

Лабораторная работа № 1

Определение уровня загрязнения воздушной среды автотранспортом

(Продолжительность практической работы – 8 часов)

Цель работы

Выполнение работы позволяет получить практические навыки оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух методом регистрации количества и типа автотранспортных единиц и последующего расчета.

Теоретическое введение

Природная среда крупных городов и промышленных центров, характеризующихся высокой плотностью населения и концентрацией промышленных, транспортных и коммунальных объектов, испытывает мощное техногенное воздействие. Существенной составляющей загрязнения воздушной среды городов, особенно крупных, являются выхлопные газы автотранспорта, которые в ряде столиц мира, административных центрах России и стран СНГ, городах-курортах составляют 60 – 80 % от общих выбросов.

Автотранспорт является одним из основных источников воздействия на окружающую среду, которое проявляется в следующем:

- загрязнение атмосферного воздуха выбросами от двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- создание сверхнормативного шумового и вибрационного поля вдоль автомагистралей;
- изменение природных ландшафтов и гидрологического режима при строительстве и эксплуатации автомагистралей;
- загрязнение ливневых и талых вод, а также почв нефтепродуктами и тяжелыми металлами вдоль автомагистралей;
- образование большого количества отходов, таких как: металлолом, аккумуляторы, отработанные масла, изношенные шины, промасленная ветошь, нефтешламы от автомоек и локальных очистных сооружений и др.

Как известно, при полном сгорании углеводородов конечными продуктами являются углекислый газ (CO_2) и пары воды. Однако полного сгорания топлива сейчас добиться невозможно, поэтому в отработавших газах автотранспорта присутствуют:

1. Продукты неполного сгорания в виде оксида углерода, альдегиды, кетоны, углеводороды, в том числе канцерогенные, водород, перекисные соединения, сажа;

2. Продукты термических реакций азота с кислородом, за счет чего образуются оксиды азота;

3. Соединения неорганических веществ, которые входят в состав топлива (соединения свинца, диоксид серы и др.);

4. Избыточный кислород.

Всего в отработавших газах идентифицировано более 200 различных химических веществ. Количество и состав отработавших газов определяются конструктивными особенностями автомашин, режимом работы их двигателей, техническим состоянием, качеством дорожных покрытий, метеоусловиями. Особенностью работы автомобильных двигателей являются переменные нагрузки, когда с режима холостого хода происходит переход на режим разгона, фазу установившейся работы и, наконец, торможение. Наиболее высокие концентрации оксида углерода в отработавших газах имеют место при работе двигателя на холостом ходу и полных нагрузках. Когда автомобиль разгоняется и движется с установившейся скоростью, в отработавших газах отмечаются наибольшие концентрации оксидов азота. Данные, приведенные в таблице 1, характеризуют количество и состав отработавших газов при разных режимах работы двигателя. Интерес представляют данные о выбросах токсичных компонентов для отдельных типов транспортных средств (табл. 2).

Таблица 1

Режим работы двигателя	Доля выбросов, %				по расходу топлива
	по времени	По выбросам			
		CO	C _n H _m	NO _x	
Холостой ход	39,5	13 – 25	15-18	0	15
Разгон	18,5	29 – 32	27-30	75-86	35
Установившийся режим	29,2	32 – 43	19-35	13-23	37
Замедление	12,8	10 – 13	23-32	0-1,5	13

Характеризуя автотранспорт как источник загрязнения атмосферного воздуха, нельзя не указать на то, что для повышения октанового числа бензина используют различные антидетонационные добавки и прежде всего и чаще всего тетраэтилсвинец. Кроме тетраэтилсвинца, применяют метилэтиловые соединения, карбонилы переходных металлов. В двигателе автомобиля тетраэтилсвинец распадается с образованием частиц твердого оксида свинца.

Таблица 2

Транспортные средства	Выбросы токсичных веществ, г/км			
	СО	C _n H _m	NO _x	Сажа
Мотоциклы типа «Ява»	8,2	6,7	0,1	-
Автомобили:				
«Жигули»	23,9	1,9	1,35	-
«Волга»	25,7	1,6	1,4	-
«УАЗ-451»	26,1	2,0	1,0	-
«КамАЗ»	2,98	0,49	2,7	9,52
«Икарус»	2,4	0,38	2,9	0,43

Наибольшее количество токсичных веществ выбрасывается автотранспортом в воздух на малом ходу, на перекрестках, остановках перед светофорами. Так, на небольшой скорости бензиновый двигатель выбрасывает в атмосферу 0,05% углеводородов (от общего выброса), а на малом ходу – 0,98%, окиси углерода соответственно – 5,1% и 13,8%. Подсчитано, что среднегодовой пробег каждого автомобиля 15 тыс. км. В среднем за это время он обедняет атмосферу на 4350 кг кислорода и обогащает ее на 3250 кг углекислого газа, 530 кг окиси углерода, 93 кг углеводородов и 7 кг окислов азота.

Отработавшие газы автомобилей с дизельными двигателями по своему составу отличаются от таковых при использовании в качестве топлива бензина. В дизельном двигателе за счет более полного сгорания топлива меньше образуется оксида углерода и несгоревших углеводородов. Однако за счет избытка воздуха в нем образуется больше оксидов азота.

Отработавшие газы автомобилей с дизельными двигателями характеризуются также дымностью. Черный дым представляет собой продукт неполного сгорания и состоит из частиц углерода 0,1 - 0,3 мкм. Белый дым образуется из частичек испарившегося топлива и капелек воды и выбрасывается при работе двигателя на холостом ходу. В составе белого дыма присутствуют в основном альдегиды, обладающие раздражающим действием. Голубой дым образуется при охлаждении на воздухе отработавших газов. Он состоит из капелек жидких углеводородов. Важной особенностью выбросов дизельных автомобилей является содержание канцерогенных полициклических ароматических углеводородов, среди которых наибольшее значение имеет бенз(а)пирен.

Автомобильный парк сосредоточен в основном в крупных городах. Транспортные потоки растут вместе с ростом городов из-за стихийного, не подчиненного рациональному планированию размещения жилых и промышленных зон. Большое значение имеют интенсивность и плотность транспортных потоков. Различают три основных состояния транспортного потока: свободное, групповое и колонное. При малой плотности (10 авт./км) возможно движение со свободной скоростью. При групповом движении (11- 30 авт./км) падение скорости потока ведет к дополнительному расходу топлива. Наконец, при колонном движении (31 - 100 авт./км) - снижается вплоть до затора, что также ведет к дополнительному расходу топлива.

Способы уменьшения загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта известны. Они сводятся к следующему:

- уменьшению токсичности отработавших газов за счет изменения регулировки и конструкции двигателя;
- рециркуляции отработавших газов;
- применению присадок к топливу для уменьшения дымности и токсичности отработавших газов дизельных двигателей;
- уменьшению токсичных выбросов с картерными газами и из топливной системы двигателя;
- нейтрализации отработавших газов;
- замене топлива и др.

Необходимо отметить, что все эти способы в полном объеме выброса загрязняющих веществ не устраняют. Лишь разработка и широкое внедрение электромобилей, в том числе использующих солнечную энергию, могло бы внести коренные изменения. Им присущи существенные преимущества перед автомобилями с бензиновыми или дизельными двигателями. Однако они имеют и серьезные недостатки, связанные с аккумуляторными батареями для них.

Токсичность отработавших газов во многом зависит от двигателей автомобилей. В конструкции двигателя имеют значение форма и размеры камеры сгорания. Выброс отработавших газов снижается также за счет обогащения смеси, уменьшения угла опережения зажигания, снижении степени сжатия, увеличения частоты вращения вала двигателя, впрыска воды во впускной трубопровод, частичной рециркуляции отработавших газов. На протяжении последних лет применяется и такая мера, как рециркуляция отработавших газов в двигателях с искровым зажиганием и дизельных двигателях.

С отработавшими газами дизельных двигателей в атмосферный воздух поступают сажа, на частицах которой адсорбируются, например, бенз(а)пирен, а также продукты частичного окисления (альдегиды и др.). Для уменьшения токсичности этих выбросов используются различные присадки к топливу. Эта мера снижает дымность отработавших газов.

Для устранения загрязнения атмосферного воздуха свинцом важное значение имеет замена антидетонационных присадок, в частности, тетраэтилсвинца, на новые добавки к моторному топливу.

Для обеспечения окисления оксида углерода и углеводородов до конечных продуктов сгорания применяются пламенные нейтрализаторы. Для дожигания углеводородов и оксида углерода, разложения оксидов азота все более широко внедряются каталитические нейтрализаторы. Применение нейтрализаторов, успешно реализуемое во многих странах, обеспечивает эффективное снижение концентрации оксида углерода, углеводородов и оксидов азота в отработавших газах.

Каталитические нейтрализаторы обеспечивают реакции химических веществ между собой или с избытком кислорода. При этом имеет место окисление оксида углерода до диоксида углерода, углеводородов – до диоксида углерода и водяных паров, восстановление оксидов азота, в основном оксидом углерода, до азота и диоксида углерода.

Каталитические нейтрализаторы делятся на дизельные, которые обрабатывают отработавшие газы с низким содержанием оксида углерода и углеводородов, и бензиновые для двигателей с искровым зажиганием, для которых, наоборот, характерно высокое содержание последних в отработавших газах автомобилей.

С учетом характера основной реакции нейтрализации отработавших газов каталитические нейтрализаторы делятся на окислительные, восстановительные и трехкомпонентные. Окислительные обеспечивают окисление оксида углерода, углеводородов и альдегидов. Восстановительные используются меньше, в основном для восстановления оксида азота. Трехкомпонентные нейтрализаторы предназначены для очистки отработавших газов от оксида углерода, углеводородов, оксидов азота.

Катализаторы достаточно эффективны, однако стоимость их очень высокая. Нейтрализаторы устанавливаются на автомобилях между двигателем и глушителем.

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха отработанными газами автотранспорта (по концентрации CO)

Концентрацию окиси углерода находят по формуле (1):

$$K_{CO} = (0,5 + 0,01N \cdot K_T) \cdot K_A \cdot K_Y \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{II}, \quad (1)$$

где

0,5 – фоновое загрязнение атмосферного воздуха нетранспортного происхождения, мг/м³;

N – суммарная интенсивность движения автомобилей на городской дороге, авт./ч;

K_T – коэффициент токсичности автомобилей по выбросам в атмосферу окиси углерода;

K_A – коэффициент, учитывающий аэрацию местности;

K_Y – коэффициент, учитывающий изменение загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона;

K_C – коэффициент, учитывающий изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра;

K_B – то же в зависимости от относительной влажности воздуха;

K_{II} – коэффициент увеличения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода у пересечений.

Коэффициент токсичности автомобилей определяется как средневзвешенный для потока автомобилей по формуле (2):

$$K_T = \sum P_i K_{Ti}, \quad (2)$$

где: P_i – состав автотранспорта в долях единицы,

K_{Ti} – определяется по табл. 3.

Таблица 3

Тип автомобиля	Коэффициент K _T
Легковой	1,0
Легкий грузовой	2,3
Средний грузовой	2,9
Тяжелый грузовой (дизельный)	0,2
Автобус	3,7

Значение коэффициента K_A, учитывающего аэрацию местности, определяется по табл. 4.

Таблица 4

Тип местности по степени аэрации	Коэффициент K_A
Транспортные тоннели	2,7
Транспортные галереи	1,5
Магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой с двух сторон	1,0
Жилые улицы с одноэтажной застройкой, улицы и дороги в выемке	0,6
Городские улицы и дороги с односторонней застройкой, набережные, эстакады, высокие насыпи	0,4
Пешеходные тоннели	0,3

Значение коэффициента K_y , учитывающего изменение загрязнения воздуха окисью углерода в зависимости от величины продольного уклона, определяют по табл. 5.

Таблица 5

Продольный уклон, °	Коэффициент K_y
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Коэффициент изменения концентрации окиси углерода в зависимости от скорости ветра K_C определяется по табл. 6.

Таблица 6

Скорость ветра, м/с	Коэффициент K_C
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Значение коэффициента K_B , определяющего изменение концентрации окиси углерода в зависимости от относительной влажности воздуха, приведено в табл. 7.

Таблица 7

Относительная влажность, %	Коэффициент K_B
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75

Коэффициент увеличения загрязнения воздуха окисью углерода у пересечений приведен в табл. 8.

Таблица 8

Тип пересечения	Коэффициент K_{II}
Регулируемое пересечение:	
- со светофорами обычное	1,8
- со светофорами управляемое	2,1
- саморегулируемое	2,0
Нерегулируемое:	
- со снижением скорости	1,9
- кольцевое	
- с обязательной остановкой	2,2 3,0

Атмосфероохранные мероприятия

Учитывая особую значимость автотранспорта в загрязнении атмосферного воздуха была принята «Программа оздоровления окружающей среды г. Казани на 1998 - 2002 гг.», которая предусматривала следующие мероприятия:

1. Инструментальный контроль токсичности (дымности) отработавших газов с выдачей талона «Чистый воздух». В 2000 году проверено 123 тыс. автомашин.

2. Постановлением Главы администрации г. Казани от 17.08.98 № 1660 «О запрещении реализации этилированного бензина на территории г. Казани» в г. Казань поступает только неэтилированный бензин, что позволило исключить выбросы в атмосферу высокотоксичных соединений свинца.

3. Перевод на сжатый природный газ. В 2000 г. 470 государственных и 1500 личных автомашин переоборудованы для работы на сжиженном газе.

Республиканская программа по переводу автотранспорта на сжатый природный газ, утвержденная постановлением КМ РТ от 19.05.95 № 312, предусматривает:

1. Проведение экологической оценки воздействия автотранспорта на окружающую среду.

2. Разработку оптимальной схемы движения автотранспорта на магистралях города с оптимальной развязкой транспортных узлов.

3. Внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением в г. Казани по типу «Зеленая волна» на наиболее загруженных магистралях.

4. Разработку сводного тома «Охрана атмосферы и нормативы ПДВ (ВСВ) г. Казани», необходимого для оценки состояния окружающей среды в части атмосферного воздуха и принятия соответствующих управленческих решений.

Вопросы для самопроверки

1. Какое воздействие оказывает автотранспорт на окружающую среду?

2. Какие химические соединения присутствуют в отработавших газах автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями?

3. При каких режимах работы двигателя достигаются максимальные выбросы CO, C_nH_m, NO_x?

4. Какие Вам известны способы уменьшения загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами автотранспорта?

5. Что такое нейтрализаторы? Каково их назначение?

6. Какие атмосфероохранные мероприятия предусматривает «Программа оздоровления окружающей среды г. Казани на 1998 - 2002 гг.»?

Рабочее задание

В ходе выполнения данной лабораторной работы каждый студент должен выполнить следующее:

- 1) ознакомиться с методикой оценки воздействия автотранспорта на окружающую среду, изложенной в данной лабораторной работе;
- 2) произвести подсчет количества и типа автотранспортных средств за определенный промежуток времени на дорогах в районе улиц Чистопольская, Красносельская, Декабристов;
- 3) произвести оценку состояния окружающей среды в районе поста наблюдений;
- 4) результаты наблюдений занести в протокол наблюдений;
- 5) вычислить концентрацию окиси углерода в атмосферном воздухе, в $\text{мг}/\text{м}^3$, и сравнить ее с ПДК;
- 6) составить отчет о лабораторной работе;
- 7) сделать вывод на основании результатов эксперимента.

Указания по выполнению лабораторной работы

Студенты разделяются на группы и размещаются на определенных участках разных улиц с односторонним движением. В случае двухстороннего движения каждая группа размещается на своей стороне. Интенсивность движения автотранспорта определяется методом подсчета автомобилей разных типов в течение 30 мин. Автомобили разделяют на три категории: с карбюраторным двигателем, дизельные, автобусы. Результаты замеров заносят в протокол наблюдений. При прохождении мимо поста наблюдений транспортного средства оно фиксируется в виде крестика в правом столбце протокола в соответствующей категории.

Протокол наблюдений

Место наблюдений _____

Дата _____

Время наблюдений: от ____ час ____ мин. до ____ час ____ мин.

Тип автомобиля	Число единиц
Легковой	
Легкий грузовой (до 5 т)	
Средний грузовой (5 - 8 т)	
Тяжелый грузовой (дизельный) (свыше 8 т)	
Автобус	

Исполнитель _____ (подпись)

В каждой точке наблюдений производится оценка улицы.

1. Тип улицы: городские улицы с односторонней застройкой (набережные, эстакады, насыпи), жилые улицы с двусторонней застройкой, дороги в выемке, магистральные улицы и дороги с многоэтажной застройкой с двух сторон, транспортные тоннели и др.

2. Пересечения (перекрестки): регулируемый (саморегулируемый, светофор) или нерегулируемый (со снижением скорости, кольцевое и др.).

3. Уклон. Определяется глазомерно или эклиметром.

4. Скорость ветра. Определяется анемометром.

5. Относительная влажность воздуха. Определяется психрометром.

6. Наличие защитной полосы из деревьев.

Собранные материалы записывают в лабораторный журнал.

В случае невозможности проведения экспериментальных исследований на улице (плохая погода и проч.) лабораторная работа проводится расчетным путем на основании исходных данных, полученных у преподавателя.

Например: магистральная улица города с многоэтажной застройкой с двух сторон (без перекрестка), продольный уклон 2°, скорость ветра 4 м/с, относительная влажность воздуха – 70 %, температура 20 °С. Расчетная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях – 500 автомашин в час (N). Состав автотранспорта: 70 % легковых автомобилей, 10 % грузовых автомобилей с малой грузоподъемностью, 10 % со средней грузоподъемностью, 5 % с большой грузоподъемностью с дизельными двигателями и 5 % автобусов.

Указания по обработке результатов

Загрязнение атмосферного воздуха отработанными газами автомобилей по концентрации окиси углерода рассчитывают в мг/м^3 по формуле (1) (методика расчета описана выше). Полученный результат сравнивают с ПДК окиси углерода.

ПДК выбросов автотранспорта по окиси углерода равно 5 мг/м^3 .

Требования к оформлению отчета

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы
2. Протокол измерений и обработку результатов.
3. Анализ полученных результатов.
4. Выводы по лабораторной работе.

Домашнее задание

1. Ответить по предложенной литературе на вопросы, указанные в плане проведения лабораторного занятия.

Контрольные вопросы

1. Как определяется интенсивность движения автотранспорта на участке магистральной улицы?
2. Как производится оценка улицы в районе поста наблюдений?
3. С помощью каких приборов определяют уклон местности, скорость ветра, относительную влажность воздуха?
4. Как найти концентрацию окиси углерода в атмосферном воздухе?
5. Какие параметры необходимо при этом учитывать?
6. Что такое ПДК? Единицы измерения.
7. Какие мероприятия необходимо осуществлять для уменьшения загрязнения атмосферного воздуха окисью углерода?