

2. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
3. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 232 с.
4. Брыксин В.М., Гавриловская Н.В., Топаж А.Г., Хворова Л.А. Математическое моделирование и информационные технологии в экологии и природопользовании. – Изд-во АлтГУ, 2013. – 277 с.
5. Дж. Даффи, У. Бекман Основы солнечной теплоэнергетики. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2013. – 888 с.
6. Ефремова О.А., Хворова Л.А. Математическое моделирование систем солнечного теплоснабжения // Известия АлтГУ. – 2017. – №4 (96). – С. 98–103.

УДК 004, 504.3.054

**Результаты расчетов и тестирования программного
модуля для оценки загрязнения воздуха
автомобильным транспортом**

С.Ж. Сарсекеева¹, М.Н. Мадияров¹, Л.А. Хворова²

¹ВКГУ им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск;

²АлтГУ, г. Барнаул

Одним из мощных источников загрязнения городской воздушной среды является автомобильный транспорт, увеличение численности которого приводит к значительному ухудшению санитарных условий проживания в крупных городах. К основным особенностям автомобильного транспорта, влияющим на санитарные условия проживания в городах, относятся: высокие темпы роста численности автомобилей и выбросов загрязняющих веществ; непосредственная близость к жилым районам; высокая токсичность выбросов автотранспорта.

Цель работы – разработка программного модуля для оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на основе математических методов, моделей и подходов к оценке загрязнения атмосферы.

Информационная база исследования представлена данными РГП «Казгидромета» о состоянии загрязнения атмосферного воздуха на территории Республики Казахстан (2016–2019 гг.) и Комитета по статистике Министерства Национальной экономики Республики Казахстан (1990–2015 гг.).

Результатом анализа литературы по методам, моделям и подходам к оценке загрязнения атмосферы [1, 2] является формирование трех базовых подходов, реализованных на языке программирования Python.

Концепция подхода 1 – Клеточные функции

На карту города накладывается равномерная сетка, и используются клеточные функции улично-дорожной сети города, полученные в каждом квадрате разбиения. Применяя алгоритм построения клеточной функции [1], можно получить протяженности улично-дорожной сети и рассчитать максимально возможную плотность на сети при равномерном распределении.

Характеристики автотранспортных потоков клетки однозначно определяются ее функцией состояния. В свою очередь, функция состояния зависит от следующих параметров: m – кратность узлов, q – времени красного сигнала светофора и l – расстояние между светофорами. В качестве функции состояния для дорог со светофорами используется формула $\mathcal{G}(\rho) = (T - \nu)f(\rho l) + \nu f(\rho)$. Здесь: ν – доля среднего зеленого сигнала светофора, $\nu = T / m$; $\rho = ATC / l$ – плотность свободного движения, m – количество АТС на перегоне, $\rho l = l \cdot \rho / (l - f(\rho)) * T * (T - T / n)$ – плотность перегона со светофорами, $f(\rho) = \mathcal{G}_{\max} \left(\frac{\rho_{\max} - \rho}{\rho_{\max}} \right)$, ρ_{\max} – максимальная плотность автотранспортных потоков на одной полосе.

Учитывая матрицу распределения длин улично-дорожной сети по клеткам и среднюю скорость автотранспортных потоков, получены плотности потоков и оценка расхода топлива в каждой клетке каждого часа суток.

Концепция подхода 2 – Эмиссия токсичных веществ

Данный подход сформирован для расчета концентрации загрязнения атмосферного воздуха на разных расстояниях от автомобильной дороги. При определении концентрации загрязняющих веществ для автодорог необходимо учитывается, что уровень загазованности магистралей и примагистральных территорий зависит от интенсивности движения автомобилей, ширины и рельефа улицы, скорости ветра.

При расчете удельных выбросов загрязняющих веществ необходимо принять во внимание величину вредных выбросов в атмосферу автотранспортом, которая зависит от плотности транспортного потока и количества газов, выбрасываемых каждым автомобилем.

Методика расчета основана на поэтапном определении эмиссии (выбросов) токсичных веществ с обработавшими газами автомобильного

транспорта, концентрации загрязнения воздуха этими веществами на различном удалении от дороги и сравнении полученных данных с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) данных веществ в воздушной среде. При расчете выбросов учитываются различные типы автотранспортных средств и конкретные дорожные условия.

Мощность эмиссии токсичных веществ в отработавших газах отдельно для каждого газообразного вещества определяется по формуле:

$$q = 2,06 \cdot 10^{-4} \cdot m \cdot \left[\left(\sum_l G_{ik} \cdot N_{ik} \cdot K_k \right) + \left(\sum_l G_{id} \cdot N_{id} \cdot K_d \right) \right],$$

где q – мощность эмиссии данного вида загрязнений от транспортного потока на конкретном участке дороги, г/м·с; $2,06 \cdot 10^{-4}$ – коэффициент перехода к принятым единицам измерения; m – коэффициент, учитывающий дорожные и автотранспортные условия, принимается в зависимости от средней скорости транспортного потока, G_{ik} – средний эксплуатационный расход топлива для данного типа (марки) карбюраторных автомобилей, л/км; G_{id} – то же для дизельных автомобилей, л/км; N_{ik} – интенсивность движения каждого выделенного типа карбюраторных автомобилей, авт./ч.; N_{id} – то же, для дизельных автомобилей, авт./ч.; K_k и K_d – коэффициенты, принимаемые для данного компонента загрязнения для карбюраторных и дизельных типов двигателей.

Концентрация загрязнений атмосферного воздуха окисью углерода, углеводородами, окислами азота вдоль автомобильной дороги определяется по формуле

$$C = 2q / (\sqrt{2\pi} \cdot \sigma \cdot V \cdot \sin \varphi) + F,$$

где C – концентрация данного вида загрязнения в воздухе, г/м³; σ – стандартное отклонение Гауссова рассеивания в вертикальном направлении, м; V – скорость ветра, преобладающего в расчетный месяц летнего периода, м/с; φ – угол, составляемый направлением ветра к трассе дороги; F – фоновая концентрация загрязнения воздуха, г/м³.

Концепция подхода 3 – Регулируемый перекресток

Данный подход сформирован для расчета удельных выбросов загрязняющих веществ при движении автомобилей на участках городских автодорог (перегонах), а также в условиях их пребывания на пересечениях городских автодорог с учетом структуры, интенсивности и характера движения автотранспорта по автодорогам улично-дорожной сети.

При определении удельных выбросов загрязняющих веществ для автодорог необходимо учитывать то, что в городских условиях автомобиль на конкретном участке автодороги совершает непрерывные разгоны и торможения, перемещаясь с некоторой средней скоростью, определяемой дорожными условиями.

При расчете удельных выбросов загрязняющих веществ также необходимо принимать во внимание то, что в условиях пребывания в зоне перекрестка автомобиль, кроме торможения и разгона, определенную часть времени может стоять при запрещающем сигнале светофора при работе двигателя на режиме «холостого хода». Кроме этого, при формировании расчетной модели учитываются категории автомобилей и виды загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу с обработавшими газами автомобилями.

Таким образом, учитывая сформулированную концепцию подхода, выпишем его алгоритм.

1. Для автодороги (или ее участка) при наличии на ней регулируемого перекрестка суммарный выброс M определяется по формуле:

$$M = \sum_1^n (M_{II_1} + M_{II_2}) + \sum_1^{n_1} (M_{L_3} + M_{L_4}) + \sum_1^m (M_{II_3} + M_{II_4}) + \sum_1^{m_1} (M_{L_1} + M_{L_2}),$$

$M_{II_1}, M_{II_2}, M_{II_3}, M_{II_4}$ – выброс в атмосферу автомобилями, находящимися в зоне перекрестка при запрещающем сигнале светофора; $M_{L_1}, M_{L_2}, M_{L_3}, M_{L_4}$ – выброс в атмосферу автомобилями, движущимися по данной автодороге в рассматриваемый период времени; n и m – число остановок автотранспортного потока перед перекрестком и на одной и другой автодорогах, его образующих за 20-ти минутный интервал времени; n_1 и m_1 – число периодов движения автотранспортного потока в районе перекрестка при разрешающем сигнале светофора за 20-ти минутный интервал времени.

Индексы 1 и 2 соответствуют каждому из 2-х направлений движения на автодороге с большей интенсивностью движения, а 3 и 4 – для автодороги с меньшей интенсивностью движения.

2. Расчет выбросов от движущегося автотранспорта

Выброс i -го загрязняющего вещества (z/c) движущимся автотранспортным потоком на автодороге (или ее участке) фиксированной протяженности L (км) определяется по формуле:

$$M_{L_i} = \frac{L}{1200} \sum_1^x M_{k,i}^L \cdot G_k \cdot r_{V_{k,i}},$$

$M_{k,i}^L$ (г/км) – удельный пробеговой выброс i -го вредного вещества автомобилями k -й категории; x – количество категорий автомобилей; G_k (1/час) – фактическая наибольшая интенсивность движения автомобилей k -й категории, проходящих через фиксированное сечение автодороги (или ее участка) в обоих направлениях по всем полосам движения (за 20 минут наблюдения); $r_{V_{k,i}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока $V_{k,i}$ (км/час) на выбранной автодороге (или ее участке); L , км – протяженность автодороги (или ее участка) на перегоне между перекрестками.

3. Расчет выбросов автотранспорта в районе регулируемого перекрестка

Выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями по конкретному направлению движения в районе перекрестка при запрещающих сигналах светофора за 20-ти минутный период обследования определяется по формуле:

$$M_{Pi}^3 = \frac{P_y}{60} \sum_1^{N_y} \sum_1^x (M_{Pi,i} \cdot G_k),$$

P_y – продолжительность действия запрещающего сигнала светофора (включая желтый цвет) в течение 20 минут; N_y – количество циклов действия запрещающего сигнала светофора за 20-ти минутный период времени; G_k – количество автомобилей k -й категории, находящихся в «очереди» в районе перекрестка в конце каждого цикла действия запрещающего сигнала светофора; M (г/мин) – удельный выброс i -го загрязняющего вещества автомобилями k -й категории, находящихся в «очереди» у запрещающего сигнала светофора.

Суммарный разовый выброс i -го загрязняющего вещества (г/с) автотранспортом в одном направлении движения за 20 минутный период обследования в районе перекрестка определяется по формуле:

$$M_{Pi}^C = \frac{1}{1200} (M_{Pi}^3 + M_{Li}^P), \quad M_{Li}^P = L^{\Pi} \cdot \sum_1^{N_y} \sum_1^x M_{k,i}^L \cdot G_{k_p} \cdot r_{V_{k,i}}.$$

L (км) – расстояние, проходимое автомобилями в одном направлении при разрешающих сигналах светофора в течение 20-ти минут, состоящее из длины очереди автомобилей, образуемой при запрещающем сигнале светофора, и длины соответствующей зоны перекрестка; G_{k_p} – количество автомобилей каждой « k » категории, проходящих через зону перекрестка в одном направлении при разрешающем сигнале светофора.

Результаты данной работы могут быть использованы для поддержки принятия решений, направленных на улучшение экологической ситуации в городах, за счёт сокращения выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта.

Библиографический список

1. Мадияров М.Н., Темирбеков Н.М., Абдолдина Ф.Н. Экологический мониторинг воздействия автотранспорта на атмосферу // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Серия: Математика, механика, информатика. 2004. – №3(42). – Ч. I. – С. 122–125.

2. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. – Новосибирск: Наука, 1985. –254 с.

УДК 574.34

Исследование одного класса моделей социальной кооперации с помощью репликаторных уравнений эволюционной динамики

А.Г. Топаж

ООО «Бюро Гиперборея», г. Санкт-Петербург

Одной из наиболее интересных и изучаемых в последнее время проблем в математической теории эволюции является проблема устойчивости различных симбиотических взаимодействий (как внутривидовых, так и межвидовых) к проявлению возможных мошеннических или паразитических стратегий поведения. Действительно стабильное и долговременное функционирование шаблонов поведения, основанных на взаимном сотрудничестве, возможно только в том случае, если эти шаблоны образуют *эволюционно-стабильную стратегию*, иными словами внедрение в подобное гармоничное сообщество организмов с альтернативными установками не может дать им преимуществ в смысле естественного отбора [1]. В общем случае, приспособленность каждого варианта стратегии поведения зависит не только от самого этого варианта и внешней среды, но и от того, каким поведением обладают другие особи в популяции, с которыми данный организм вступает в социальные отношения на протяжении своей жизни. Таким образом, задача нахождения наилучшей стратегии поведения допускает постановку в терминах теории игр. При выполнении ряда условий (установившаяся и достаточно большая суммарная численность популяции, равновероят-