

10, октябрь 2015

УДК 629.039.58

**Синхронизация программных пакетов «Магистраль-город 3.0»
и УПРЗА «Эколог 3.0» и применение их
в исследовании участка крупной магистрали**

Султанов С.А., студент

*Россия 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

Пупышева Е.В. студент

*Россия 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Экология и промышленная безопасность»*

*Научный руководитель: Кирикова О.В., ст. преподаватель
кафедра «Экология и промышленная безопасность»,
Россия 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

E9@mx.bmstu.ru

Одним из основных источников загрязнения атмосферы в крупных городах являются автотранспортные средства. Автомобильный транспорт занимает ведущее место в удовлетворении постоянно возрастающих потребностей в перевозках пассажиров и грузов. Однако, с выхлопными газами автомобилей в атмосферу попадают окислы азота, окись и двуокись углерода, различные углеводороды, в том числе ароматические, соединения свинца, сажа, на которую осаждаются токсичные примеси, превращая ее в токсичную, окислы серы и другие примеси.

Наибольшие концентрации токсичных примесей содержатся в приземных слоях атмосферного воздуха в зоне оживленных транспортных магистралей и перекрестков. Здесь человек находится в эпицентре экологического неблагополучия. Климатические и географические особенности территории могут усиливать или снижать негативное воздействие отработавших газов автомобиля на человека. Особенно велика опасность в случае расположения районов города в котловинной местности и в безветренную погоду, когда велика опасность образования смога. Поэтому борьба за снижение негативного воздействия токсичных компонентов отработавших газов автомобильных двигателей является актуальной проблемой.

Целью проведённой научно-исследовательской работы является ознакомление с программным пакетом «Магистраль-город 3.0» и его синхронизация с пакетом УПРЗА «Эколог 3.0», разработка практикума, позволяющего студентам освоить данную программу, проведение собственного исследования на участке магистрали с расчётом загрязнений и построением полей рассеивания в УПРЗА «Эколог 3.0».

Расчеты выбросов выполняются для следующих вредных веществ: оксид углерода (CO), оксиды азота (в пересчете на диоксид азота), углеводороды (CH), сажа, диоксид серы (SO), формальдегид, бенз(а)пирен. Программа может быть использована природоохранными и контролирующими организациями, а также градостроительными организациями при планировании будущих застроек и прокладке новых транспортных магистралей. В нашей работе мы попробовали использовать ее в учебных целях.

В районах перекрёстка автомобилями выбрасывается наибольшее количество вредных веществ за счет торможения и остановки перед запрещающим сигналом светофора и последующего его движения в режиме «разгона» при разрешающем сигнале светофора. В программе выбираются участки автомагистралей перед светофором, на которых образуется очередь из автомобилей, работающих на холостом ходу в течение времени действия запрещающего сигнала светофора. Подсчитывается количество различных автомобилей на перекрестках и по формуле (1) рассчитывается суммарный выброс M для магистрали (или ее участка):

$$M = \sum_1^n (M_{П_1} + M_{П_2}) + M_{L_1} + M_{L_2} + \sum_1^m (M_{П_3} + M_{П_4}) + M_{L_3} + M_{L_4}, \quad (1)$$

где

$M_{П_1}, M_{П_2}, M_{П_3}, M_{П_4}$ - 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 автомагистрали в рассматриваемый период времени;

n и m - число остановок автотранспортного потока перед перекрестком соответственно на одной и другой улицах, его образующих, за 20-минутный период времени;

Выброс i -ого загрязняющего вещества (г/с) движущимся автотранспортным потоком на автомагистрали (или ее участке) с фиксированной протяженностью L (км) определяется по формуле:

$$M_{Li} = \frac{L}{3600} \sum_1^k M_{ki}^{\Pi} \cdot G_k \cdot k_{V_1}, \quad (2)$$

где

M_{ki}^{Π} (г/км) - пробеговый выброс i-го вредного вещества автомобилями k-й группы для городских условий эксплуатации, определяемый по табл. 1;

k - количество групп автомобилей;

G_k (1/час) - фактическая наибольшая интенсивность движения, т.е. количество автомобилей каждой из K групп, проходящих через фиксированное сечение выбранного участка автомагистрали в единицу времени в обоих направлениях по всем полосам движения;

$k_{V_{ki}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока;

τ_{ki} (км/час) — коэффициент скорости на выбранной автомагистрали (или ее участке), определяемый по табл. 2;

L (км) — протяжённость автомагистрали (или ее участка), из которого исключена протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора.

Таблица 1

Пробеговые выбросы M_L (г/км) для различных групп автомобилей

Наименование группы автомобилей	№ группы	CO	Выбросы						
			NO _x (в пересчете на NO ₂)	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Легковые	I	19,0	1,8	2,1	-	0,06	0,006	0,019	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Легковые дизельные	Id	2,0	1,3	0,25	0,1	0,21	0,003		-
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью до 3 т (в том числе, работающие на сжиженном нефтяном газе) и микроавтобусы	II	69,4	2,9	11,5	-	0,20	0,020	0,026	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Грузовые карбюраторные с	III	75,0	5,2	13,4	-	0,22	0,022	0,033	$6,3 \cdot 10^{-6}$

Наименование группы автомобилей	№ группы	CO	Выбросы						
			NO _x (в пересчете на NO ₂)	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
грузоподъемностью более 3 т (в том числе, работающие на сжиженном нефтяном газе)									
Автобусы карбюраторные	IV	97,6	5,3	13,4	-	0,32	0,03	0,041	$6,4 \cdot 10^{-6}$
Грузовые дизельные	V	8,5	7,7	6,0	0,3	1,25	0,21	-	$6,5 \cdot 10^{-6}$
Автобусы дизельные	VI	8,8	8,0	6,5	0,3	1,45	0,31	-	$6,7 \cdot 10^{-6}$
Грузовые газобаллонные, работающие на сжатом природном газе	VII	39,0	2,6	1,3*	-	0,18	0,002	-	$2,0 \cdot 10^{-6}$

* - значение выброса за вычетом метана

Таблица 2

Значения коэффициентов γ_{ki}

	Скорость движения (V, км/час)												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	80	100
γ_{ki}	1,35	1,28	1,2	1,1	1,0	0,88	0,75	0,63	0,5	0,3	0,45	0,5	0,65

Примечание: для диоксида азота значение γ_{ki} принимается постоянным и равным 1 до скорости 80 км/час.

Выброс i -го загрязняющего вещества (ЗВ) в зоне перекрёстка при запрещающем сигнале светофора $M_{\Pi i}$ определяется по формуле:

$$M_{\Pi i} = \frac{P}{40} \sum_{n=1}^{N_{\Pi}} \sum_{k=1}^{N_{\text{гр}}} (M'_{\Pi, k} G_{k, n}) \quad \text{г/мин}, \quad (3)$$

где

P (мин.) – продолжительность действия запрещающего сигнала светофора (включая желтый цвет);

N_{Π} - количество циклов действия запрещающего сигнала светофора за 20-ти минутный период времени;

$N_{гр}$ - количество групп автомобилей;

$M'_{Пi,k}$ (г/мин) - удельный выброс i -го ЗВ автомобилями, k -ой группы, находящихся в «очереди» у запрещающего сигнала светофора;

$G_{k,n}$ - количество автомобилей k группы, находящихся в «очереди» в зоне перекрестка в конце n -го цикла запрещающего сигнала светофора.

Значения $M'_{Пi,k}$ определяются по таблице. 3, в которой приведены усредненные значения удельных выбросов (г/мин), учитывающие режимы движения автомобилей в районе пересечения перекрестка (торможение, холостой ход, разгон), а значения P , $N_{П}$, G_k - по результатам натурных обследований.

Таблица 3

Удельные значения выбросов $M_{Пi}$ для автомобилей, находящихся в зоне перекрестка

Наименование группы автомобилей	№ группы	Выброс, г/мин							
		CO	NO _x (в пересчете на NO ₂)	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
Легковые	I	3,5	0,05	0,25	-	0,01	0,0008	0,0044	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Легковые дизель-ные	Id	0,13	0,08	0,06	0,035	0,04	0,0008	-	-
Грузовые карбюра-торные с грузо-подъемностью до 3 т (в том числе работающие на сжи-женном нефтяном газе) и микроавтобусы	II	6,3	0,075	1,0	-	0,02	0,0015	0,0047	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Грузовые карбюраторные с грузоподъемностью более 3 т (в том числе работающие на сжиженном нефтяном газе)	III	18,4	0,2	2,96	-	0,028	0,006	0,0075	$4,4 \cdot 10^{-6}$
Автобусы карбюраторные	IV	16,1	0,16	2,64	-	0,03	0,012	0,0075	$4,5 \cdot 10^{-6}$
Грузовые дизельные	V	2,85	0,81	0,3	0,07	0,075	0,015	-	$6,3 \cdot 10^{-6}$
Автобусы дизельные	VI	3,07	0,7	0,41	0,09	0,09	0,020	-	$6,4 \cdot 10^{-6}$
Грузовые газобаллонные,	VII	6,44	0,09	0,26	-	0,01	0,0004	-	$3,6 \cdot 10^{-6}$

Наименование группы автомобилей	№ группы	Выброс, г/мин							
		CO	NO _x (в пересчете на NO ₂)	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
работающие на сжатом природном газе				*					

* - значение выброса за вычетом метана

На каждой автомагистрали (или ее участке) фиксируются следующие параметры:

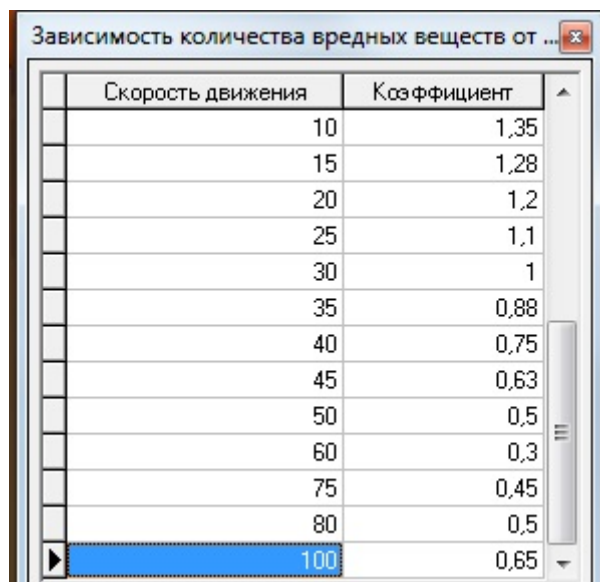
- ширина проезжей части, (в метрах);
- количество полос движения в каждом направлении;
- протяженность выбранного участка автомагистрали (в км) с указанием улиц, ограничивающих данную автомагистраль (или ее участок);
- средняя скорость автотранспортного потока с подразделением на три основные категории: легковые, грузовые и автобусы (в км/час).

Программа «Магистраль – город 3.0», рассматриваемая в данной работе предусматривает достаточно простой интерфейс и не требует введения справочных данных (рис. 1 и рис. 2).



Наименование группы автомобилей	Выброс, г/км							
	CO	NO _x , в пересчете на NO ₂	CH	Сажа	SO ₂	Формальдегид	Соединения свинца	Бенз(а)пирен
▶ Легковые	19	1,8	2,1	0	0,065	0,006	0,019	1,7E-6
Легковые дизельные	2	1,3	0,25	0,1	0,21	0,003	0	0
Грузовые карбюраторные до	69,4	2,9	11,5	0	0,2	0,02	0,026	4,5E-6
Грузовые карбюраторные от	75	5,2	13,4	0	0,22	0,022	0,033	6,3E-6
Автобусы карбюраторные	97,6	5,3	13,4	0	0,32	0,03	0,041	6,4E-6
Грузовые дизельные	8,5	7,7	6	0,3	1,25	0,21	0	6,5E-6
Автобусы дизельные	8,8	8	6,5	0,3	1,45	0,31	0	6,7E-6
Грузовые газобаллонные	39	2,6	1,3	0	0,18	0,002	0	2E-6

Рис. 1. Значения выбросов для различных групп автомобилей



Скорость движения	Коэффициент
10	1,35
15	1,28
20	1,2
25	1,1
30	1
35	0,88
40	0,75
45	0,63
50	0,5
60	0,3
75	0,45
80	0,5
100	0,65

Рис. 2. Зависимость количества вредных веществ от скорости движения

Для начала проведения расчетов создаем объект и участок, который будет анализироваться программой (рис. 3).

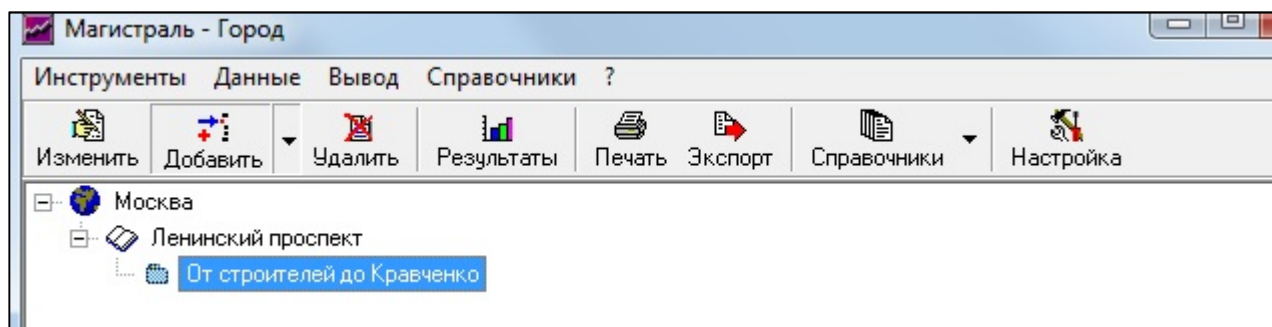


Рис. 3. Выбор объекта и участка, анализируемого программой

Далее задаются координаты рассматриваемого участка и его средняя ширина (рис. 4).

Рис. 4. Данные об участке магистрали

Для обучения студентов работе в данной программе были разработаны задания разной сложности, раскрывающие возможности программы:

1. Загруженность участка магистрали шириной 4 метра около $1,25 \frac{\text{легк.машина}}{\text{мин*км}}$ (0,5 в левом направлении, остальные – в правом). Рассчитайте выбросы на перегоне в 1 км, если скоростной режим – 60 км/ч.

2. На участке магистрали длиной в 1 км имеется перекрёсток. Светофор каждую минуту меняет сигнал с запрещающего на разрешающий и обратно. Во время работы стоп-сигнала выстраивается очередь из машин длиной 6 метров на левом и 8 метров на правом перекрёстке. Известно, что за 20 минут в очереди на левом перекрёстке простояли 10 легковых машин, а на правом – 15. Всего по магистрали со скоростным режимом 60 км/ч появились 33 легковые машины, 20 из которых ехали в правом направлении.

Рассчитайте выбросы на описанном участке.

3. На территории предприятия есть две пересекающиеся километровые двухполосные дороги для грузового транспорта. На перекрёстке стоит светофор, дающий минутный стоп-сигнал раз в 4 минуты. Выбрать произвольное количество грузовых машин в очереди и в движении и рассчитать для выбранного случая выбросы.

4. На участке дороги длиной в 1000 м и шириной 6 м за 20 минут проехали легковые (15 в правом и 7 в левом направлении) и грузовые карбюраторные, весом до трёх тонн (8 в правом и 3 в левом направлении), машины со скоростью 60 км/ч; а также тяжёлые грузовые карбюраторные (3 в правом и 1 в левом направлении) со скоростью 40 км/ч.

Также на этом участке есть перекрёсток со светофором, дающим минутный стоп-сигнал раз в 5 минут, что создаёт очередь перед ним на левом перекрёстке из 5 легковушек, 3 «лёгких» и 1 «тяжёлой» грузовой машины (15 метров), и на правом перекрёстке – из 10 легковых, 5 «лёгких» и 3 «тяжёлых» грузовых (50 метров).

Рассчитайте выбросы на описанном участке дороги.

Был выявлен алгоритм импорта данных из программы «Магистраль. Город» в УПРЗА «Эколог»:

1) Для того, чтобы в УПРЗА «Эколог» появилась возможность приёма файла, методика «Магистраль-Город» должна быть зарегистрирована в нём. Поэтому после произведения расчёта выбросов в программе «Магистраль-Город» следует перейти в меню «Инструменты» - «Настройка» - «Эколог и ПДВ» и произвести регистрацию;

2) После произведения расчёта выбросов автотранспорта и их сохранения экспортировать результаты в отдельный файл: «Экспорт», в выпадающем меню «Программа для экспорта данных» выбрать «любой каталог», затем выбрать папку для сохранения файла («Каталог для экспорта»);

3) В УПРЗА «Эколог» перейти в «Вариант исходных данных» и произвести приём из внешней методики.

Также было проведено собственное исследование участка ТТК. Была проведена 20-минутная съёмка движения автотранспорта на участке третьего транспортного кольца (ТТК) длиной 300 метров в дневной и ночной периоды (14.00 и 01.00). По видеозаписи было подсчитано отдельно количество легковых машин, грузовых до 3 тонн и от 3 тонн и автобусов. Скоростной режим на ТТК – 60 км/ч и 80 км/ч. Средняя скорость легковых машин была принята 75 км/ч, грузовых до 3 тонн – 60 км/ч, грузовых от 3 тонн и автобусов – 50 км/ч.

Исследовался участок ТТК, расположенный в непосредственной близости от автоматической станции контроля загрязнения атмосферы «Спартаковская пл.», данные с которой отображаются на сайте ГПБУ «Мосэкомониторинг» (Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы) в режиме реального времени.

После подсчета количества автомобилей различных видов на участке ТТК в ночное и дневное время и проведения расчетов выбросов в программе «Эколог-3» нами построены поля рассеивания выбросов с учетом фоновых загрязнений. Результаты расчета мы сравнили с показаниями автоматической станции «Мосэкомониторинга» и с показаниями газоанализатора.

В таблице 4 представлены результаты подсчета количества автомобилей различных видов в левом и правом направлении на участке ТТК.

Таблица 4

Данные видеосъёмки в дневной и ночной периоды

Тип автомобиля	Правое направление*		Левое направление*		Скорость, км/ч
	14.00	01.00	14.00	01.00	
Легковые	1693	49	1027	38	75
Легковые дизельные	593	27	359	20	75
Грузовые карбюраторные до 3 т.	11	1	9	1	60
Грузовые карбюраторные от 3 т.	6	1	3	1	50
Автобусы карбюраторные	1	0	1	0	50
Грузовые дизельные	327	42	222	26	60
Автобусы дизельные	15	2	6	0	50

*Погрешность подсчёта $\approx +8$ единиц для легковых машин, $+4$ для грузовых, $+1$ для автобусов.

В программе Магистраль-город 3.0 были рассчитаны выбросы загрязняющих веществ от описанного потока автотранспорта на указанном участке магистрали ТТК. Результаты расчёта представлены в таблице 5:

Таблица 5

Результаты расчёта выбросов автотранспорта в программе

Магистраль-город 3.0

Вещество	24.03.2015 14.00 – 14.20	25.03.2015 01.00 – 01.20
CO	1,52563333 г/с	0,09041583 г/с
NO	0,09671567 г/с	0,00837958 г/с
NO2	0,59517333 г/с	0,05156667 г/с
NOx	0,74396667 г/с	0,06445833 г/с
SO2	0,03043035 г/с	0,00285635 г/с
CH (по бензину)	0,15104292 г/с	0,00854292 г/с
CH (по керосину)	0,09695312 г/с	0,01118229 г/с
CH (по газу)	0 г/с	0 г/с

Суммарный СН	0,24799604 г/с	0,01972521 г/с
Соединения свинца	0,00128778 г/с	0,00006604 г/с
Сажа	0,00794625 г/с	0,00071125 г/с
Формальдегид	0,00367881 г/с	0,00041053 г/с
Бенз(а)пирен	0,00000021 г/с	0,00000002 г/с

В ходе освоения программных пакетов был выявлен алгоритм экспорта данных из «Магистраль-Город» в УПРЗА «Эколог».

В качестве фоновых концентраций загрязняющих веществ были приняты концентрации, представленные в докладе о состоянии окружающей среды в городе Москве ГПБУ «Мосэкомониторинг» «Состояние атмосферного воздуха в городе Москве в четвертом квартале 2014 года» (Таблица 6).

Таблица 6

Фоновые концентрации некоторых веществ в воздухе г. Москва
из доклада ГПБУ «Мосэкомониторинг»

Загрязняющее вещество	Среднее значение(мг/м ³)	ПДК _{с.с.} , (мг/м ³)
Оксид углерода	0,46	0,15
Диоксид азота	0,036	0,9
Оксид азота	0,034	0,57
Углеводороды	1,53	
Диоксид серы	0,004	0,08
Соединения свинца	0,032	0,53
Фенол	0,004	0,04

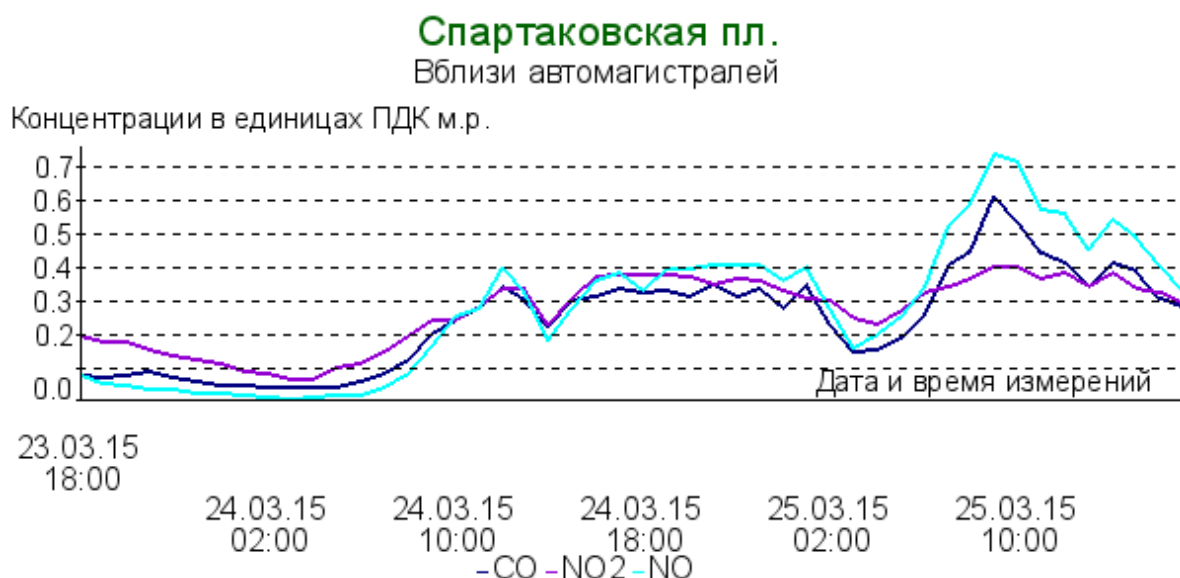


Рис. 5. График изменения концентраций загрязняющих веществ в течение суток

Если сравнивать данные расчёта и показания станции экологического мониторинга, то можно легко заметить сильные различия. Значения концентраций вредных веществ по данным автоматической станции гораздо меньше в дневной период и укладываются в нормы и чуть больше в ночной период, чем полученные при расчёте значения. Это объясняется рядом факторов:

А) Программа «Эколог 3.0» рассчитывает *максимальные* концентрации вредных веществ, достижимые в расчётной точке на *средней линии магистрали* в двух метрах от земли при стечении худших обстоятельств (отсутствие ветра), истинные же концентрации будут меньше расчётных;

Б) Условия определения концентраций в том и другом случаях были совершенно различные, а для произведения расчёта в рамках данной работы было принято множество допущений и округлений;

В) Датчики автоматической станции расположены на расстоянии не менее чем в 10 метрах от магистрали и на высоте, значительно превышающей 2 метра от поверхности земли, где вредные вещества находятся уже в более разбавленном состоянии, нежели на расчётной высоте 2 м.

На примере исследования мы смогли убедиться, что состояние приземного слоя атмосферы вблизи крупных магистралей оставляет желать лучшего. Это постоянно увеличивающаяся проблема, требующая проведения различных мероприятий:

1. Уменьшения количества совокупного выброса токсичных веществ путем применения в автомобилях дожигателей и катализаторов выхлопа;

2. Создание безсветофорного движения на автомагистралях.

В дальнейшем предполагается выполнение замеров с помощью газоанализатора на различных расстояниях и высотах от магистрали с целью сравнения расчетных и замеренных результатов, а также определения рассеивания токсичных веществ в атмосфере в зависимости от погодных условий.

Список литературы

1. Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчётов загрязнения атмосферы городов. Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/Metodikaopredeleniyavybro.html> (дата обращения 01.06.2015).
2. Фирма «Интеграл». Программа «Магистраль-город» Версия 3.0. Руководство пользователя. Режим доступа: http://www.integral.ru/Integral/userguides/magistral_manual3.pdf (дата обращения 01.06.2015).
3. Унифицированная программа расчета загрязнения атмосферы «Эколог» Версия 3.0. Руководство пользователя. Режим доступа: http://www.integral.ru/Integral/userguides/magistral_manual3.pdf (дата обращения 01.06.2015).