

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОЛИЧЕСТВА И КОНЦЕНТРАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСИОННЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

В.Д. Шепелев[✉], shepelevvd@susu.ru
И.С. Слободин, slobodinis@yandex.ru
А.А. Бауэр, www.alexbauer2@mail.ru
К.И. Смирнов, kirill_smirnov2015@bk.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Транспортный сектор является одним из основных источников выбросов вредных веществ в атмосферу в крупных густонаселенных городах. Твердые частицы (PM) из выхлопных газов автомобилей оказывают сильное воздействие на здоровье человека. Для анализа выбросов выхлопных газов, создаваемых потоками транспортных средств, необходимо использовать специализированные модели выбросов, поскольку невозможно оснастить большую часть дорог специальными устройствами по их измерению. Используемые в настоящее время модели выбросов могут быть неадекватны по отношению к исследуемой конструкции транспортного средства (например, к гибридным транспортным средствам) или могут быть неточными из-за используемого макромасштабирования. В этой статье представлена модель непрерывного мониторинга взвешенных частиц PM_{2,5} от автотранспорта в режиме реального времени при текущем состоянии дорожного трафика и метеорологических условий. Эта модель построена на основе обучения сверточной нейронной сети YOLOv4, которая обеспечивает непрерывный сбор и наполнение базы больших данных о параметрах дорожного трафика с учетом особенностей транспортной инфраструктуры. На основе больших данных производится расчет концентрации взвешенных веществ в атмосфере и их рассеивание.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, нейронные сети, дорожный трафик, концентрация вредных веществ, транспортный поток

Для цитирования: Модель оценки количества и концентрации мелкодисперсионных выбросов вредных веществ от автотранспорта на основе нейросетевых алгоритмов / В.Д. Шепелев, И.С. Слободин, А.А. Бауэр, К.И. Смирнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2022. Т. 16, № 4. С. 186–196. DOI: 10.14529/em220419

Original article
DOI: 10.14529/em220419

A NEURAL-NETWORK-ALGORITHMS-BASED MODEL FOR ASSESSING THE QUANTITY AND CONCENTRATION OF FINE EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES FROM ROAD TRANSPORT

V.D. Shepelev[✉], shepelevvd@susu.ru
I.S. Slobodin, slobodinis@yandex.ru
A.A. Bauer, www.alexbauer2@mail.ru
K.I. Smirnov, kirill_smirnov2015@bk.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The transport sector is one of the main sources of emissions of harmful substances into the atmosphere in large densely populated cities. Solid particles (PM) from car exhaust gases have a strong impact on human health. To analyze exhaust emissions generated by vehicle flows, it is necessary to use

specialized emission models, since it is impossible to equip most of the roads with special devices for measuring those. The emission models currently used may be inadequate in relation to the vehicle design under study (for example, hybrid vehicles) or may be inaccurate due to the macro-scaling being used. This article presents a model of continuous monitoring of suspended PM_{2.5} particles from vehicles in real time under the current state of road traffic and meteorological conditions. This model is based on the training of the YOLOv4 convolutional neural network, which provides continuous collection and filling of the database of big data on traffic parameters, taking into account the characteristics of the transport infrastructure. Based on big data, the concentration of suspended substances in the atmosphere and their dispersion are calculated.

Keywords: intelligent transport systems, neural networks, road traffic, concentration of harmful substances, traffic flow

For citation: Shepelev V.D., Slobodin I.S., Bauer A.A., Smirnov K.I. A neural-network-algorithms-based model for assessing the quantity and concentration of fine emissions of harmful substances from road transport. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management*, 2022, vol. 16, no. 4, pp. 186–196. (In Russ.). DOI: 10.14529/em220419

Введение

В крупных городах транспортные средства (ТС) являются основным источником оксидов азота (NO_x), угарного газа (CO), двуокиси углерода (CO₂), углеводородов (HC), твердых частиц (ТЧ) и других токсичных веществ в воздухе (например, бензол, 1,3-бутадиен) в городских районах [1], что оказывает неблагоприятные последствия на здоровье людей. Чтобы понять эти воздействия, оценки воздействия должны отражать пространственные и временные закономерности, связанные с движением транспорта. В последнее время широко используются датчики и камеры наружного наблюдения для сбора данных о параметрах дорожного движения [2, 3], на основе которых и строятся карты распределения загрязнения воздуха.

Многочисленными исследованиями подтверждено, что большая часть вредных веществ (ВВ) от ТС выделяется при ускорении, замедлении и холостого хода на регулируемых перекрестках [4–8]. В работе [4] проведено моделирование выбросов на регулируемых перекрестках на основе данных об объеме трафика на определенном участке дороги и сформированы карты распределения выбросов, затем полученная модель запускается для сценария свободного проезда ТС перекрестка. В результате исследования выявлено, что внедрение оптимизации работы светофора на перекрестке позволяет на 10–15 % снизить концентрацию PM₁₀.

Различные типы перекрестков по-разному влияют на уровень загрязнения окружающей среды [6], поэтому планирование городской сети дорог необходимо тщательно проводить с учетом множества факторов: объем трафика движения, структура транспортного потока (ТП), наличие пешеходов и т. п. В исследовании [7] по оптимизации времени цикла работы светофора на перекрестке с целью снижения ВВ от ТП авторы установили, что временная схема каждого перекрестка должна гибко корректироваться в соответствии с

объемом трафика в разные периоды. При этом необходимо одновременно и оптимизировать инфраструктуру каждого перекрестка.

В исследовании влияния скорости движения ТП на качество воздуха авторы в работе [9] выявили, что при ограничении скорости до 80 км/ч качество воздуха (в отношении CO, NO_x и PM_{2.5}) улучшилось на 5–7 %.

Наиболее популярными моделями в Европе и США для исследования выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в городах являются: Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport (COPERT) и (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model (PHEM) [8]. В основе COPERT – средняя скорость ТП в условиях свободного движения, а PHEM основана на кинематике ТС. Подход со средней скоростью в условиях свободного потока имеет тенденцию завышать количество выбросов, а при перегруженности, напротив, имеется тенденция недооценивать количество выбросов, так как не учитываются последствия заторов. Основываясь на методике COPERT, исследователи в [10] при анализе полученных данных пришли к выводу, что на результаты концентрации ВВ от АТ значительно оказывают влияние состояние воздуха в конкретный момент измерения: его влажность, температура, скорость и направление.

В условиях городской среды, где присутствует плотная застройка высотных зданий, образующая каньоны, рассеивание ВВ происходит совсем иначе, чем на открытых магистралях [11, 12]. Движущиеся ТС создают свой поток воздуха, который совместно с турбулентностью ветра достигает высоты от 7 до 12 м в уличном каньоне, что непременно влияет на рассеивание ВВ [13, 14].

Любая модель по подсчету концентрации и рассеивания ВВ от АТ основывается на данных параметров ТП, который характеризуется стохастичностью и непостоянством во времени и пространстве. Поэтому модель, основанная на данных,

полученных в реальном режиме времени, способна более корректно отражать ситуацию по состоянию качества воздуха в определенном месте и времени.

Современные камеры уличного наблюдения способны не только фиксировать нарушение ПДД, но и с помощью обученных нейронных сетей распознавать тип ТС, вычислять его текущую скорость.

В данном исследовании предлагается модель в задаче качественного и полного сбора данных по количеству выбросов от ТП на основе использования нейросетевых алгоритмов, учитывающих воздействие множества непредсказуемых факторов с учетом конструктивных особенностей улично-дорожной сети.

Теория и методы

На начальном этапе исследования необходимо определить, какие исходные данные будут использованы и с помощью каких методов они будут собраны. Затем полученные данные обрабатываются с использованием статистических методов обработки информации и производится интерпретация полученных результатов применительно к оценке выбросов загрязняющих веществ.

Важным компонентом проектирования качества воздуха на городских улицах является количественная оценка выбросов от дорожного трафика, зависящая от количества и типа транспортных средств и их динамических показателей (скорости). В соответствии с утвержденными стандартами [15, 16], выбросы от дорожного трафика в первую очередь определяет количество транспортных средств. Поэтому на начальном этапе необходимо собрать данные об интенсивности движения ТП на определенном участке дороги.

С целью сбора потока данных использованы уличные камеры видеонаблюдения со свободным доступом [17].

Для сбора качественных данных о параметрах дорожного движения в режиме реального времени, таких как количество, скорость и время простоя транспортных средств, мы обучили и модифицировали сверточную нейронную сеть YOLOv4 [18, 19]. На рис. 1 показаны фрагменты обнаружения и отслеживания мобильных объектов нейронной сетью YOLOv4 с камер уличного видеонаблюдения.

Экранные координаты объекта переводятся в географические с помощью матрицы перспективного преобразования. Полученные географические координаты (широта и долгота) одного и того же объекта в текущем и предыдущем кадре, а также время между кадрами используются для определения пройденного расстояния. Используя это расстояние и время между кадрами, можно вычислить скорость объекта. Привязка экранных координат к различным категориям транспортных средств показана на рис. 2.

Методика вычисления количества выбросов

Для вычисления количества газообразных выбросов от автотранспортных потоков применяются методики из ГОСТа Р56162-2019 [15] и Приказа Минприроды России от 27.11.2019 № 804 [16].

Выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями конкретного направления движения в районе перекрестка при запрещающих движение сигналах светофора за 20-минутный период вычисляется по формуле:

$$M_{\Pi_i}^3 = \frac{P_{\Pi}}{60} \cdot \sum_1^{N_{\Pi}} \sum_1^k (M'_{\Pi_i,k} \cdot G_{k\Pi}), \quad (1)$$

где P_{Π} – продолжительность действия запрещающего движение сигнала светофора (включая желтый цвет) в течение 20 мин, с; N_{Π} – количество циклов действия запрещающего движение сигнала светофора за 20-минутный период времени; $M'_{\Pi_i,k}$ – удельный выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями k -й группы, находящихся в очереди у запрещающего движение сигнала светофора, г/мин; $G_{k\Pi}$ – количество автомобилей k -й группы, находящихся в очереди в районе перекрестка в конце каждого цикла действия запрещающего движение сигнала светофора.

Выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями конкретного направления движения в районе перекрестка при разрешающих движение сигналах светофора за 20-минутный период вычисляется по формуле:

$$M_{L_i}^P = L^{\Pi} \sum_1^{N'_i} \sum_1^k M^L_{k,i} \cdot G_{k_p} \cdot r_{V_{k,i}},$$

где L^{Π} – расстояние, проходимое автотранспортом в одном направлении при разрешающих движение светофора в течение 20 мин, включающее в себя длину очереди автомобилей, образуемой при запрещающем движение сигнале светофора, и длину соответствующей зоны перекрестка, км; N'_i – количество циклов работы разрешающего движение сигнала светофора в течение 20 минут; k – число групп автомобилей; P_{Π} – продолжительность действия запрещающего движение сигнала светофора (включая желтый цвет) в течение 20 мин, с; $M^L_{k,i}$ – удельный пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями k -й группы, г/мин; G_{k_p} – количество автомобилей каждой k -й группы, проходящих через зону перекрестка в одном направлении при разрешающем движение сигнале светофора; $r_{V_{k,i}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения потока автотранспортных средств $V_{k,i}$ (км/ч) на конкретной автомобильной дороге (или ее участке).

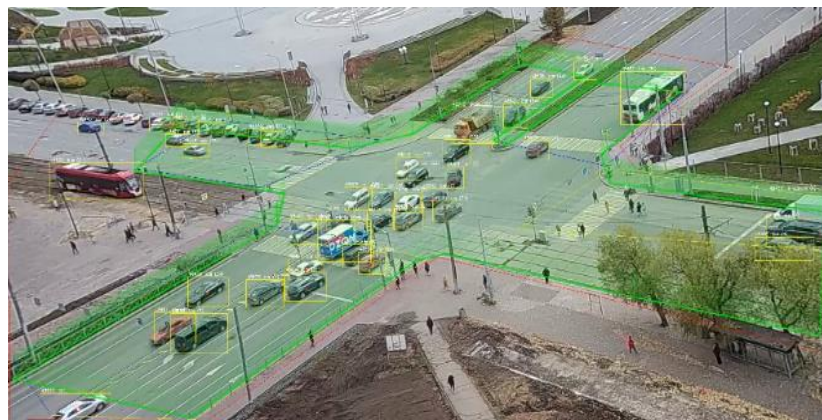


Рис. 1. Сбор данных о параметрах транспортных потоков с применением нейронной сети YOLOv4 [17]



Рис. 2. Координатная привязка и определение категории автотранспорта для нейронной сети [17]

Итоговое количество выбросов (в г/с) i -го загрязняющего вещества автомобилями конкретного направления движения в районе перекрестка за 20-минутный период вычисляется как сумма количества выбросов при разрешающих и запрещающих движениях сигналах светофора, деленная на 1200 (количество секунд в 20-минутном периоде).

Применяемые методики учитывают выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта только из выхлопных труб. В странах ЕС применяется методика расчета выбросов от транспортных средств – «COPERT» [8]. В ней учитывается количество ТС, пробег, скорость и другие данные, такие как температура окружающей среды. Данная

методика рассчитывает выбросы взвешенных частиц с учетом влияния износа дорожного покрытия, тормозных колодок и шин.

Для определения выбросов взвешенных частиц (PM2.5 и PM10) были использованы удельные пробеговые коэффициенты по методике «COPERT».

В методике используются коэффициенты для 3-х типов ТС:

- I – пассажирские ТС;
- II – ТС, грузоподъемностью до 3,5 тонн;
- III – ТС большой грузоподъемности (свыше 3,5 тонн).

Принятые удельные пробеговые коэффициенты из методики «COPERT» приведены (согласно грузоподъемности ТС) к 5-ти типам (см. таблицу).

Методика вычисления концентрации

По методике из Приказа Минприроды России от 6.06.2017 №273 (ОНД-86) [20] максимальная приземная разовая концентрация загрязняющих веществ (мг/м³), при выбросе ГВС из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при опасной скорости ветра u (м) на расстоянии x (м) от источника выброса и определяется по формуле:

$$C_M = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (2)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, определяющий условия горизонтального и вертикального рассеивания ЗВ в атмосферном воздухе; M – масса ЗВ, выбрасываемого в атмосферный воздух в единицу времени (мощность выброса), г/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания ЗВ (газообразных и аэрозолей, включая твердые частицы) в атмосферном воздухе; m и n – вычисляемые безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выброса из устья источника выброса; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности и городской застройки;

ки; H – высота источника выброса, м; V_1 – расход ГВС, м³/с; ΔT – разность между температурой, выбрасываемой ГВС и температурой атмосферного воздуха.

Для вычисления максимальной приземной концентрации при заданной скорости ветра u применяется формула:

$$r = 0,67 \cdot \frac{u}{u_m} + 1,67 \cdot \left(\frac{u}{u_m}\right)^2 - 1,34 \cdot \left(\frac{u}{u_m}\right)^3 \text{ при } \frac{u}{u_m} \leq 1,$$

$$r = \frac{3 \cdot (u/u_m)}{2 \cdot (u/u_m)^2 - u/u_m + 2} \text{ при } \frac{u}{u_m} > 1.$$

Для вычисления количества выбросов и концентрации от одного автомобиля траектория движения этого автомобиля разбивается на промежутки по 5 секунд (рис. 3).

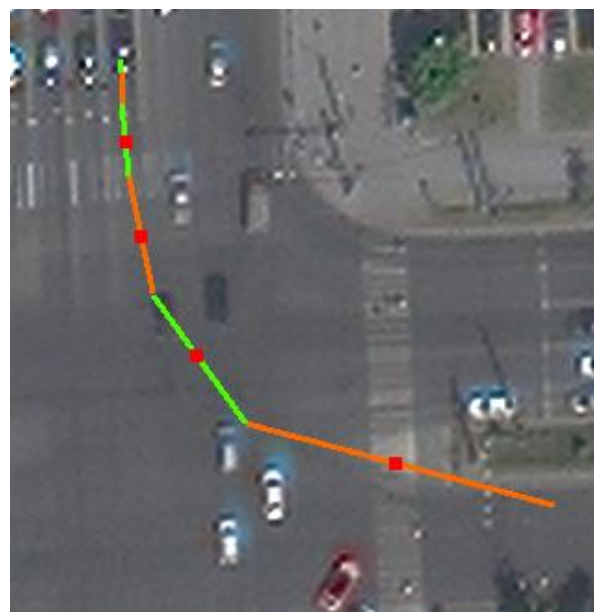


Рис. 3. Траектория движения ТС (с разбивкой по 5 с) [17]

Удельные пробеговые коэффициенты по типам ТС, г/км

Тип ТС	Тип ТС по COPERT	PM2.5			PM10		
		износ тормозных колодок	износ шин	износ дорожного покрытия	износ тормозных колодок	износ шин	износ дорожного покрытия
I	I	0,00293	0,00449	0,00405	0,00735	0,00642	0,00750
II	II	0,00456	0,00710	0,00405	0,01147	0,01014	0,00750
III	III	0,01277	0,01887	0,02052	0,03209	0,02696	0,03800
IV	III	0,01277	0,01887	0,02052	0,03209	0,02696	0,03800
V	III	0,01277	0,01887	0,02052	0,03209	0,02696	0,03800

В качестве центра источника выбросов выбирается центр каждого промежутка. В том числе учитываются интервалы времени, когда автомобиль стоит на светофоре. Вычисление происходит в режиме реального времени и у каждого ТС есть очередь кадров, в которую добавляется информация о времени кадра, текущей скорости и местоположении ТС каждый раз, когда этот оно было обнаружено нейронной сетью. Как только разница во времени между первым и последним кадром превысила 5 секунд, на основе всей очереди строится траектория движения и выполняется вычисление количества и концентрации выбросов с координатной привязкой к местности, а очередь очищается и заполняется заново. Такой метод деления обеспечивает необходимую точность для вычисления выбросов и концентрации в режиме реального времени. Данные по температуре воздуха, скорости и направлению ветра получают из открытого источника OpenWeather [21].

Для вычисления концентрации и распределения выбросов на регулируемом пересечении дорог перекресток разбивается на сетку областей (20×20 квадратов) размером по 400 кв. метров (20×20 метров каждый). Затем от каждого последнего неучтенного интервала движения каждого ТС вычисляется концентрация в каждой из областей. В качестве источника ГВС берется середина интервала движения. Вычисленная концентрация не

сразу учитывается в областях, а только спустя время, в течение которого облако выбросов дойдет до них. На рис. 4 представлена визуализация распределения концентрации по перекрестку с учетом ветра для СО. Максимальная приземная концентрация ЗВ на всем перекрестке вычисляется как максимальное значение концентраций ЗВ среди всех областей.

С целью проверки достоверности проведенных вычислений концентрации выбросов в режиме реального времени были одновременно проведены измерения выбросов цифровым и инструментальными методами. Лабораторные исследования проведены с помощью лицензированной лаборатории ОГКУ «Центр экологического мониторинга Челябинской области» (ЦЭМ) с применением анализатора пыли модели DustTrack 8533 (рис. 5).

Данные результатов измерения концентрации выбросов на перекрестке в г. Челябинск с применением передвижной лаборатории ЦЭМ и разработанной модели, реализованной в цифровой системе мониторинга AIMS Eco [22] представлены на рис. 6.

Как видно из рис. 6, за два дня наблюдений (19.10 и 08.12) показатели концентрации очень близки или совпадают. Также на данные с анализатора может повлиять и резкое изменение метеорологических условий.

Таким образом, реализация предложенной рас-

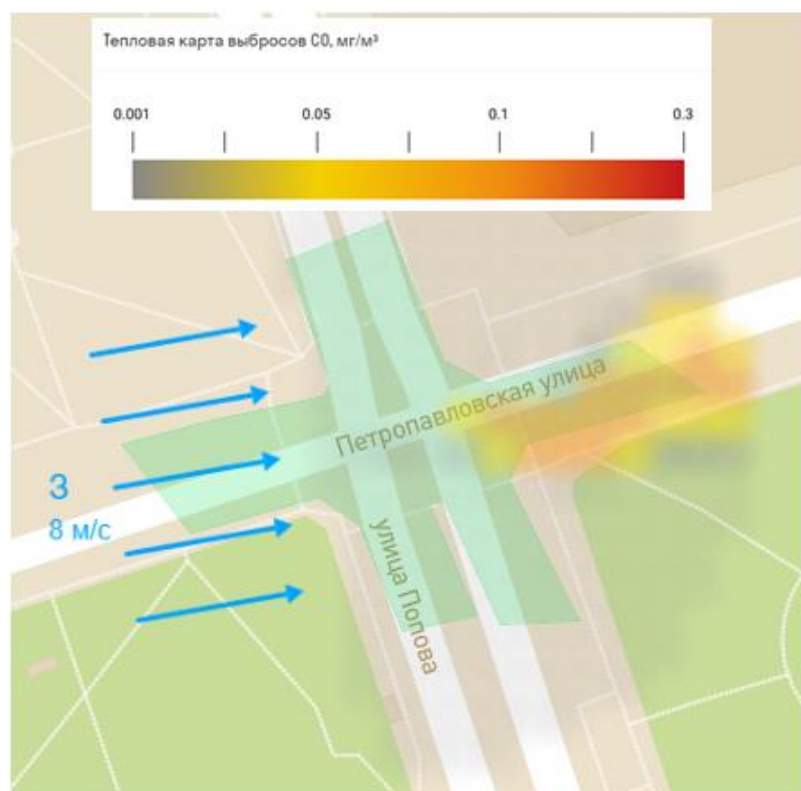


Рис. 4. Расчетная концентрация CO в каждой области измерения [17]

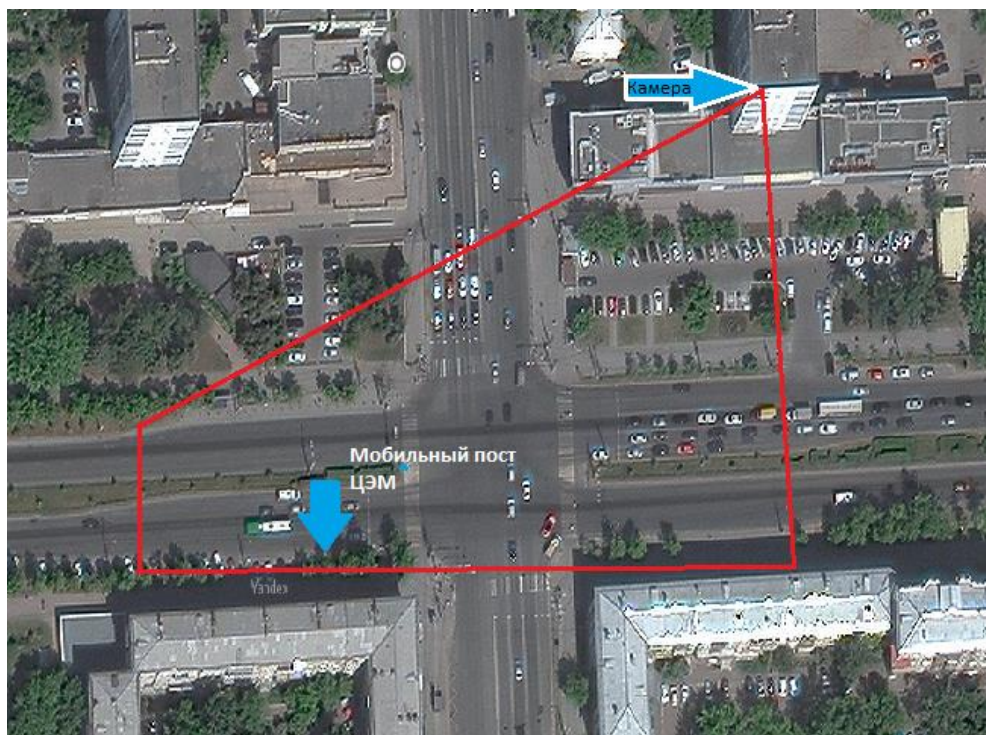


Рис. 5. Расположение мобильного и цифрового постов измерения (г. Челябинск, перекресток: пр. Ленина – ул. Энгельса) [17]

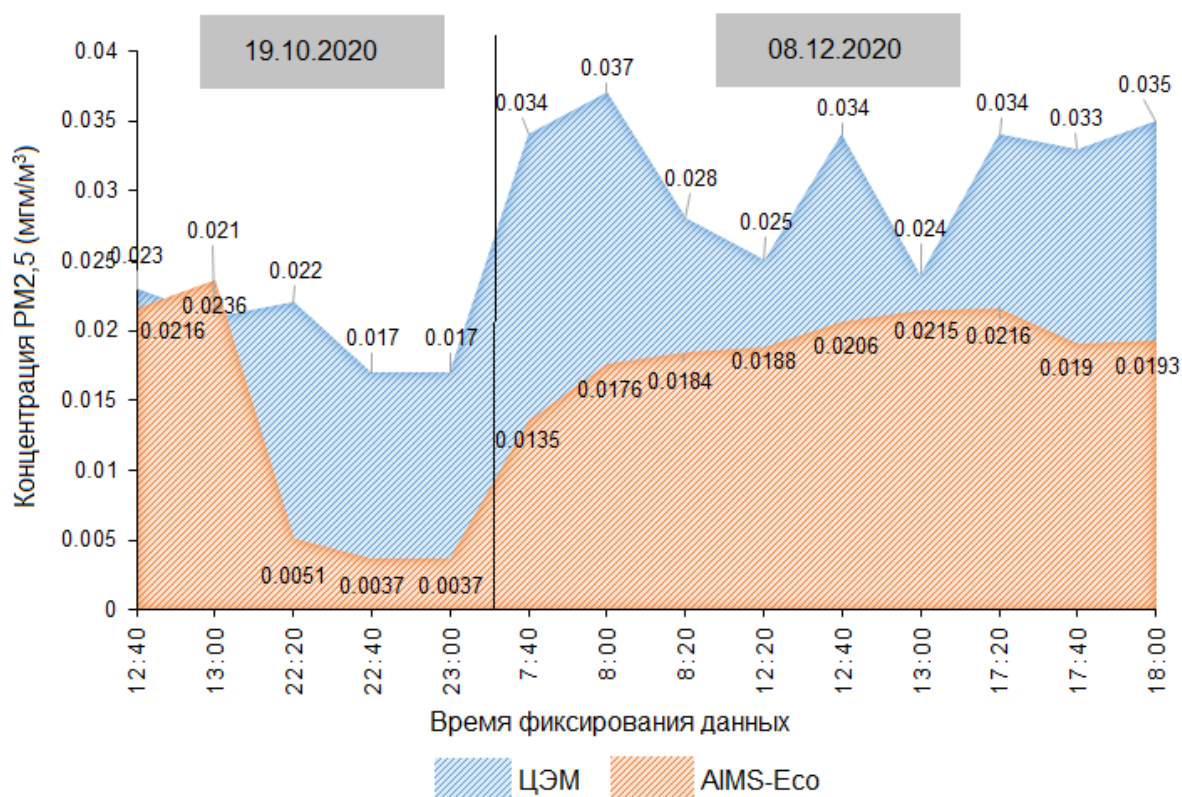


Рис. 6. Графическое сравнение концентрации выбросов взвешенных частиц PM2,5 (пр. Ленина – ул. Энгельса)

чётной модели с применением нейросетевых алгоритмов обеспечивает высокое приближение результатов расчёта к приборным тестовым измерениям выбросов государственными центрами экологического мониторинга. Переход на непрерывный сбор и анализ данных по концентрации выбросов от автотранспорта позволит интеллектуальным транспортным системам воздействовать на дорожный трафик в задачах снижения негативного воздействия транспорта на качество атмосферного воздуха.

Обсуждение

В данной работе на основе обработки видеопотоков с камер уличного видеонаблюдения разработан подход к созданию единой городской системы экологического мониторинга концентраций выбросов загрязняющих веществ от транспортных потоков. Это позволит в будущем повысить эффективность управленческих решений по улучшению качества воздуха в крупных городах. Для расчёта количества этих выбросов разработана полная математическая модель оценки концентраций выбросов, учитывающая произвольную скорость движения транспортных потоков. При использовании предложенной математической модели в разы снижаются требования к вычислительной мощности серверов, что позволит быстро развернуть цифровые посты экологического контроля на всех магистралях городов. Кроме того, такой подход является более точным к действительности по отношению к используемым расчётным моделям и применяемым станциям экологического монито-

ринга. В данном исследовании представлены предварительные результаты разработанной системы, построенной на основе синтеза инструментального и расчетных методов. Мы планируем дальнейшее совершенствование модели в задачах повышения точности измерения с учетом влияния метеорологических факторов и динамических параметров транспортных потоков.

Заключение

Целью представленного исследования была разработка математической модели по точной оценке количества и концентраций мелкодисперсионных выбросов в режиме реального времени от автотранспорта на улично-дорожной сети городов. В первом модуле мы обучили и оптимизировали нейронную сеть YOLOv4 в задаче классификации и точного измерения динамических параметров транспортных средств. Каждое транспортное средство было рассмотрено с позиции мобильного источника выбросов, которое формирует выбросы с различной интенсивностью на размеченных участках дороги. Подход, основанный на непрерывном отслеживании координат и интенсивности количества выбросов от мобильного источника с учетом метеорологических факторов, позволяет значительно повысить точность оценки максимальных приземных концентраций взвешенных частиц. Представленная методика позволяет осуществить качественный переход от физических средств измерения выбросов на более эффективные цифровые решения, позволяющие управлять экологическими рисками, связанными с дорожным движением.

Список литературы

1. Fruin S., Westerdahl D., Sax T., Sioutas C., Fine P.M. Measurements and predictors of on-road ultrafine particle concentrations and associated pollutants in Los Angeles // *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42. Issue 2. P. 207–219. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.057
2. Khazukov K., Shepelev V., Karpeta T., Shabiev S., Slobodin I., Charbadze I., Alferova I. Real-time Monitoring of Traffic Parameters // *Journal of Big Data*. 2020. Vol. 7. Issue 1. No. 84. DOI: 10.1186/s40537-020-00358-x
3. Barth V.B. de O., Oliveira R., de Oliveira M.A., Nascimento V.E. Vehicle speed monitoring using convolutional neural networks // *IEEE Latin America Transactions*. 2019. Vol. 17. Issue 06. P. 1000–1008.
4. Zeydan Ö., Öztürk E. Modeling of PM10 emissions from motor vehicles at signalized intersections and cumulative model validation // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. Vol. 193. Issue 9. DOI: 10.1007/s10661-021-09410-6
5. Li J., Wu G., Zou N. Investigation of the impacts of signal timing on vehicle emissions at an isolated intersection // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2011. Vol. 16. Issue 5. P. 409–414. DOI: 10.1016/j.trd.2011.03.004
6. Šarić A., Albinović S., Krnjić A., Pozder M., Sulejmanović S., Ljevo Ž. Environmental impact of different types of intersections in urban areas // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 316. P. 374–386. DOI: 10.1007/978-3-030-90055-7_30
7. Zhao H., He R., Jia X. Estimation and analysis of vehicle exhaust emissions at signalized intersections using a car-following model // *Sustainability (Switzerland)*. 2019. Vol. 11. Issue 14. DOI: 10.3390/su11143992
8. Lejri D., Can A., Schiper N., Leclercq L. Accounting for traffic speed dynamics when calculating COPERT and PHEM pollutant emissions at the urban scale // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2018. Vol. 63. P. 588–603. DOI: 10.1016/j.trd.2018.06.023

9. Baldasano J.M., Gonçalves M., Soret A., Jiménez-Guerrero P. Air pollution impacts of speed limitation measures in large cities: The need for improving traffic data in a metropolitan area // *Atmospheric Environment*. 2010. Vol. 44. P. 2997–3006. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.05.013
10. Spyropoulos G.C., Nastos P.T., Moustris K.P., Chalvatzis K.J. Transportation and air quality perspectives and projections in a mediterranean country, the case of Greece // *Land*. 2022. Vol. 11. DOI: 10.3390/land11020152
11. Zheng X., Yang J. CFD simulations of wind flow and pollutant dispersion in a street canyon with traffic flow: Comparison between RANS and LES // *Sustainable Cities and Society*. 2021. Vol. 75. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103307.
12. Zhang Y., Gu Z., Yu C.W. Large eddy simulation of vehicle induced turbulence in an urban street canyon with a new dynamically vehicle-tracking scheme // *Aerosol and Air Quality Research*. 2017. Vol.17. Issue 3. P. 865–874. DOI: 10.4209/aaqr.2016.05.0204
13. Qin Y., Kot S.C. Dispersion of vehicular emission in street canyons, Guangzhou City, South China (P.R.C.) // *Atmospheric Environment*. 1993. Vol. 27. P. 283–291.
14. Pospisil J., Jicha M. Numerical modelling of transient dispersion of air pollution in perpendicular urban street intersection with detail inclusion of traffic dynamics // *International Journal of Environment and Pollution*. 2019. Vol. 65. P. 71–83. DOI: 10.1504/IJEP.2019.101834.
15. ГОСТ Р 56162-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 17.09.2019 № 694-ст).
16. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27 ноября 2019 г. № 804 «Об утверждении методики определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха».
17. Видеонаблюдение в г. Челябинск. URL: <https://cams.is74.ru/live> (дата обращения 20.09.2022 г.)
18. Li F., Gao D., Yang Y., Zhu J. Small target deep convolution recognition algorithm based on improved YOLOv4 // *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*. 2022. DOI: 10.1007/s13042-021-01496-1
19. Shreyas Dixit K.G., Chadaga M.G., Savalgimath S.S., Ragavendra Rakshith G., Naveen Kumar M.R. Evaluation and evolution of object detection techniques YOLO and R-CNN // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8. Issue 3. P. 824–829.
20. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 6 июня 2017 года № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе».
21. Weather forecasts, nowcasts and history in a fast and elegant way. URL: <https://openweathermap.org/>
22. Государственная регистрация программы для ЭВМ № 2021616978 от 04.05.2021 «Интеллектуальная система мониторинга количества выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта в режиме реального времени (AIMS-Eco)». URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/PrEVM/RUNWPR/000/002/021/616/978/2021616978-00001/DOCUMENT.PDF>

References

1. Fruin S., Westerdahl D., Sax T., Sioutas C., Fine P. M. Measurements and Predictors of On-Road Ultrafine Particle Concentrations and Associated Pollutants in Los Angeles. *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, issue 2, pp. 207–219. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.09.057
2. Khazukov K., Shepelev V., Karpeta T., Shabiev S., Slobodin I., Charbadze I., Alferova I. Real-time Monitoring of Traffic Parameters. *Journal of Big Data*, 2020, vol. 7, issue 1, no. 84. DOI: 10.1186/s40537-020-00358-x
3. Barth V.B. de O., Oliveira R., de Oliveira M.A., Nascimento V.E. Vehicle Speed Monitoring Using Convolutional Neural Networks. *IEEE Latin America Transactions*, 2019, vol. 17, issue 06, pp. 1000–1008.
4. Zeydan Ö., Öztürk E. Modeling of PM10 Emissions from Motor Vehicles at Signalized Intersections and Cumulative Model Validation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. Vol. 193. Issue 9. DOI: 10.1007/s10661-021-09410-6
5. Li J., Wu G., Zou N. Investigation of the Impacts of Signal Timing On Vehicle Emissions at an Isolated Intersection. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2011, vol. 16, issue 5, pp. 409–414. DOI: 10.1016/j.trd.2011.03.004
6. Šarić A., Albinović S., Krnjić A., Pozder M., Sulejmanović S., Ljevo Ž. Environmental Impact of Different Types of Intersections in Urban Areas. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 2022, vol. 316, pp. 374–386. DOI: 10.1007/978-3-030-90055-7_30
7. Zhao H., He R., Jia X. Estimation and Analysis of Vehicle Exhaust Emissions at Signalized Intersections Using a Car-Following Model. *Sustainability (Switzerland)*, 2019, vol. 11, issue 14. DOI: 10.3390/su11143992

8. Lejri D., Can A., Schiper N., Leclercq L. Accounting for Traffic Speed Dynamics when Calculating COPERT and PHEM Pollutant Emissions at the Urban Scale. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2018, vol. 63, pp. 588–603. DOI: 10.1016/j.trd.2018.06.023
9. Baldasano J.M., Gonçalves M., Soret A., Jiménez-Guerrero P. Air Pollution Impacts of Speed Limitation Measures in Large Cities: The Need for Improving Traffic Data in a Metropolitan Area. *Atmospheric Environment*, 2010, vol. 44, pp. 2997–3006. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.05.013
10. Spyropoulos G.C., Nastos P.T., Moustris K.P., Chalvatzis K.J. Transportation and Air Quality Perspectives and Projections in a Mediterranean Country, the Case of Greece. *Land*, 2022, vol. 11. DOI: 10.3390/land11020152
11. Zheng X., Yang J. CFD Simulations of Wind Flow and Pollutant Dispersion in a Street Canyon with Traffic Flow: Comparison between RANS and LES. *Sustainable Cities and Society*, 2021, vol. 75. DOI: 10.1016/j.scs.2021.103307.
12. Zhang Y., Gu Z., Yu C.W. Large Eddy Simulation of Vehicle Induced Turbulence in an Urban Street Canyon with a New Dynamically Vehicle-Tracking Scheme. *Aerosol and Air Quality Research*, 2017, vol.17, issue 3, pp. 865–874. DOI: 10.4209/aaqr.2016.05.0204.
13. Qin Y., Kot S.C. Dispersion of Vehicular Emission in Street Canyons, Guangzhou City, South China (P.R.C.). *Atmospheric Environment*, 1993, vol. 27, pp. 283–291.
14. Pospisil J., Jicha M. Numerical Modelling of Transient Dispersion of Air Pollution in Perpendicular Urban Street Intersection with Detail Inclusion of Traffic Dynamics. *International Journal of Environment and Pollution*, 2019, vol. 65, pp. 71–83. DOI: 10.1504/IJEP.2019.101834.
15. GOST R 56162-2019. *Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu. Metod rascheta kolichestva vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu potokami avtotransportnykh sredstv na avtomobil'nykh dorogakh raznoy kategorii* [GOST R 56162-2019 “Emissions of pollutants into the atmosphere”. Method for calculating the amount of emissions of pollutants into the atmosphere by flows of motor vehicles on highways of different categories]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200167788> (accessed 12 September 2022).
16. *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 27 noyabrya 2019 g. № 804 «Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferyy vozdukh ot peredvizhnykh istochnikov dlya provedeniya svodnykh raschetov zagryazneniya atmosfernogo vozdukha»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 804 dated November 27, 2019 “On approval of the Methodology for determining emissions of pollutants into the atmospheric air from mobile sources for conducting summary calculations of atmospheric air pollution”]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73240708/> (accessed 10 September 2022).
17. *Videonablyudeniye v g. Chelyabinsk* [Video surveillance (Chelyabinsk)]. URL: <https://cams.is74.ru/live>. (accessed 7 September 2022.)
18. Li F., Gao D., Yang Y., Zhu J. Small Target Deep Convolution Recognition Algorithm Based on Improved YOLOv4. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2022. DOI: 10.1007/s13042-021-01496-1
19. Shreyas Dixit K.G., Chadaga M.G., Savalgimath S.S., Ragavendra Rakshith G., Naveen Kumar M.R. Evaluation and evolution of object detection techniques YOLO and R-CNN. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2019, vol. 8, issue 3, pp. 824–829.
20. *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii RF ot 6 iyunya 2017 goda № 273 «Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernom vozdukh»* [Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation No. 273 dated June 6, 2017 “On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in atmospheric air”].
21. *Weather forecasts, nowcasts and history in a fast and elegant way*. URL: <https://openweathermap.org/> (accessed 30 August 2022.)
22. *Gosudarstvennaya registratsiya programmy dlya EVM № 2021616978 ot 04.05.2021 «Intellektual'naya sistema monitoringa kolichestva vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot avtotransporta v rezhime real'nogo vremeni (AIMS-Eco)»* [State registration of the computer program No. 2021616978 dated 05/04/2021 “Intelligent system for monitoring the amount of emissions of pollutants from vehicles in real time (AIMS-Eco)”]. URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/PrEVM/RUNWPR/000/002/021/616/978/2021616978-00001/DOCUMENT.PDF> (accessed 20 September 2022.)

Информация об авторах

Шепелёв Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, shepelevvd@susu.ru

Слободин Иван Сергеевич, аспирант кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, slobodinis@yandex.ru

Бауэр Александр Александрович, студент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, www.alexbauer2@mail.ru

Смирнов Кирилл Игоревич, студент кафедры «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия, kirill_smirnov2015@bk.ru

Information about the authors

Vladimir D. Shepelev, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Automotive Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, shepelevvd@susu.ru

Ivan S. Slobodin, postgraduate of the Department of Automotive Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, slobodinis@yandex.ru

Aleksandr A. Bauer, student of the Department of Automotive Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, www.alexbauer2@mail.ru

Kirill I. Smirnov, student of the Department of Automotive Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia, kirill_smirnov2015@bk.ru

Статья поступила в редакцию 28.10.2022

The article was submitted 28.10.2022