

УДК 004.9:656.13

DOI 10.52928/2070-1616-2023-47-1-49-53

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТА  
НА ЭКОСИСТЕМЫ ГОРОДОВ И НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ****О.В. БАЗАРЕВИЧ, д-р техн. наук, доц. Д.В. КАПСКИЙ**  
(Белорусский национальный технический университет, Минск)

Дан краткий обзор моделей прогнозирования экологического воздействия транспорта на экосистему городов. Представлены результаты разработки программного продукта по расчету выбросов от автомобильного транспорта по методике Белорусского национального технического университета. Моделирование осуществляется с помощью GPS-треков. А также приведены результаты визуализации применения методики для оценки экологических потерь в дорожном движении в Минске и наложения на карту конкретного участка уличной сети.

**Ключевые слова:** экосистема, город, экологическое воздействие, моделирование, GPS-трек, дорожный транспорт.

**Введение.** Как известно, города являются центрами экологических проблем. На фоне очевидных преимуществ развития разветвленной транспортной сети урбанизированных территорий проявляется рост ее негативного воздействия на окружающую среду: многократное превышение нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и повышенный уровень шума, особенно вблизи магистралей<sup>1</sup> [1]. Анализ литературы по вопросу загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом показывает, что отсутствие единой методики расчетов вызывает трудности в оценке вреда, наносимого окружающей среде. Чтобы оценить такое воздействие и разработать мероприятия по его снижению, необходимо создать пригодное для практического использования программное средство, которое повысит наглядность, точность и скорость работы с данными. После сравнения множества моделей, используемых в данной сфере, в качестве базовой принята модель, разработанная в БНТУ, имеющая аналог за рубежом в виде COPERT<sup>2, 3, 4</sup> [1]. Кроме того, существует необходимость постоянного совершенствования и автоматизирования элементов САПР дорожного движения, которые в комплексе приведут к полной автоматизации процессов оценки.

**Основная часть.** Краткий анализ подходов к оценке вреда от выбросов автомобильным транспортом в городах. Проводить инвентаризацию выбросов от автомобильного транспорта можно различными способами. Информация о выбросах может быть получена либо путем непосредственного мониторинга качества воздуха, либо путем оценки объема потребляемого топлива или произведенных транспортных операций (например, пройденного расстояния или совершенной транспортной работы). Все подходы могут быть сгруппированы в две категории: сверху-вниз (нисходящий) и снизу-вверх (восходящий).

Нисходящий подход основан на учете общего потребления топлива транспортом (например, информация может быть получена из данных о продаже топлива) и прямом мониторинге транспортных выбросов (например, посредством мониторинга качества воздуха на исследуемой территории)<sup>5, 6, 7</sup>.

Восходящий – на транспортной деятельности (например, авт.×км, т-км, т.е. с использованием предельной транспортной работы)<sup>1, 8</sup> [2; 3].

Выбор программных средств и архитектуры для создания ПО. Важным при создании программного продукта являются выбор состава системы и обоснование варианта программных средств<sup>3, 9</sup> [4]. Актуальный

<sup>1</sup> INFRAS (2004). Handbook of Emission Factors for Road Transport, Version INFRAS, Berne, Switzerland. – 2004.

<sup>2</sup> ТКП 17.08-03-2006 (02120). Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах. – Минск: Минприроды, 2006. – 23 с.

<sup>3</sup> Создание «транспортной экологической» карты населенных пунктов / Д.В. Капский, О.В. Базаревич, В.Н. Кузьменко и др. / Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сб. материалов II Национал. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 283–289.

<sup>4</sup> Свидетельство № 222 от 17.09.10 г. о регистрации компьютерных программ в Национальном центре интеллектуальной собственности // Д.В. Капский, Д.В. Мозалевский, М.К. Мирошник, А.В. Коржова, В.Н. Кузьменко, А.С. Полховская, Е.Н. Костюкович.

<sup>5</sup> European Commission. JRC Reference Reports: European Guide on Air Pollution Sources Apportionment with Receptor Models. European Commission, Joint Research Centre. Luxembourg: European Union. DOI: 10.2788/9307

<sup>6</sup> Technical Guideline of Air PM Source Apportionment Techniques (Trial Version). Beijing: Ministry of Environmental Protection (PRC). URL: [http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820\\_257699.htm](http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201308/t20130820_257699.htm)

<sup>7</sup> IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

<sup>8</sup> Ntziachristos L., Samaras Z. COPERT III. Computer program to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1). Technical Report No. 49. European Environment Agency, Copenhagen. – 2000. URL: [https://www.eea.europa.eu/publications/Technical\\_report\\_No\\_50/file](https://www.eea.europa.eu/publications/Technical_report_No_50/file)

<sup>9</sup> Капский Д.В., Базаревич О.В. Программа расчета объемов выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XXV Междунар. (XXV Екатеринбург.) науч.-практ. конф. / Екатеринбург (16–17 июня 2019 г.). – С. 176–181.

набор серверного и десктопного программного обеспечения, с помощью которого можно создать удобное рабочее окружение, представляет собой операционная система Ubuntu, обеспечивающая большую производительность в сравнении с Windows (Ubuntu более экономно расходовал ресурсы ОЗУ и ЦПУ). По причине доступности и стабильности данной СУБД выбор был остановлен на PostgreSQL версии 9.6 (pgadmin4 2.0) (рисунок 1). Также выбрано расширение для базы данных PostGIS, которое осуществляет поддержку географических объектов в СУБД. Наличие интерфейса стало ключевым в выборе GeoServer 2.13 в качестве сервера для обработки геоданных.

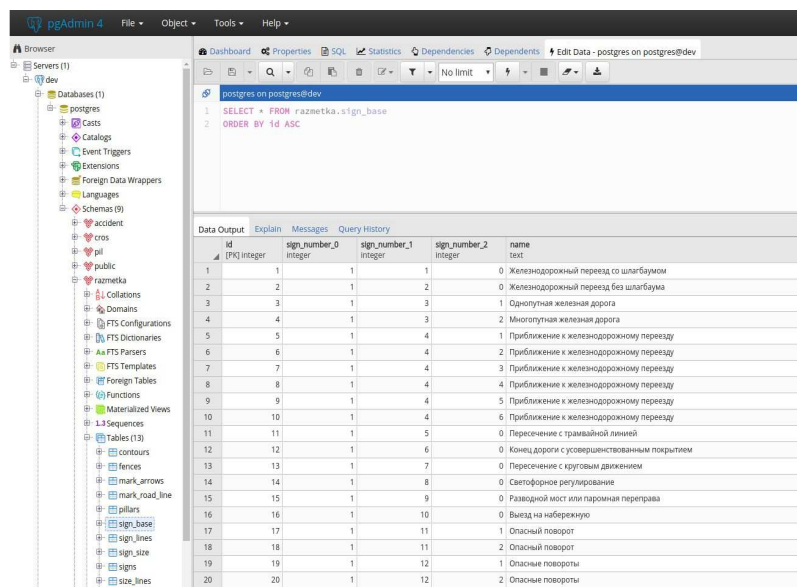
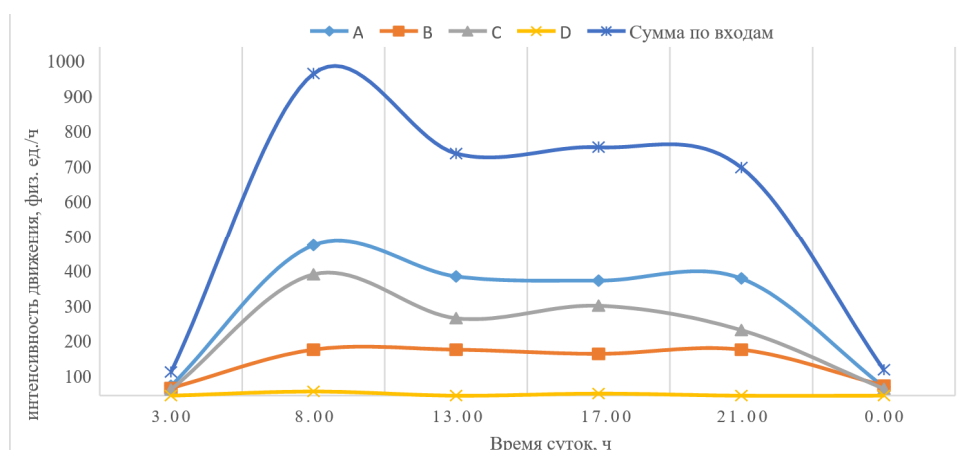


Рисунок 1. – Интерфейс «pgadmin4 2.0»

*Исследование характеристик транспортных потоков.* Для расчета по выбранной модели объема выбросов от автомобильного транспорта необходимо комплексное обследование улично-дорожной сети (УДС). Замеры на интересующих участках выполнялись с 3:00 до 12:00 с интервалом в 4 часа в будний и выходной дни недели. Интенсивность движения (ИД) и состав транспортного потока определялись в течение 15-минутных интервалов времени. Результаты представлены в виде графиков изменения интенсивности по времени суток. Для последующей обработки данных использовался программный пакет «Traffic Intensity»<sup>10</sup>. Кроме того, исследовались скорости транспортных потоков на трех различных элементарных участках сети: регулируемом перекрестке, регулируемом пешеходном переходе, нерегулируемом пешеходном переходе с искусственными неровностями (рисунок 2, фрагмент).



А, В, С, D – входы

Рисунок 2. – Пример графика изменения интенсивности транспортных потоков по времени суток (выходной день)

<sup>10</sup> Свидетельство № 222 от 17.09.10 г. о регистрации компьютерных программ в Национальном центре интеллектуальной собственности // Д.В. Капский, Д.В. Мозалевский, М.К. Мирошник, А.В. Коржова, В.Н. Кузьменко, А.С. Полховская, Е.Н. Костюкович.

для регулируемого перекрестка, входящего в экспериментальную улично-дорожную сеть

Программирование расчетов выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта. Для этого необходимо последовательно проработать все дуги в сети и вычислить количество выбросов в каждой. Это реализуется с использованием двух материализованных запросов: `mat_network`; `mat_param`.

Ниже представлен пример кода материализованного запроса.

```
CREATE MATERIALIZED VIEW mat_param AS
with param as (select id, id_network, date_part('hour'::text, timezone('Europe/Minsk'::text, t)) tim, speed,
stops, delay from tn_param)
select id_network, tim, round(avg(speed), 0)::integer speed, count(*) coun, sum(stops) stops, sum(delay)
delay from param group by id_network, tim;
CREATE INDEX tn_mat_param_tim ON mat_param USING HASH (tim); REINDEX table mat_param;
```

Рассмотрим запрос для вычисления векторных данных выбросов. Он является материализованным. Из-за массивности функции все вычисления занимают больше одной минуты, следовательно, данные необходимо сохранить, чтобы при повторном обращении не делать полный перерасчет.

Для начала следует агрегировать данные ИД, привести их к удобному виду. За это отвечают следующие представления: `i1`, `lobr1`, `i1`, `i2`, `i3`, `iovr1`, `iovr2`:

- `i1` – трансформирует 1 столбец в несколько строк схемы;
- `lobr1` – необходим для зануления четвертого направления во время обработки данных полученных на Т-образном перекрестке;
- `i1` – трансформирует данные из столбцов в строки (данные хранятся в БД);
- `i2` – фильтрует представление `i1`, убирая пустые строки;
- `i3` – группирует все данные по каждому входу и времени, объединяют транспорт в транспортные группы;
- `iovr1` – рассчитывает процентное отношение каждого вида транспорта в потоке;
- `iovr2` – приводит замер за некий промежуток времени к среднечасовой интенсивности движения.

Кроме того:

- `intensity` – распределяет ИД по транспортной сети и производит выбор часа, на который будут представляться данные;
- `speed` – агрегирует скорость по времени суток для заданного временного интервала;
- `obr1` – приводит данные к «удобному» виду для представления `obr2` и создает колонку `geom` для определения месторасположения дуги;
- `obr2` – непосредственно производит расчет выбросов ЗВ.

Само тело запроса проводит агрегацию по ИД, т.к. не исключена возможность хранения нескольких данных на одной дуге. При возникновении такой ситуации все данные будут объединены по заданному правилу. Результатом всего процесса является заполнение таблицы «`mat_emission_road`» полученными данными (рисунок 3).

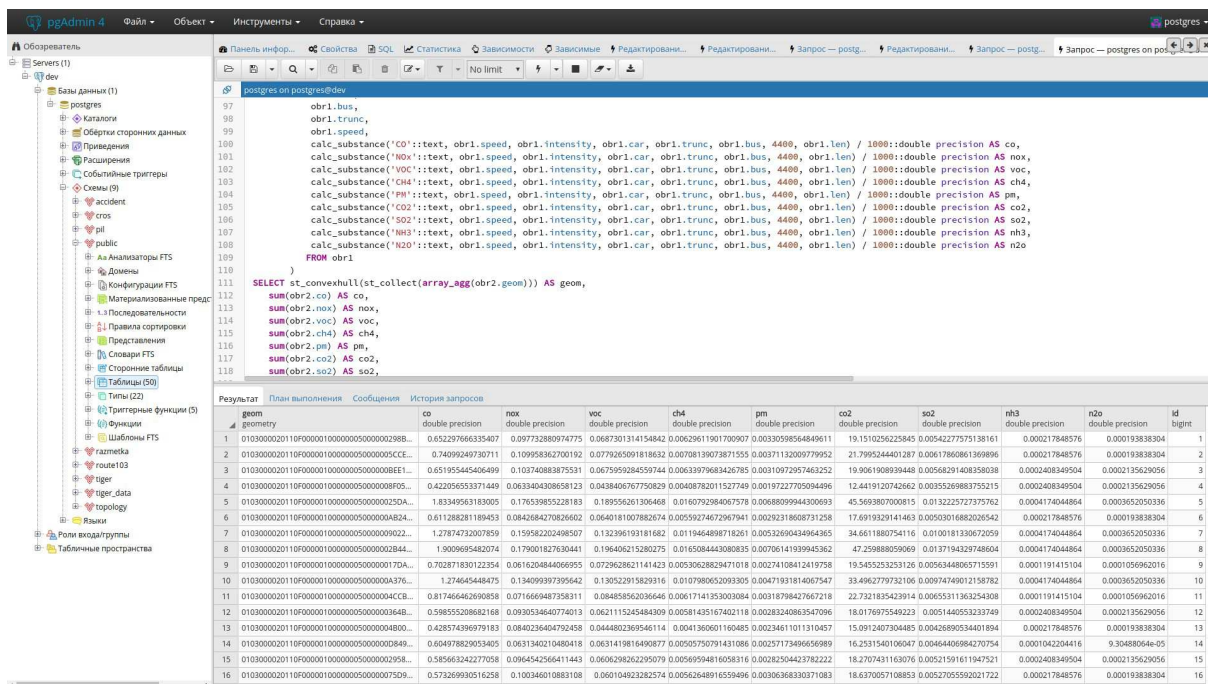


Рисунок 3. – Табличный вид полученных данных



Графическое изображение результата можно получить, используя ГИС QGIS. В программе необходимо подключиться к созданной базе данных и создать SQL запрос. В результате будет создан слой, как представлено на рисунке 4.

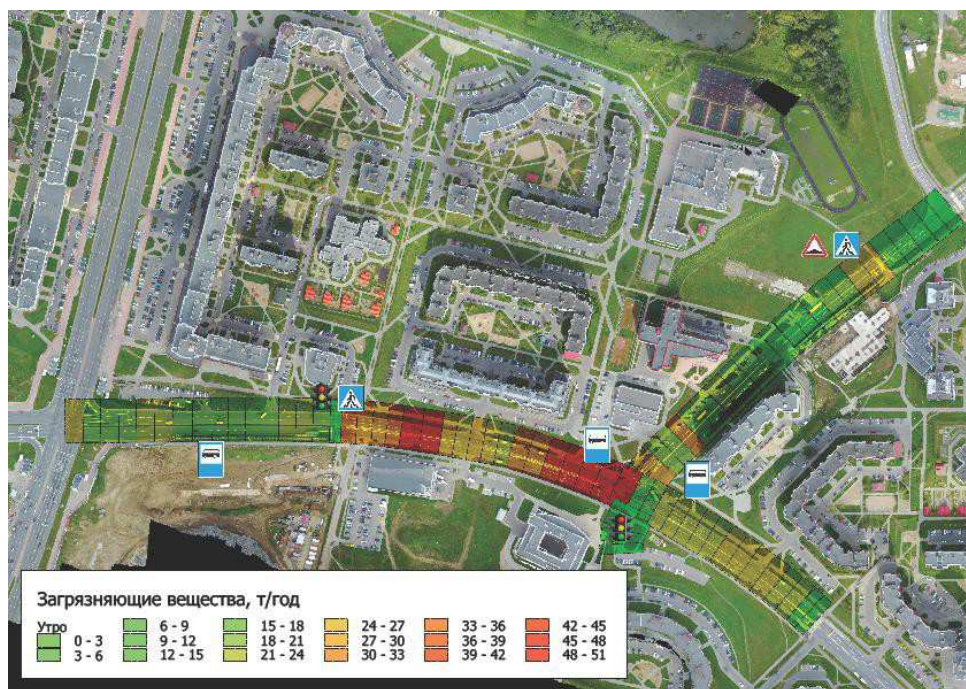


Рисунок 4. – Графический вид полученных данных для реального участка улично-дорожной сети города Минска

Для расчетов выбросов загрязняющих веществ используется написанная функция `calc_substance`. В ней запрограммированы формулы модели<sup>11, 12, 13</sup> [4]. Сама функция написана на языке программирования Python 3.0.

**Заключение.** Проанализированы методики расчета выбросов загрязняющих веществ от автомобильного транспорта. Выполнен анализ методик оценки вреда от выбросов загрязняющих веществ автомобильным транспортом. Выявлены недостатки, связанные с трудностью сбора исходных данных.

Исследован принцип работы с проекциями в картографии. Повышена точность вычисления расстояния между элементарными участками дорожной сети.

Разработано программное средство для расчета объема загрязняющих веществ. Программа позволяет обрабатывать исходные данные с большой скоростью без вмешательства человека. Также разработано программное средство, предназначенное для визуализации произведенных расчетов по оценке качества дорожного движения для различных вариантов организации движения и решений по транспортному планированию городов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения. В 2 х. Ч. 1. – Минск: Белорус. фонд безопасности дорож. движения, 1996. – 328 с.
2. Врубель Ю.А. Потери в дорожном движении. – Минск: БНТУ, 2003. – 380 с.
3. Определение потерь в дорожном движении / Ю.А. Врубель, Д.В. Капский, Е.Н. Кот. – Минск: БНТУ, 2006. – 252 с.
4. Оценка экологических потерь в дорожном движении на основе GPS-данных о параметрах транспортных потоков и моделирования / И.Н. Пугачев, Д.В. Капский, Л.П. Майорова и др. – Хабаровск: ТОГУ, 2020. – 249 с.

<sup>11</sup> Правила расчета выбросов механическими транспортными средствами в населенных пунктах : ТКП 17.08-03-2006 (02120). – Введ. 28.06.2006. – Минск : Минприроды, 2006. – 23 с.

<sup>12</sup> Создание «транспортной экологической» карты населенных пунктов / Д.В. Капский, О.В. Базаревич, В.Н. Кузьменко и др. / Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сб. материалов II Национал. науч.-практ. конф. 2019. – С. 283–289.

<sup>13</sup> Капский Д.В., Базаревич О.В. Программа расчета объемов выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта // Социально-экономические проблемы развития и функционирования транспортных систем городов и зон их влияния: Материалы XXV Междунар. (XXV Екатеринбург.) науч.-практ. конф. / Екатеринбург (16–17 июня 2019 г.). – С. 176–181.

## REFERENCES

1. Vrubel', Yu.A. (1996). *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya*. V dvukh chastyakh. Chast' 1. Minsk: Belorusskii fond bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya. (In Russ.)
2. Vrubel', Yu.A. (2003). *Poteri v dorozhnom dvizhenii*. Minsk: BNTU. (In Russ.)
3. Vrubel', Yu.A., Kapskii, D.V. & Kot, E.N. (2006). *Opredelenie poter' v dorozhnom dvizhenii*. Minsk: BNTU. (In Russ.)
4. Pugachev, I.N., Kapskii, D.V., Maiorova, L.P., Bazarevich, S.V., Cherentsova, A.A., Luk'yanov, A.I. & Kazarbina, S.A. (2020). *Otsenka ekologicheskikh poter' v dorozhnom dvizhenii na osnove GPS-dannykh o parametrah transportnykh potokov i modelirovaniya*. Khabarovsk: TOGU. (In Russ.)

Поступила 03.01.2023

**MODELING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF TRANSPORT  
ON THE ECOSYSTEMS OF CITIES AND SETTLEMENTS**

**O. BAZAREVICH, D. KAPSKII**  
(*Belarusian National Technical University, Minsk*)

*The article provides an overview of models for predicting the environmental impact of transport on the ecosystem of cities, as well as the results of developing a software product for calculating emissions from road transport using the methodology of the Belarusian National Technical University. Modeling is carried out using GPS tracks. The results of the visualization of the application of the methodology for assessing environmental losses in traffic in the city of Minsk and the mapping of a specific section of the street network are presented.*

**Keywords:** *ecosystem, city, environmental impact, modeling, GPS track, road transport.*