспортного влияния проекта охватывает значительную часть УДС поселения, для оценки измерения характеристик транспортных потоков будет использоваться макроскопическая математическая модель (как, например, модели, реализованные в ПО PTVVISUM, EMMЕ, CUBE и т.д.). Такая модель

предполагает зонирование территории на транспортные районы и определенный расчет параметров на основе матрицы корреспонденций между данными районами. При этом, часть передвижений, совершаемых внутри транспортных районов, выпадает из поля зрения модели. Чем крупнее выделяемые при моделировании транспортные районы, тем значительнее доля этих внутрирайонных поездок, и тем больше их потенциальный вклад в выбросы загрязняющих веществ автомобильным транспортом. Игнорирование этих поездок при расчетах может привести к занижению оценки массы выбросов; поэтому важно, чтобы в ходе разработки модели были определены доли и средние протяженности внутрирайонных поездок.

6. Наличие базового расчетного сценария моделирования, содержащего прогноз характеристик транспортных потоков для ситуации, когда оцениваемый проект не реализуется. Базовый сценарий необходим для учета «фоновых» изменений массы выбросов от транспортных потоков, которые обусловлены факторами, не связанными с реализацией проекта.

7. Наличие прогноза характеристик транспортных потоков (для базового и проектного сценариев) за каждый год периода, в течение которого оценивается эффективность инвестиционного проекта.

Выводы

1. Существенная роль при обосновании мероприятий по снижению выбросов парниковых газов автотранспортом для достижения углеродной нейтральности должна принадлежать транспортному моделированию, основанному на построении и анализе моделей мега-, мезо- и микро уровней, позволяющих уже на этапе проектирования учитывать реальное снижение выбросов парниковых газов в атмосферу.

2. Дан анализ подходов и моделей исследования транспортной ситуации при решении задач организации дорожного движения с целью снижения выбросов в атмосферу. Установлены основные факторы, влияющие на выбор

метода моделирования. Выявлены особенности моделирования альтернативных проектных решений. Сформулированы основные требования к результатам расчетов по математической модели транспортных потоков.

Литература

1. Мастепанов А.М. Россия на пути к углеродной нейтральности // Энергетическая политика. 2022. №1(167). С. 94-103.
2. Брызгина Е. О., Казьмин Д. М. Транспортное планирование в России: проблемы и пути решения // IV Международная научно-практическая конференция «Транспортное планирование и моделирование». СПб.: СПбГАСУ, 2019. С. 45-47.
3. Нагаева З.С., Межмединов А.А. Градостроительные модели индустриальной эпохи // Символ науки. 2015. №4. С. 240-246.
4. Kamruzzaman M., Baker D. and Turrell G. Do dissonants in transit oriented development adjust commuting travel behaviour? // European Journal of Transport and Infrastructure Research. 2015. 15(1). Pp. 66–77.
5. Гончарик А.А. Преобразование городской среды: опыт Москвы на примере города Дмитров //Инженерный вестник Дона, 2020, №6. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2020/6528/.
6. Потапова И.А., Бояршинова И.Н., Исмагилов Т.Р. Методы моделирования транспортного потока // FundamentalResearch. 2016. №10. С. 338-342.
7. Щеглов В.И. Организация и распределение транспортных потоков на основе математического моделирования//Инженерный вестник Дона, 2023, №7. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2023/8665/.
8. Пособие по расчету сокращения выбросов парниковых газов за счет проектов глобального экологического фонда в транспортной отрасли // Научно-технический консультативный совет. 2010. с.42.
9. Шемякин А.В., Терентьев В.В., Андреев К.П., Мартынушкин А.Б., Кирюшин И.Н. Анализ загрязнения окружающей среды автомобильным

транспортом // Воронежский научно-технический вестник. 2022. №2(40). С. 82-91.

10. Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Samaras, Z. (2009). COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model. In :Athanasiadis, I.N., Rizzoli, A.E., Mitkas, P.A., Gómez, J.M. (eds) Information Technologies in Environmental Engineering. Environmental Science and Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. URL: doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7_37.

11. Ntziachristos, L. et al. (2008). European database of vehicle stock for the calculation and forecast of pollutant and greenhouse gases emissions with TREMOVE and COPERT. Lab of Applied Thermodynamics 08.RE.0009.V2, Thessaloniki, Greece, p. 260.

References

1. Mastepanov A.M. E`nergeti-cheskaya politika. 2022. №1 (167). pp. 94-103.

2. Bryazgina E. O., Kaz`min D. M. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Transportnoe planirovanie i modelirovanie». SPb.: SPbGASU, 2019. pp. 45-47.

3. Nagaeva Z.S., Mezmedinov A.A. Simvol nauki. 2015. №4. pp. 240-246.

4. Kamruzzaman M., Baker D. and Turrell G. European Journal of Transport and Infrastructure Research. 2015. 15(1). Pp. 66–77

5. Goncharik A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №6. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2020/6528/.

6. Potapova I.A., Boyarshinova I.N., Ismagilov T.R. Fundamental Research. 2016. №10. pp. 338-342.

7. Shheglov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №7. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2023/8665/.

8. Posobie po raschetu sokrashheniya vy`brosov parnikovy`x gazov za schet proektov global'nogo e`kologicheskogo fonda v transportnoj otrasli [A Guide to Calculating Greenhouse Gas Emission Reductions from Global Environmental Facility Projects in the Transport Sector]. Nauchno-texnicheskij konsul'tativny`j sovet. 2010. p.42.

9. Shemyakin A.V., Terent`ev V.V., Andreev K.P., Marty`nushkin A.B., Kiryushin I.N Voronezhskij nauchno-texnicheskij vestnik. 2022. №2 (40). pp. 82-91.

10. Ntziachristos, L., Gkatzoflias, D., Kouridis, C., Samaras, Z. (2009). COPERT: A European Road Transport Emission Inventory Model. Athanasiadis, I.N., Rizzoli, A.E., Mitkas, P.A., Gómez, J.M. (eds) Information Technologies in Environmental Engineering. Environmental Science and Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg. URL: doi.org/10.1007/978-3-540-88351-7_37.

11. Ntziachristos, L. et al. (2008). European database of vehicle stock for the calculation and forecast of pollutant and greenhouse gases emissions with TREMOVE and COPERT. LabofAppliedThermodynamics 08.RE.0009.V2, Thessaloniki, Greece, p. 260.

Дата поступления: 10.08.2024

Дата публикации: 19.09.2024