

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский университет
Государственной противопожарной службы МЧС России

На правах рукописи

Марченко Василий Сергеевич

**Методика оценки чрезвычайного локального загрязнения оксидами азота
приземной воздушной среды вблизи автодорог**

05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт)

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: к.х.н., доцент
Ложкина Ольга Владимировна

Санкт-Петербург

2015

Оглавление

Введение	6
1 Аналитический обзор	14
1.1 Система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом загрязняющих веществ в атмосферный воздух.....	14
1.1.1 Общие понятия и классификация чрезвычайных ситуаций.....	14
1.1.2 Система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций	16
1.1.3 Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город».....	18
1.2 Характеристика автотранспорта как источника формирования чрезвычайных ситуаций экологического характера.....	22
1.2.1 Международный опыт в области снижения опасного воздействия автотранспорта	22
1.2.2 Политика Российской Федерации в сфере уменьшения отрицательного воздействия автотранспорта на окружающую среду	24
1.2.3 Современное состояние контроля негативного воздействия транспорта на окружающую среду и человека на примере Санкт-Петербурга	26
1.3 Потенциальная опасность оксидов азота: экотоксикологическая характеристика	31
1.3.1 Основные представления о трансформации оксидов азота в атмосфере и их роль в загрязнении окружающей среды	31
1.3.2 Негативное воздействия оксидов азота на здоровье человека.....	33
1.4 Анализ современных представлений о природе образования оксидов азота в организованных процессах горения в двигателях автотранспортных средств	37
1.5 Анализ методологических подходов и действующих расчетных методик по оценке опасного воздействия транспорта на городскую среду	39
1.6 Анализ физико-математических моделей оценки формирования экстремально высоких концентраций загрязняющих веществ в городской среде вблизи автомагистралей	46
1.7 Выводы по обзору. Цель и задачи исследования.....	50

2 Изучение динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 годах	53
2.1 Исследование численных характеристик легкового, грузового и автобусного парков.....	53
2.2 Анализ структуры парка автотранспортных средств по производителю	55
2.3 Изменение возрастной структуры автопарка.....	58
2.4 Выводы по разделу	62
3 Бортовой мониторинг удельных выбросов NO_x легкового автотранспорта на автодорогах Санкт-Петербурга.....	63
3.1 Постановка экспериментальных исследований, объекты испытаний, условия эксперимента.....	63
3.2 Обработка полученных экспериментальных данных.....	68
3.3 Результаты мониторинга содержания NO _x в отработавших газах легковых автомашин в городских условиях эксплуатации	77
3.3.1 Удельные выбросы NO _x легковых автомобилей с бензиновыми двигателями....	77
3.3.2 Удельные выбросы NO _x легковых автомобилей с дизельными двигателями	83
3.4 Определение усредненных значений удельных выбросов NO _x для легкового транспорта.....	86
3.5 Выводы по разделу.....	96
4 Натурные обследования структуры и характера движения транспортных потоков в «часы пик» на участках автомобильных дорог Санкт-Петербурга с интенсивным движением.....	98
4.1 Обоснование учетных категорий автотранспортных средств для оценки и прогнозирования возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота в окрестностях автомагистралей	98
4.2 Проведение натурных обследований структуры и характера движения транспортных потоков на участках автомобильных дорог Санкт-Петербурга с неблагоприятными градостроительными характеристиками в «часы пик»	100
4.2.1 Оценка интенсивности движения на Московском проспекте	100

4.2.2 Оценка интенсивности движения на Кольцевой автомобильной дороге Санкт-Петербурга.....	103
4.3 Выводы по разделу.....	111
5 Расчетная оценка и прогнозирование проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автодорог на примере Санкт-Петербурга	113
5.1 Обоснование расчетных ситуационных сценариев чрезвычайных ситуаций	113
5.2 Анализ результатов численного эксперимента по ситуационным сценариям чрезвычайных ситуаций	118
5.2.1 Расчетные значения проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO _x на Московском проспекте.....	118
5.2.2 Расчетные значения проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO _x на Кольцевой автомобильной дороге Санкт-Петербурга	123
5.3 Выводы по разделу.....	128
Заключение.....	130
Список сокращений и условных обозначений.....	134
Словарь терминов.....	136
Список литературы.....	137
Приложение 1. Экологические стандарты Евро 1 - Евро 6 для легковых автомобилей.....	157
Приложение 2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [44, 45].....	158
Приложение 3. Показатели (нормативы) для характеристики качества атмосферного воздуха, установленные директивами ЕС	159
Приложение 4. Перечень методик, использующихся для расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов от автотранспортных средств [98]	160
Приложение 5. Значения пробеговых выбросов M _{L1} (г/км) для различных групп автомобилей [114]	161

Приложение 6. Значения удельных выбросов NO_x исследованных АТС при различных скоростях движения.....	162
Приложение 7. Полевой журнал.....	163
Приложение 8. Акты внедрения	166

Введение

Актуальность темы исследования. Опасность для населения, проживающего в крупных городах России, сегодня в значительной степени определяется эмиссией автомобильным транспортом в окружающую среду вредных загрязняющих веществ, в том числе оксидов азота. Монооксид азота (NO) и диоксид азота (NO_2), являясь основными компонентами фотохимического смога и кислотных осадков, оказывают негативное воздействие на человека и экологические системы. При неблагоприятных транспортно-метеорологических условиях вблизи автомобильных дорог и их пересечений формируются экстремально высокие значения приземных концентраций NO_2 . В результате могут сложиться локальные чрезвычайные ситуации (ЧС), опасные для людей, проживающих поблизости от автомагистралей.

Современные методологии оценки и прогнозирования негативного эффекта, оказываемого автотранспортом на городскую воздушную среду, а также риска возникновения локальных чрезвычайных загрязнений воздуха вблизи автомагистралей основаны на использовании физико-математических моделей, важными параметрами которых являются категории условно принятых учетных групп автотранспортных средств (АТС) и значения удельных пробеговых выбросов (УВ) загрязняющих веществ (ЗВ), установленные для каждой категории автомобилей.

В современных методологических подходах имеются существенные расхождения в оценке удельных выбросов оксидов азота (NO_x) автомобилями. Это негативно сказывается на результатах мониторинга возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения атмосферного воздуха оксидами азота и прогнозирования вероятных последствий их воздействия на население, проживающее вблизи автомагистралей. Устранение подобных противоречий может быть достигнуто путем установления значений УВ оксидов азота посредством бортового мониторинга содержания NO_x в отработавших газах (ОГ) в зависимости от скорости, типа и технического состояния автомобиля при движении по реальным городским ездовым циклам. Кроме того, точность

расчетных методик выбросов автотранспорта определяется набором параметров (интенсивность, структура, плотность, скорость движения) и способом оценки транспортных потоков. Усовершенствование методики в части категорирования АТС, а также организации натурных наблюдений за интенсивностью движения по городским автодорогам в течение дня и года с учетом современных тенденций изменения структуры автопарка является актуальной задачей для оптимизации расчетной методологии.

В связи с вышеотмеченным, выполнение исследований, посвященных установлению значений пробеговых выбросов NO_x в городских условиях эксплуатации для разных типов АТС и определению расчетно-аналитическим методом условий формирования экстремально-высоких концентраций NO_2 , а, следовательно, возникновению и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды оксидами азота вблизи автодорог, представляется актуальным и своевременным.

Тема диссертационного исследования связана с основами государственной политики в области обеспечения безопасности населения Российской Федерации (РФ), защищенности критически важных и потенциально опасных объектов от угроз техногенного характера в части, касающейся развития систем мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, соответствует целям и задачам, изложенным в Докладе министра Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС) В.А. Пучкова «О долгосрочных перспективах развития системы МЧС России (МЧС-2030)» на заседании Экспертного совета МЧС России 30 октября 2012 года, касающихся развития систем мониторинга и прогнозирования ЧС, экспресс-методов выявления и диагностики опасностей и угроз, и отвечает новому принципу обеспечения безопасности жизнедеятельности населения - переходу от оперативного реагирования к управлению рисками, профилактике и предупреждению ЧС.

Степень разработанности.

Общими вопросами опасного загрязнения воздушной среды вредными веществами, в том числе оксидами азота, выделяющимися с отработавшими газами автотранспортных средств, занимались известные советские, российские и зарубежные ученые: С.А. Батурин, Ю.Б. Свиридов, В.А. Звонов, В.Н. Луканин, В.Н. Ложкин, А.В. Николаенко, а также зарубежные исследователи J. Sachse, M. Torge, A. Peters, M. Heier, J. Kukkonen. Особенности образования оксидов азота в камерах ДВС автомобилей посвящены труды выдающегося советского ученого Я.Б. Зельдовича, а также В.Н. Ложкина, В.А. Звонова, С.Р. Fenimore, J.A. Miller, С.Т. Bowman. Химическая трансформация оксидов азота в атмосфере исследовалась Э.Ю. Безуглой, И.В. Смирновой, Т.П. Ивлевой. Изучение негативного воздействия NO_x на здоровье людей отражено в работах К.Б. Фридмана, Т.Е. Лим, I. Mavroidis, R.D. Brook, Н. Кан и многих других исследователей. Физико-математические модели атмосферной диффузии загрязняющих веществ от промышленных источников и автотранспорта были разработаны в ГГО им. Воейкова М.Е. Берляндом, Е.Л. Гениховичем, Р.И. Оникулом, а также за рубежом J.C. Fensterstock, G.A. Briggs, D.B. Turner. Научно-методические основы оценки негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду разрабатываются как в зарубежных научных школах, в том числе широкую известность получили финская методология и программное обеспечение CAR-FMI, греческая методология и программное обеспечение COPERT, американская модель CALINE, так и в РФ, главным образом, в «НИИ Атмосфера» (С.-Петербург) и НИИ автомобильного транспорта (Москва). Высокая эффективность методик оценки и прогнозирования эмиссии вредных веществ автотранспортными средствами (АТС) была ранее доказана в работах В.Н. Ложкина, О.В. Ложкиной, М.В. Волкодаевой, М.М. Полуэктовой, С.В. Лукьянова. Однако, в последнее время стала совершенно очевидной необходимость существенного их уточнения в части оценки реальных «пробеговых выбросов» NO_x , категорирования АТС с учетом изменения структуры автопарка и усовершенствования процедуры изучения интенсивности

движения на городских автомагистралях. Кроме того, во всех ранее проведенных исследованиях не было представлено комплексного подхода оценки возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды вблизи автодорог оксидами азота с учетом неблагоприятности локальных климатических условий рассеивания атмосферных примесей, влияния прилегающей застройки, особенностей структуры транспортных потоков.

Цель исследования разработать методику комплексной оценки и прогнозирования чрезвычайного загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автодорог учитывающую неблагоприятные транспортные, метеорологические и градостроительные условия.

Задачи исследования:

1. Разработать методику определения содержания NO_x в отработавших газах автомобилей при движении по городским ездовым циклам, обосновать выбор категории автотранспортных средств для проведения бортового исследования на основании изучения динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 гг.

2. Определить удельные пробеговые выбросы NO_x , установить функциональную зависимость фактора эмиссии NO_x от скорости движения и значения коэффициента, учитывающего изменение выброса NO_x при разных скоростях движения автотранспортных средств.

3. Провести натурные обследования транспортных потоков в Санкт-Петербурге и обосновать учетные категории автотранспортных средств для оценки и прогнозирования чрезвычайного локального загрязнения воздуха вблизи автомагистралей.

4. Осуществить расчетную оценку содержания NO_x в придорожном воздушном слое вблизи ряда автомагистралей Санкт-Петербурга и определить условия и закономерности возникновения локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_2 .

Научная новизна.

1. Впервые разработана методика определения содержания NO_x в отработавших газах автомобилей при движении по городским ездовым циклам в реальных условиях эксплуатации автомобилей, обоснован выбор категории автотранспортных средств для проведения бортового исследования на основании изучения динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 гг.

2. Определены удельные пробеговые выбросы NO_x , установлена функциональная зависимость фактора эмиссии NO_x от скорости движения и значения коэффициента, учитывающего изменение выброса NO_x при разных скоростях движения автотранспортных средств.

3. По результатам натурных обследований транспортных потоков в Санкт-Петербурге обоснованы учетные категории автотранспортных средств для оценки и прогнозирования чрезвычайного локального загрязнения воздуха вблизи автомагистралей.

4. Осуществлена расчетная оценка содержания NO_x в придорожном воздушном слое вблизи ряда автомагистралей Санкт-Петербурга и определены условия и закономерности возникновения локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_2 .

Теоретическая значимость работы.

Выявлены закономерности эмиссии NO_x в зависимости от скорости движения, типа и экологического класса автотранспортных средств, а также установлены закономерности формирования чрезвычайно высоких приземных концентраций NO_x вблизи городских автомагистралей при неблагоприятных метеорологических и градостроительных условиях в часы максимальной транспортной нагрузки.

Практическая значимость работы.

Разработана методика оценки чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автомагистралей, учитывающая влияние неблагоприятных климатических и градостроительных условий на формирование экстремально

высоких концентраций NO_x и позволяющая с высокой степенью достоверности осуществлять мониторинг и прогнозирование локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_x в окрестностях автодорог города с интенсивным движением.

Методы исследования: теоретический анализ закономерностей образования NO_x в двигателях автомобилей и распространения в атмосферном воздухе, статистический анализ, анализ размерностей и π -теорема, экспериментальное исследование содержания NO_x в отработавших газах в реальных условиях движения, корреляционно-регрессионный анализ, натурные эксперименты по определению характеристик автотранспортных потоков, математическое моделирование максимального содержания NO и NO_2 в приземном воздушном слое.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика бортового мониторинга NO_x в отработавших газах автомобилей, эксплуатируемых в городских условиях, обоснование выбора категории легковых автотранспортных средств для проведения экспериментального исследования на основании изучения динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 гг.

2. Обоснование значений удельных пробеговых выбросов NO_x для легковых автотранспортных средств, установление функциональной зависимости фактора эмиссии NO_x от скорости и определение значений коэффициента, учитывающего зависимость фактора эмиссии NO_x от скорости движения.

3. Обоснование учетных категорий автотранспортных средств для оценки и прогнозирования возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автомагистралей с неблагоприятными градостроительными характеристиками в часы максимальной транспортной нагрузки на основании проведенных натурных обследований транспортных потоков в Санкт-Петербурге.

4. Результаты расчетной оценки загрязнения атмосферного воздуха NO_x вблизи автомагистралей Санкт-Петербурга, определение условий и

закономерностей возникновения локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_2 .

Достоверность основных положений диссертационного исследования подтверждена соответствием расчетных значений приземных концентраций NO_x данным автоматической системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, использованием поверенного газоаналитического оборудования, а также согласованностью полученных результатов с аналогичными данными других научных школ.

Апробация результатов.

Основные результаты диссертационного исследования доложены и обсуждены на Международной научно-практической конференции "Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций" (Санкт-Петербург, СПб УГПС МЧС России, 2011); на X Международной конференции "Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: ресурсы и возможности" (Санкт-Петербург, ИБДД СПбГАСУ, 2012); на IV Международной научно-практической конференции "Измерения в современном мире - 2013" (Санкт-Петербург, СПбГПУ, 2013); на I Санкт-Петербургском форуме "Инновационные технологии в области получения и применения горючих и смазочных материалов" (Санкт-Петербург, СПбНЦ РАН, 2013); на Международной научно-практической конференции "Загрязнение атмосферы городов" (Санкт-Петербург, ГГО им. А.И. Воейкова Росгидромета, 2013); на IX Международной конференции "Качество воздуха: наука и практика" (Гармиш-Партенкирхен, Германия, 2014); на VI Международной научно-практической конференции "Сервис безопасности в России. Вопросы обеспечения комплексной безопасности деятельности в Арктическом регионе" (Санкт-Петербург, СПб УГПС МЧС России, 2014).

Публикации. Материалы диссертационной работы отражены в 17 публикациях, среди которых 6 публикаций в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для опубликования основных результатов диссертационных исследований.

Реализация результатов исследования. Основные результаты научных исследований использованы в "Методике определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" (Санкт-Петербург, ОАО "НИИ Атмосфера", 2010), рекомендованы для уточнения "Методики определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", утвержденной распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности правительства Санкт-Петербурга, а также применяются в образовательном процессе ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

1 Аналитический обзор

1.1 Система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросом загрязняющих веществ в атмосферный воздух

1.1.1 Общие понятия и классификация чрезвычайных ситуаций

В постоянно меняющихся условиях важно опережающими темпами развивать систему мониторинга и прогнозирования ЧС, экспресс-методы выявления и диагностики опасностей и угроз [1].

Под ЧС понимается обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [2].

ЧС можно классифицировать по следующим принципам - природе возникновения, темпу развития и масштабу распространения.

По природе возникновения ЧС подразделяются на:

- природные, источником которых является опасное природное явление или процесс (землетрясения, вулканы, обвалы, оползни, наводнения, цунами и т.п.), в результате которого на определенной территории или акватории произошла или может возникнуть ЧС [3];

- техногенные, источником которых является опасное техногенное происшествие (промышленная, радиационная, химическая, биологическая, транспортная авария или катастрофа, пожар, взрыв и т.п.), в результате которого на объекте, определенной территории или акватории произошла ЧС [4];

- биолого-социальные, источником которых является особо опасная или широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений (эпидемия, эпизоотия, панзоотия и т.п.), в результате которой на определенной территории произошла или может возникнуть ЧС [5];

- экологические [6], обусловленные критическим состоянием атмосферного воздуха, воды и почв, связанные с устойчивыми отрицательными изменениями в окружающей природной среде, угрожающими здоровью населения, состоянию естественных экологических систем, генетических фондов растений и животных, при выявлении признаков крайних степеней экологического неблагополучия [7, 8];

- комбинированные (включают несколько видов ЧС).

По масштабу распространения ЧС подразделяют на:

- ЧС локального характера, в результате которой территория, на которой сложилась ЧС и нарушены условия жизнедеятельности людей (зона ЧС), не выходит за пределы объекта, при этом количество погибших или пострадавших, составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей;

- ЧС муниципального характера, в результате которой зона ЧС не выходит за пределы территории одного поселения или внутригородской территории города федерального значения, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей, а также данная ЧС не может быть отнесена к ЧС локального характера;

- ЧС межмуниципального характера, в результате которой зона ЧС затрагивает территорию двух и более поселений, внутригородских территорий города федерального значения или межселенную территорию, при этом количество пострадавших составляет не более 50 человек либо размер материального ущерба составляет не более 5 млн. рублей;

- ЧС регионального характера, в результате которой зона ЧС не выходит за пределы территории одного субъекта Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

- ЧС межрегионального характера, в результате которой зона ЧС затрагивает территорию двух и более субъектов Российской Федерации, при этом количество пострадавших составляет свыше 50 человек, но не более 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 5 млн. рублей, но не более 500 млн. рублей;

- ЧС федерального характера, в результате которой количество пострадавших составляет свыше 500 человек либо размер материального ущерба составляет свыше 500 млн. рублей [9].

1.1.2 Система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций

Важнейшим направлением принятой МЧС России стратегии снижения риска и уменьшения последствий стихийных бедствий, аварий и катастроф является создание системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций и координации работ в этой области [10].

Одной из подсистем единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС, является функциональная подсистема мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС [11].

Основными задачами функциональной подсистемы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС являются:

- организация и проведение работ по заблаговременному выявлению и прогнозированию чрезвычайных ситуаций природного, техногенного характера и их источников с учетом риска их возникновения;

- определение возможного характера чрезвычайных ситуаций и масштаба их развития;

- выработка рекомендаций по управлению рисками чрезвычайных ситуаций, по их предупреждению, локализации, ликвидации и смягчению негативных последствий [12].

Для выполнения поставленных задач подсистемой мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС выполняются следующие функции:

- организация и ведение работ по мониторингу источников чрезвычайных ситуаций, лабораторному контролю и прогнозированию чрезвычайных ситуаций;
- сбор, обработка и анализ информации об источниках чрезвычайных ситуаций и показателях риска возникновения чрезвычайных ситуаций;
- осуществление мониторинга и прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций;
- проведение оперативного лабораторного контроля с целью обнаружения и индикации радиоактивного, химического, биологического (бактериологического) заражения (загрязнения) объектов окружающей среды, продовольствия, питьевой воды, пищевого и фуражного сырья;
- координация деятельности, организационное и методическое обеспечение сети наблюдения и лабораторного контроля;
- выработка рекомендаций по управлению рисками чрезвычайных ситуаций и оценки эффективности реализации комплекса мер, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций и снижение негативных последствий при их возникновении;
- разработка типовых сценариев возникновения и развития чрезвычайных ситуаций и оценка риска их возникновения;
- информационное обеспечение органов управления единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций прогнозными данными и рекомендациями в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- создание специализированных геоинформационных систем, банка данных по источникам чрезвычайных ситуаций и оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций;

- обеспечение готовности сил и средств, предназначенных для осуществления мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера;
- методическое руководство и оперативный контроль хода работ по прогнозированию и мониторингу чрезвычайных ситуаций и снижению их негативных последствий [12].

1.1.3 Аппаратно-программный комплекс «Безопасный город»

Реализация единого системного подхода к обеспечению безопасности среды обитания в условиях сохранения высокого уровня рисков техногенного и природного характера и продолжающейся тенденции к урбанизации является одним из важных элементов создания устойчивого социально-экономического развития и роста инвестиционной привлекательности городов Российской Федерации.

Отсутствие единого системного подхода и возросшие требования к функциональному наполнению систем безопасности обусловили необходимость формирования на уровне субъекта Российской Федерации и муниципального образования комплексной многоуровневой системы обеспечения безопасности среды обитания, базирующейся на современных подходах к мониторингу, прогнозированию чрезвычайных ситуаций и реагированию на них [13].

С целью повышения общего уровня общественной безопасности, правопорядка и безопасности среды обитания, путем внедрения на базе муниципальных образований комплексной информационной системы, обеспечивающей прогнозирование, мониторинг, предупреждение и ликвидацию возможных угроз, а также контроль устранения последствий чрезвычайных ситуаций с интеграцией под ее управлением действий информационно-управляющих подсистем дежурных, диспетчерских, муниципальных служб для их оперативного взаимодействия происходит построение и развитие Аппаратно-программного комплекса технических средств «Безопасный город» (АПК БГ).

Основными задачами комплекса "Безопасный город" являются:

- формирование коммуникационной платформы для органов местного самоуправления с целью устранения рисков обеспечения общественной безопасности, правопорядка и безопасности среды обитания на базе межведомственного взаимодействия;
- разработка единых функциональных и технических требований к аппаратно-программным средствам, ориентированным на идентификацию потенциальных точек уязвимости, прогнозирование, реагирование и предупреждение угроз обеспечения безопасности муниципального образования;
- обеспечение информационного обмена между участниками всех действующих программ соответствующих федеральных органов исполнительной власти в области обеспечения безопасности через единое информационное пространство с учетом разграничения прав доступа к информации разного характера;
- обеспечение информационного обмена на федеральном, региональном и муниципальном уровнях через единое информационное пространство с учетом разграничения прав доступа к информации разного характера;
- создание дополнительных инструментов на базе муниципальных образований для оптимизации работы существующей системы мониторинга состояния общественной безопасности;
- построение и развитие систем ситуационного анализа причин дестабилизации обстановки и прогнозирования существующих и потенциальных угроз для обеспечения безопасности населения муниципального образования.

АПК БГ является совокупностью функциональных и технических требований к аппаратно-программным средствам, нормативных правовых актов и регламентов межведомственного взаимодействия, направленных на противодействие угрозам общественной безопасности, правопорядку и безопасности среды обитания, формирующих вместе с действующими федеральными системами обеспечения безопасности интеллектуальную многоуровневую систему управления безопасностью субъекта Российской

Федерации в целом и муниципального образования в частности, за счет прогнозирования, реагирования, мониторинга и предупреждения возможных угроз, а также контроля устранения последствий чрезвычайных ситуаций [13].

Концепция АПК БГ, среди прочих, определяет и основные виды экологических угроз, обусловленных критическим состоянием атмосферного воздуха:

- превышение предельно допустимой концентрации вредных примесей в атмосфере;
- температурные инверсии над городами;
- "кислородный" голод в городах.

Для мониторинга и прогнозирования угроз, обусловленных критическим состоянием атмосферного воздуха в АПК БГ предполагается создать комплекс средств автоматизации функционального блока «Экологическая безопасность», который включает сегмент геоэкологического планирования, сегмент гидрометеорологической информации и сегмент экомониторинга.

Одними из основных функций создаваемых сегментов, являются:

- комплексный мониторинг муниципальной застройки и уже существующих объектов с учетом данных по экологической ситуации (в том числе ведение реестров нормативных и фактических значений предельно допустимых выбросов и предельно допустимой концентрации веществ; отображение на электронной карте реестровой информации; определение источников загрязнения окружающей среды на базе встроенных аналитических моделей, использующих оперативную фактическую информацию о параметрах загрязнений окружающей среды, исторические статистические данные; прогнозирование развития угроз экологической безопасности с учетом муниципальной застройки и гидрометеорологической обстановки);
- предоставление оперативной гидрометеорологической информации;
- мониторинг загрязнения окружающей среды, включая:

а) консолидацию и отражение на электронной карте данных в части превышения предельно допустимой концентрации вредных примесей в атмосфере;

б) обеспечение представления в геоинформационной системе информации реестров природопользователей в части фактических и допустимых значений предельно допустимых выбросов и предельно допустимой концентрации веществ [14].

Анализ законодательства в сфере единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) позволяет сделать вывод, что в настоящий момент отсутствуют четкие критерии, позволяющие определять возникновение и масштаб экологических ЧС техногенного характера, связанных с чрезвычайным загрязнением атмосферного воздуха городов токсичными веществами, выделяющимися с ОГ автомобилей.

Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным, прежде всего, сформулировать понятия чрезвычайного локального загрязнения воздушной среды в окрестностях автомобильных дорог.

Чрезвычайное локальное загрязнение воздушной среды вблизи автодорог - чрезвычайная ситуация экологического характера, техногенная по своей природе, локальная, муниципальная или межмуниципальная по масштабу, возникшая на прилегающих к автомобильным магистралям территориях, связанная с чрезвычайным (экстремально высоким) загрязнением воздуха опасными веществами, выделяющимися с отработавшими газами двигателей, с превышением их максимальной разовой или среднесуточной предельно-допустимой концентрации.

1.2 Характеристика автотранспорта как источника формирования чрезвычайных ситуаций экологического характера

1.2.1 Международный опыт в области снижения опасного воздействия автотранспорта

Проблема загрязнения окружающей среды тесно связана с функционированием автотранспортного и автодорожного комплексов [15, 16]. Многомиллионный парк автомобилей и сети автодорог оказывают непосредственное влияние на биосферу, изменяя качество естественной природной среды, и косвенное воздействие через отрасли, обеспечивающие транспортный сектор, в том числе, предприятия автомобилестроения, автозаправки, автомойки, предприятия резиновой, пластмассовой и текстильной промышленности и пр. [17-19]. Кроме того, к негативным аспектам функционирования автотранспорта относятся шумовое и вибрационное воздействия и сокращение «зеленых» зон внутри городов из-за строительства и расширения дорог, парковок и предприятий, обслуживающих автотранспортные средства [15, 17, 20].

Однако, именно проблема чрезвычайного загрязнения атмосферного воздуха городов токсичными веществами, выделяющимися с ОГ автомобилей, представляет серьезную опасность для людей, особенно, при сочетании неблагоприятной дорожной ситуации (при образовании заторов на дорогах) и застойных атмосферных явлений, препятствующих естественному разбавлению вредных примесей [21-33].

В течение последних двадцати лет в мировой практике имело место ужесточение требований в отношении выбросов АТС [34-36] с целью решения этой острой проблемы.

В Соединенных Штатах Америки (США) нормативы на выбросы вырабатываются на уровне государства Агентством по Охране Окружающей

Среды (Environmental Protection Agency (EPA)) [34]. Федеральный (Национальный) Стандарт "Tier 1" вступил в силу с 1994 года, а "Tier 2" вводился постепенно с 2004 до 2009 года. Однако, штаты и местные власти могут принимать более строгие стандарты. У Калифорнии есть специальное разрешение вводить более строгие стандарты на выбросы АТС, а другие штаты по своему выбору могут следовать либо национальным, либо Калифорнийским стандартам. Нормативы на эмиссию ЗВ в Калифорнии устанавливаются Калифорнийским Советом по Стандартам Воздушных Ресурсов (California Air Resources Board - "CARB") [36]. Учитывая, что автомобильный рынок Калифорнии один из самых больших в мире, калифорнийские стандарты на выбросы автотранспорта оказывают внушительное влияние на ведущих автопроизводителей. Кроме того, еще шестнадцать штатов США с середины 2009 года приняли решение следовать стандартам CARB, таким образом, преумножив их значимость в США.

Требования нормативов на выбросы автотранспорта США приведены на официальных интернет-сайтах соответствующих организаций [34-35]. ЕРА собирается принять Калифорнийские стандарты на выбросы автотранспорта в качестве национальных стандартов к 2016 году. Политика CARB и калифорнийские нормативы на выбросы загрязняющих веществ также оказали влияние на разработку стандартов эмиссии ЗВ Европейского Союза (ЕС).

В ЕС с 1992 года постепенно вводились стандарты на содержание вредных веществ в отработанных газах автомобилей Евро 0 - Евро 6 [36]. Нормативы выбросов для дорожного транспорта установлены отдельно для "легких" АТС, включающих пассажирские автомобили и легкий коммерческий транспорт, и для "тяжелых" АТС - грузовиков и автобусов. Требования нормативов Евро 0 - Евро 6 для легковых автомобилей представлены в Приложении 1.

В ЕС с 2009 года вошли в силу нормативы Евро 5. Их главная цель - сократить выбросы твердых частиц автомобилями с дизельными двигателями с 25 до 5 мг/км. Стандарт Евро 6 предположительно вступит в силу в сентябре 2014 года, его главная задача - снижение выбросов оксидов азота дизельными АТС со 180 до 80 мг/км.

В настоящий момент в автомобильной промышленности стран ЕС и США активно решается задача обеспечения производства АТС и двигателей с практически нулевым выбросом вредных веществ – с гибридными электрическими двигателями и двигателями на водородных топливных элементах [35, 36]. В Калифорнии несколько лет назад была запущена программа "Автомобиль с нулевым выбросом" (Zero Emission Vehicle (ZEV) Program) [35], поощряющая владельцев экологически чистых автомобилей.

1.2.2 Политика Российской Федерации в сфере уменьшения отрицательного воздействия автотранспорта на окружающую среду

Следуя стратегическим принципам устойчивого развития цивилизации, на Парламентских слушаниях в Государственной Думе РФ при обсуждении проекта Федерального Закона «По экологизации автомобильного транспорта РФ» в 2000 году было принято решение о прямом введении Правил ЕЭК ООН в РФ.

Важным этапом в этом направлении явились Постановление Правительства РФ от 12 октября 2005 г. N 609 «Об утверждении специального технического регламента "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ" [37], гармонизированного с Директивой 98/69/ЕС , Правилами ЕЭК ООН N 24(24-03*), Правилами ЕЭК ООН N 49, Правилами ЕЭК ООН N 83, Правилами ЕЭК ООН N 96 (96-01*). В соответствии с этим стандартом выпуск новых АТС на территории России должен был изначально осуществлен в следующие сроки:

- а) Экологического класса (ЭК) 2 - с даты вступления в силу регламента;
- б) ЭК 3 - с 01.01.08;
- в) ЭК 4 - с 01.01.10;
- г) ЭК 5 - с 01.01.14.

Однако, Постановлением Правительства РФ от 20 января 2012 г. N 2 "О внесении изменений в специальный технический регламент "О требованиях к

выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ" [38] срок действия одобрений типа АТС и сертификатов соответствия в отношении АТС и ДВС 3 класса был продлен до 31.12.12, а 4 класса - до 31.12.15. Это означает, что срок введения стандарта Евро 5, обязательного для стран-членов ЕС с 2009 года, в РФ был фактически перенесен на 2016 г.

Следующим стратегическим этапом сближения российского законодательства с европейским в сфере снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду явилось Постановление Правительства РФ от 27 февраля 2008 г. N 118 г. "Об утверждении технического регламента "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту" [39] (по содержанию серы, бензола, кислорода и т. д. – Директивы: 98/70/ЕС, качество топлива; 2007/46/ЕС, утверждение типа ТС; 98/69/ЕС и 2005/55/ЕС, евро нормы и т.д.). В соответствии с этим документом выпуск в оборот автомобильного бензина допускался и допускается в отношении: класса 2 - до 31.12.10; класса 3 - до 31.12.11; класса 4 - до 31.12.14; класса 5 - срок не ограничен.

Выпуск в оборот дизельного топлива допускался и допускается в отношении: 2 и класса 3 - до 31.12.11; класса 4 - до 31.12.14; класса 5 - срок не ограничен.

Однако, как и в предыдущем случае, Постановлением Правительства РФ от 7 сентября 2011 г. N 748 "О внесении изменений в технический регламент "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту" [40] выпуск в оборот автомобильного бензина и дизельного топлива более высоких экологических стандартов был серьезно отсрочен: класса 2 - до 31.12.12; класса 3 - до 31.12.14; класса 4 - до 31.12.15; класса 5 - срок не ограничен.

В 2008 году была разработана "Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года", утвержденная распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г.

№ 1734-р [41], одной из приоритетных целей которой является "снижение вредного воздействия транспорта на окружающую среду".

Природоохранные инициативы в РФ в сфере снижения негативного воздействия автотранспорта на окружающую среду позволяют ожидать улучшения экологической обстановки, о чем свидетельствуют долгосрочные прогнозы как в целом по стране, так и по отдельным регионам [42, 43]. Тем не менее, в настоящее время в сфере экологической безопасности дорожного транспорта по-прежнему остается много нерешенных проблем, особенно в городах-мегаполисах, в том числе в Санкт-Петербурге.

1.2.3 Современное состояние контроля негативного воздействия транспорта на окружающую среду и человека на примере Санкт-Петербурга

Состояние загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге определяется на основании инструментального мониторинга с помощью 21 стационарной станции и двух передвижных лабораторий. Оценка осуществляется по нормативам качества атмосферного воздуха и показателям, действующим на территории РФ [44, 45], а также по показателям качества атмосферного воздуха, установленным директивами ЕС [46-48].

Предельно-допустимые максимальные разовые концентрации (ПДК м.р.) и предельно-допустимые среднесуточные концентрации (ПДК с.с.) загрязнителей воздуха представлены в Приложении 2.

Наиболее неблагоприятная ситуация складывается в центральных районах мегаполиса, это связано с повышенным загрязнением воздушного бассейна оксидами азота, озоном, взвешенными частицами (РМ) атмосферного воздуха в центральной части города оксидами азота, оксидом углерода, именно по этим веществам периодически наблюдаются превышения максимально разовых предельных концентраций (ПДК_{мр}) [46-48].

В отношении соответствия Директивам ЕС (Приложение 3), индикаторы загрязнения воздуха Санкт-Петербурга по числу эпизодов превышения

допустимого содержания поллютантов в атмосфере находились в пределах, регламентированных европейскими стандартами, за исключением диоксида азота на одной станции [47].

В то же время, на 7 станциях автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха, среднегодовые концентрации NO_2 превышали предельно допустимые значения, утвержденные нормативами Евросоюза [47].

Следует отметить, что в течение последних трех лет в Санкт-Петербурге, наблюдалось повышение среднегодовых концентраций диоксида азота относительно уровня 2008-2009 годов [47], о чем свидетельствует рисунок 1. Среднегодовая концентрация NO_2 за этот отрезок времени выросла практически на 13%, но в целом не вышла за пределы, регламентированные директивами ЕС (40 мкг/м^3).

Инвентаризацию ежегодных валовых выбросов от стационарных и передвижных источников в Российской Федерации проводят специалисты НИИ "Атмосфера", результаты расчета выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) публикуются в ряде официальных изданий на уровне Российской Федерации [49-50] и на региональных уровнях [46-47].

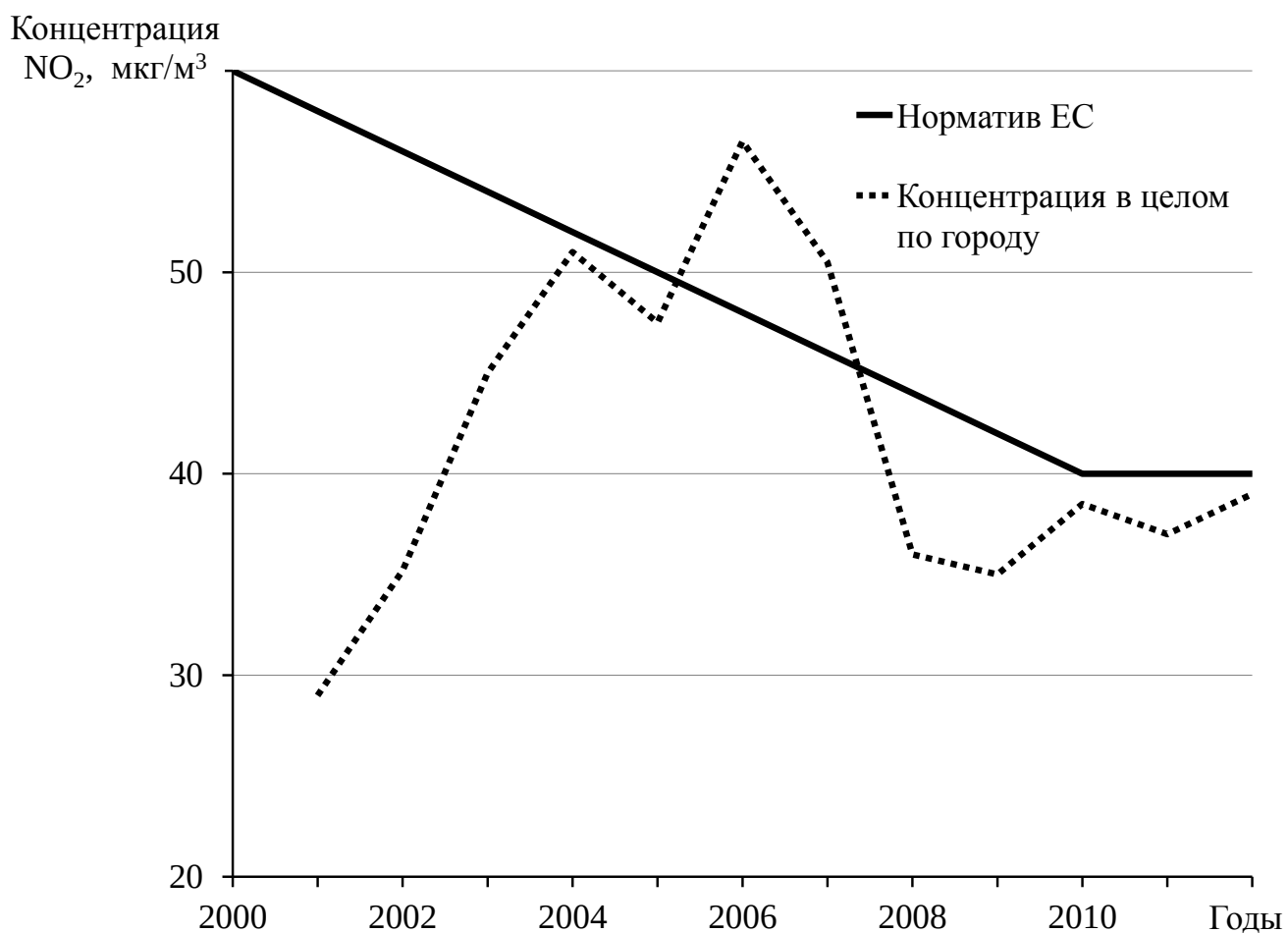


Рисунок 1 - Динамика изменения среднегодовых концентраций диоксида азота по Санкт-Петербургу и норматива ЕС [47]

Сведения о валовых выбросах загрязнителей в Санкт-Петербурге от стационарных и передвижных источников, включающих автомобильный и железнодорожный транспорт, представлены в таблице 1. На основании приведенных данных можно сделать вывод о том, что ведущую роль в загрязнении воздушного бассейна города играют передвижные источники: их доля в суммарном выбросе ЗВ в 2012 году составила 89%, при этом, оксида углерода (CO) - 95%, диоксида азота - 58%, взвешенных частиц – 34%, диоксида серы (SO₂) - 27%, нелетучих углеводородов (C_xH_y) – 17%, летучих органических соединений (ЛОС) - 90% [47].

Таблица 1 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников в 2012 году, тыс. т [47]

Источники загрязнений	Всего	Твердые	SO ₂	CO	NO _x	CH _x	ЛОС
Стационарные	68,9	1,9	5,6	19,1	27,7	8,8	4,7
Передвижные	423,4	1,0	2,02	338,9	38	1,81	40,9
в том числе: автотранспорт	419,3	0,7	2,0	338,2	35,3	1,8	40,6
ж/д транспорт	4,1	0,3	0,02	0,7	2,7	0,01	0,3
Всего	492,3	2,9	7,6	358	65,7	10,6	45,6

В таблице 2 представлена динамика изменения выбросов ЗВ в атмосферный воздух от автотранспорта за период с 2010 по 2012 годы [51].

Таблица 2 - Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспорта, в 2006-2012 гг., тыс. т [51]

Годы	Всего	Твердые	SO ₂	CO	NO _x	CH ₄	NH ₃	ЛОС
2008	353,0	1,1	2,1	278,2	35,8	1,52	0,63	33,6
2009	351,9	1,1	2,1	277,8	35,2	1,52	0,65	33,6
2010	370,3	1,2	2,2	291,8	37,5	1,6	0,67	35,2
2011	374,8	1,0	2,4	296,6	36,2	1,7	0,7	36,6
2012	419,3	0,7	2,0	338,2	35,3	1,8	0,7	40,6

Выбросы ЗВ от автотранспорта за пятилетний период с 2008 по 2012 год выросли на 15,7 % в основном за счет увеличения выбросов CO и ЛОС, в отношении выбросов твердых веществ наметилась тенденция слабого спада, показатели по выбросам SO₂ и NO_x практически не изменились, оставаясь по-прежнему высокими.

Продолжающийся рост парка АТС, причем как легкового, так и грузового привел к возрастанию эмиссии поллютантов от автотранспорта.

Проведенный анализ влияния автотранспорта на качество атмосферного воздуха показал, что:

- В условиях спада промышленного производства автотранспорт является основным источником поступления ЗВ в атмосферный воздух высокоавтомобилизованных городов: доля выбросов автотранспорта в валовых выбросах составляет более 50% в большинстве российских городов, а в мегаполисах превышает 85 – 90%.

- Несмотря на наметившиеся положительные тенденции в отношении сокращения выбросов ЗВ автотранспортом в крупных городах РФ, как было продемонстрировано на примере Санкт-Петербурга, проблема локального сверхнормативного загрязнения окружающей среды и угроза создания локальных ЧС по-прежнему актуальна особенно при сочетании неблагоприятных транспортных, погодных и градостроительных условий.

- Анализ состояния качества атмосферного воздуха Санкт-Петербурга показал, что локальные неблагоприятные ситуации повышенного загрязнения воздуха связаны с оксидами азота, взвешенными частицами и озоном. Учитывая, что вклад автотранспорта в валовый выброс оксидов азота сохраняется на уровне 60 % в течение последних 5 лет, можно предположить, что именно автотранспорт "повинен" в формировании локальных зон со сверхнормативным загрязнением воздушной среды NO_x .

Проблема экстремального загрязнения атмосферного воздуха жилых кварталов "автотранспортными" оксидами азота актуальна для всех крупных городов мира [52-65], поэтому представляется целесообразным привести экотоксикологическую характеристику оксидов азота.

1.3 Потенциальная опасность оксидов азота: экотоксикологическая характеристика

1.3.1 Основные представления о трансформации оксидов азота в атмосфере и их роль в загрязнении окружающей среды

Азот образует ряд оксидов, формально отвечающих всем возможным степеням окисления от +1 до +5: N_2O , NO , N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 , однако всего два из них — оксид азота(II) и оксид азота(IV) — не только устойчивы при обычных условиях, но и активно задействованы в природном и техногенном круговоротах азота [52].

Оксид азота (II) NO является легкой слабополярной молекулой, не имеет ни цвета, ни запаха, плохо растворим в воде. Оксид азота (IV) NO_2 имеет характерный резкий запах, окрашен в рыжевато-бурый цвет, оттенки которого отличаются друг от друга в зависимости от концентрации. Именно за этот цвет выбросы оксидов азота в атмосферу называют «лисыими хвостами» [52].

Оксиды азота и особенно диоксид азота являются главными составляющими загрязнения атмосферного воздуха городов [53-58]. Оксид азота образуется, в основном, в процессе сгорания органического топлива при высоких температурах и затем в атмосфере трансформируется в диоксид азота. Значительное количество оксидов азота производится тепловыми электростанциями, металлургическими предприятиями, крупными и мелкими котельными и автотранспортом.

NO_2 является вторичной примесью, которая образуется в результате фотохимических реакций, происходящих в атмосфере [53]. Часть оксидов азота из выбросов переходит в диоксид, остальные оксиды сохраняются длительное время в виде оксидов азота и тоже поступают в атмосферу. Выбросы оксидов азота обычно оцениваются в пересчете на NO_2 [59]. Степень трансформации NO в NO_2 зависит от времени года и принимается от 50% зимой до 80% - в летнее время. Оксид и диоксид азота играют сложную и важную роль в фотохимических

процессах, происходящих в тропосфере и стратосфере при солнечном свете и являющихся причиной образования фотохимического смога и высоких концентраций O_3 . Поэтому возможные реакции с участием оксидов азота, тропосферного озона, кислорода воздуха и пероксидных радикалов (1-3) в атмосфере и фотохимические процессы, приводящие к образованию O_3 , изучены достаточно подробно [53, 57, 58, 60-65]:



Одновременно с вышеуказанными процессами в атмосфере протекает фотолиз диоксида азота под воздействием солнечной радиации (3):



Результаты наблюдений показывают, что концентрация диоксида азота в атмосфере зависит существенным образом от интенсивности солнечной радиации, приводящей к усилению химических реакций в целом [53]. При малых значениях концентрации диоксида азота в атмосфере, химическая реакция образования NO_2 всегда преобладает над фотолизом. Озон может разрушаться рядом реакций, но сток его преобладает при реакции с NO реакция (1). При высоких концентрациях NO_2 фотолиз NO_2 будет приводить к образованию NO , т.е. реакция (3) будет преобладать над реакцией (1). Можно предполагать, что чем быстрее идет реакция образования O_3 , тем медленнее образуется NO_2 , т.е. чем больше O_3 , тем меньше NO_2 [53]. В фотохимических процессах образования NO_2 кроме оксидов азота участвуют многие другие газовые компоненты, в т.ч. органические, включая различные углеводороды реакция (3), поступающие в атмосферу от антропогенных и естественных выбросов.

Важным фактором в этих процессах являются метеорологические условия. При неблагоприятных погодных условиях, высокой инсоляции и слабых ветрах фотохимические реакции могут приводить к высоким уровням концентраций оксидов азота, которые опасны для человека. Такие погодные условия,

сопровождающие области высокого давления, являются причиной фотохимического смога на больших территориях [53, 57, 58].

Еще одним негативным фактором воздействия диоксида азота на окружающую среду является его роль в формировании кислотных осадков. Кислотные дожди представляют собой все виды метеорологических осадков, включая дождь, снег, град, туман, при которых наблюдается понижение pH осадков ($< 5,5$) из-за загрязнений воздуха кислотными оксидами, как правило, оксидами серы и азота.

NO_2 с водой образует две кислоты – азотную кислоту (HNO_3) и азотистую кислоту (HNO_2) [52]:



В присутствии кислорода оксид NO_2 целиком переходит в азотную кислоту:



NO с водой не реагирует.

Кислотные дожди являются причиной гибели лесов, урожаев и прочей растительности. Кроме того, они способствуют разрушению объектов техносферы: зданий, памятников культуры, трубопроводов, металлоконструкций и т.д. Понижают плодородие почв и могут приводить к выщелачиванию токсичных металлов из почвы и просачиванию их в водоносные грунтовые слои. Закисление почв и водоемов приводит к резкому сокращению видового разнообразия флоры и фауны.

1.3.2 Негативное воздействия оксидов азота на здоровье человека

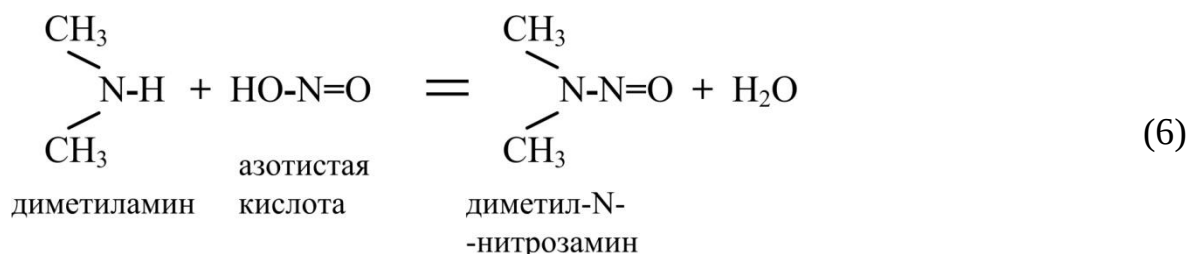
Краткосрочное и долгосрочное воздействие газообразных загрязнителей воздуха и взвешенных частиц, включая NO_2 , мелкодисперсные взвешенные вещества $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , O_3 , приводят к возрастанию риска возникновения аллергических, бронхо-легочных и сердечно-сосудистых заболеваний, таких как бронхиальная астма, рак легких, миокардиальная ишемия, инфаркт, желудочковая экстрасистолия и инсульт [66-73].

Анализ литературных данных, посвященных изучению негативного воздействия воздушных загрязнителей на здоровье человека, показал, что в последние 5-10 лет пристальное внимание ученых всего мира было уделено проблеме исследования взаимосвязи содержания оксидов азота в атмосферном воздухе в местах жилой застройки, расположенной в непосредственной близости от автомагистралей, с риском возникновения сердечно-сосудистых, легочных и раковых заболеваний у людей [66-73]. Оксиды азота, благодаря способности проникать через легочный эпителий непосредственно в кровеносное русло, относятся к токсикантам, способным оказывать прямое воздействие на дыхательную и сердечно-сосудистую системы человека [66].

Слизистые оболочки носоглотки и глаз в первую очередь подвергаются раздражающему действию NO_2 . При контакте оксида азота (IV) с влажной поверхностью верхних и нижних дыхательных путей образуются азотная кислота HNO_3 и азотистая кислота HNO_2 реакция (5), поражающие слизистые оболочки, вызывая першение в горле, кашель, в случае тяжелых отравлений - к отеку легких и сложным рефлекторным расстройствам. Оксид азота обладает менее выраженным токсическим действием, чем диоксид азота, однако, плохо растворяясь в водных растворах, он легко поступает при дыхании в кровь, и способен вызывать расстройства нервной системы.

Оба оксида оказывают отравляющее действие на гемоглобин крови, нарушая его функцию по транспортировке кислорода [52]. Оксиды азота в крови под действием ферментов, синтезируемых естественной микрофлорой желудка и кишечника, образуют нитраты и нитриты. Нитрит-ион обладает ярко выраженным гемотоксическим эффектом, окисляя железо Fe^{2+} в гемоглобине в Fe^{3+} . Окисленная форма гемоглобина, содержащая Fe^{3+} и называемая метгемоглобином, имеет большее сродство к кислороду, поэтому передача кислорода тканям замедляется, существенно затрудняя клеточное дыхание и вызывая кислородное голодание, т.е. гипоксию, организма. Процесс сопровождается дестабилизацией функционирования сердечно-сосудистой системы.

Кроме того, различные формы аминов, содержащиеся в большом количестве в организме человека, тоже легко вступают во взаимодействие с азотистой кислотой с образованием опасных канцерогенных веществ нитрозаминов (6) [52]:



Датские ученые провели исследование долгосрочного воздействия ЗВ атмосферного воздуха на жителей, проживающих вблизи автодорог в Копенгагене, по оценке числа ишемических инсультов со смертельным исходом в течении 30 дней после госпитализации [74]. Были изучены данные о 57053 случаях инсультов, из которых 1984 были первичными, 142 из них с летальным исходом, за период с 1993 по 2006 год. По результатам анализа уровня содержания NO_2 в местах жительства пациентов с 1971 года и случаев возникновения инсульта, в том числе со смертельным исходом, методом регрессионного анализа Кокса была установлена строгая взаимосвязь между концентрацией диоксида азота и риском возникновения инсульта (риск – 1,05 (доверительная вероятность (ДВ) - 95%, доверительный интервал (ДИ) 0,99 – 1,11), на интерквартильное увеличение (каждые 10 мкг/м^3)), а также риском смертности в течение 30 дней после госпитализации (риск 1,22, ДИ 1,00 – 1,50).

Аналогичные исследования проводились также в США [66, 67], Голландии [75], Японии [76], Канаде [77], Гонконге [78] и Китае [79-81].

В японском городе Судзуоке было проведено исследование повышения риска смертности от инсульта и рака легких вследствие длительного проживания вблизи автодорог [76, 80]. Среднесуточная концентрация NO_2 в воздухе варьировала от 9,4 до 77,08 мкг/м^3 . Было установлено, что увеличение содержания диоксида азота на каждые 10 мкг/м^3 приводило к возрастанию риска сердечно-легочных заболеваний (риск 1,22, ДВ 95% ДИ 1,15–1,30), смертности в

результате рака легких (риск 1,20, ДВ 95%, ДИ 1,03–1,0), ишемии (риск 1,27, ДВ 95%, ДИ 1,11–1,47), интрацеребрального гемаррогического инсульта (риск 1,28, ДВ 95%, ДИ 1,05–1,57) и ишемического инсульта (риск 1,20, ДВ 95%, ДИ 1,04–1,39).

В Китае, где крупные города практически задыхаются от выхлопных газов автотранспорта, многочисленные эпидемиологические исследования подтвердили возрастание риска смертности вследствие сердечно-сосудистых заболеваний в периоды экстремально высокого загрязнения воздуха оксидами азота [72]. Цянь и коллеги показали [63, 64], что повышение среднесуточной концентрации NO_2 на каждые 10 мкг/м^3 приводила к увеличению числа сердечно-сосудистых заболеваний на 1,65%, инсультов на 1,49%, смертности от сердечных заболеваний на 1,77 % и смертности от сердечно-легочных заболеваний на 1,6 %. Исследования были проведены в городе Ухань, где среднесуточные концентрации NO_2 колебались от 19,2 до $127,4 \text{ мкг/м}^3$.

Все исследователи разделяют мнение, что водители транспортных средств и люди, проживающие или работающие в непосредственной близости от автомагистралей с интенсивными транспортными потоками, подвергаются воздействию заметно более высоких концентраций NO_x (в 1,5-3 раза выше), по сравнению с данными, полученными от стационарных инструментальных систем мониторинга [82-85].

Проведенный анализ литературных данных относительно негативного воздействия диоксида азота, формирующегося в приземных слоях атмосферы в окрестностях автомагистралей, показал, что:

Формирование участков жилой застройки со сверхнормативным содержанием NO_2 приводит к высокому риску возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, включая инфаркты и инсульты со смертельным исходом, при этом именно диоксид азота оказывает наиболее выраженное отрицательное воздействие по сравнению с другими "традиционными" загрязнителями воздушного бассейна ($\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 , O_3).

NO_2 в повышенных концентрациях проявляет синергетический эффект с $\text{PM}_{2,5}$, PM_{10} , SO_2 в провоцировании бронхо-легочных и аллергических заболеваний как у взрослого населения, так и в группах повышенного риска: у детей в возрасте до 10 лет, беременных женщин и пожилых людей.

NO_x являются одной из причин образования фотохимического смога и косвенно способствуют формированию повышенных концентраций озона в приземных слоях атмосферы, что тоже крайне нежелательно, поскольку O_3 является мощнейшим оксидантом.

1.4 Анализ современных представлений о природе образования оксидов азота в организованных процессах горения в двигателях автотранспортных средств

Содержание в ОГ оксидов азота является одним из важнейших экологических параметров двигателей современных автомобилей.

Химический процесс образования и трансформации NO_x в камерах сгорания (КС) двигателей автомобилей сложен и неоднозначен в силу многочисленных факторов на него влияющих. Изучению этого процесса посвящено много работ отечественных и зарубежных исследователей [86-96].

В целом принимается, что в КС образуются:

1) «*термический*» NO (образуется при высокотемпературном ($1500 - 2500^\circ\text{C}$) окислении азота кислородом воздуха в зоне продуктов сгорания рабочей смеси);

2) «*топливный*» NO (образуется в результате «низкотемпературного» окисления азотсодержащих соединений топлива);

3) «*быстрый*» NO (формируются непосредственно во фронте пламени в условиях постоянно меняющейся (пульсирующей) температуры в зоне горения в результате столкновения образовавшихся углеводородных радикалов с молекулами азота, температура их образования около 700°C).

В КС доминирует «термический» NO, образующийся за фронтом пламени из молекулярного азота в результате сгорания бедной топливовоздушной смеси и смеси, близкой к стехиометрическому составу. Схема цепной реакции образования термического NO была разработана Я.Б. Зельдовичем. Процесс протекает преимущественно по реакционно-цепному механизму в случае сгорания бедных и умеренно богатых смесей ($\alpha > 0,8$):



В обогащенных смесях с $\alpha > 0,8$ также протекают реакции:

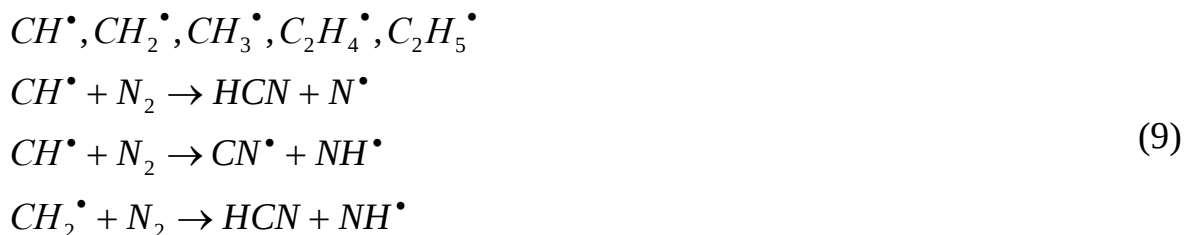


Реакция (7) является лимитирующей, поскольку ее скорость зависит от скорости превращения молекулярного кислорода в атомарный, энергия диссоциации O_2 составляет 494,2 кДж/моль. Но и для протекания самой реакции (7) необходимы значительные энергетические затраты - 314 кДж/моль. Высокий энергетический уровень этих реакций и объясняет сильную зависимость «термического» механизма образования NO от температуры.

В бедных топливо-воздушных смесях выход NO лимитируется кинетическими факторами, зависящими от максимальной температуры (MT) цепочно-теплого «взрыва», MT составляет 2500-2600 °C. Кроме того, пульсация температуры в зоне горения и наличие паров воды, замедляющих окисление N_2 , также снижают скорость образования NO в бедных смесях. В то же время, MT «взрыва» практически не влияет на выход NO в богатых смесях, в данном случае он в большей степени зависит от кинетики разложения.

Впервые гипотезу об активном участии углеводородных радикалов в процессе образования NO высказал Фенимор [95]. В зоне горения присутствует

много углеводородных радикалов, способных вступать в реакцию с молекулярным азотом:



Энергетические затраты, необходимые для осуществления реакций (5–7) малы, поэтому взаимодействие по ним может осуществляться даже при низкой температуре. Далее образовавшиеся азотные соединения быстро окисляются до NO.

Содержание азотсодержащих соединений в жидких автомобильных топливах незначительно ($\approx 0,01\%$), поэтому образованием "топливных" оксидов азота можно пренебречь.

В ОГ преобладает NO (99% в бензиновых двигателях и более 97% в дизелях). Выбросы оксидов азота обычно оцениваются в пересчете по более токсичному компоненту - NO₂.

Для оценки и прогнозирования выбросов и форм воздействия ОГ двигателей автомобилей на население, экосистемы и объекты городской инфраструктуры осуществляется в РФ и за рубежом на основе расчетно-аналитических моделей [97-102].

1.5 Анализ методологических подходов и действующих расчетных методик по оценке опасного воздействия транспорта на городскую среду

Методологические подходы и программное обеспечение, используемые для оценки загрязнения атмосферного воздуха городов выбросами АТС, в том числе, оксидами азота, в текущем моменте и прогнозирования ситуации в краткосрочной и долгосрочной перспективах, можно условно разделить на два принципиальных типа:

1) "сверху вниз" (подобные модели позволяют определять валовые выбросы основных ЗВ за учетный период на основании статистической информации о структуре автопарка (например, по данным учета ГИБДД) [98, 99]);

2) "снизу вверх" (с помощью таких расчетных моделей можно получать данные о выбросах ЗВ непосредственно на городских автомагистралях, они основаны на результатах натурного обследования структуры и интенсивности транспортных потоков на улицах города [100, 102].

Применение расчетных моделей типа "сверху вниз" обоснованно при определении валовых выбросов ЗВ АТС в учетном периоде, например, за год, для крупного города, региона или даже страны в целом. В § 1.1.3 обзора литературы приведены данные оценочных расчетов валовых выбросов ЗВ в атмосферный воздух Санкт-Петербурга от передвижных источников, полученные с помощью модели 1-ого типа, основанной на использовании в расчетах статистических данных ГИБДД о структуре автопарка Санкт-Петербурга.

Применение второго типа моделей актуально для более детального исследования экологического состояния воздушной среды и выявления "проблемных" зон города со сверхнормативным загрязнением атмосферы. Очевидно, что подобного рода задачи, связанные с расчетом концентраций ЗВ на конкретных участках, не могут быть решены с использованием осредненных за год данных, поскольку они зависят от распределения выбросов, метеорологических условий (температуры, скорости и направления ветра), от особенностей застройки и структуры транспортных потоков. Поэтому для их решения целесообразно привлечение методических подходов и программного обеспечения, позволяющего определять выбросы АТС на городских автодорогах с учетом транспортной ситуации и рассчитывать концентрации ЗВ вблизи автомагистралей с учетом метеорологических и градостроительных условий.

В условиях эксплуатации, эмиссия загрязняющих веществ АТС определяется многими факторами (техническим состоянием автомобилей, состоянием дорог, видом и качеством топлива, особенностями движения, метеорологическими условиями, индивидуальными особенностями управления

транспортными средствами и т.д.) [103-117], учесть которые одновременно в полном объеме невозможно.

В РФ такого рода методики разрабатываются специалистами Научно-исследовательского института автомобильного транспорта (НИИАТ, г. Москва) и “НИИ Атмосфера” (г. Санкт-Петербург). Перечень основных методик, использовавшихся в России с 1993 года, отражен в приложении 4.

Методики, разработанные в середине-конце 90-ых годов, устарели уже к середине 2000-ых, поэтому в данном обзоре мы их рассматривать не будем. Наиболее подходящий методический подход для решения задач данного диссертационного исследования изложен в «Методике определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга» (СПб, 2005) [114], поскольку именно эта методика позволяет производить оценку опасного воздействия автотранспорта непосредственно вблизи автодорог.

Методика была разработана на основании "Методики определения выбросов автотранспорта для проведения расчетов загрязнения атмосферы городов" [118], широкое применение которой демонстрировало удовлетворительную сходимость расчетов с данными систематических инструментальных наблюдений на автоматизированных станциях [119-123].

С помощью методики можно определить основные ЗВ, выбрасываемые в атмосферный воздух с ОГ автомобилей: оксиды азота NO_x , соединения свинца, летучие органические соединения, взвешенные частицы, оксид углерода, формальдегид, диоксид серы, бенз- α -пирен.

Оценка структуры и интенсивности транспортных потоков (информация, необходимая для расчета выбросов) осуществляется посредством натурных обследований дорожной ситуации на автомагистралях согласно достаточно простой процедуре, не требующей продолжительного обучения и инструментального оснащения. Работы могут проводиться регулярно, обеспечивая постоянную корректировку информации о выбросах автотранспорта.

Поскольку содержание вредных веществ в выбросах автомобилей с разными типами двигателей существенно различается, то, в соответствии с данной методикой, для определения характеристик потоков АТС на исследуемых участках улично-дорожной сети проводится учет проходящих автомобилей в обоих направлениях с категорированием по следующим группам:

1) легковые автомобили, с подразделением на “отечественные”, и “зарубежные”, включающие АТС, импортированные на территорию РФ и произведенные в нашей стране автомобили иностранных компаний (Ford, Toyota и т.д.);

2) легкий коммерческий транспорт (микроавтобусы и автофургоны) как отечественного, так и зарубежного производства;

3) бензиновые автобусы;

4) дизельные автобусы;

5) грузовые бензиновые > 3,5 т, в том числе газобаллонные;

6) грузовые дизельные < 12 т отечественного и иностранного производства.

7) грузовые дизельные > 12 т отечественного и иностранного производства.

Анализ методики будет проводится для расчета выбросов диоксида азота, хотя принципиально такой же подход используется и для расчета других загрязняющих веществ.

Так, суммарный выброс NO_x всеми категориями АТС, движущимися по автомагистрали (или ее участку) будет рассчитываться по формуле:

$$C_{L(\Gamma/c)} = \frac{L}{3600} \cdot \sum_i^n C_{n(\Gamma/км)} \cdot G_n \cdot \Gamma_{n\text{NO}_x}, \quad \Gamma/c, \quad (10)$$

где:

$C_{L(\Gamma/c)}$ - суммарный выброс NO_x всеми категориями АТС;

L – протяженность автомагистрали или ее участка с непрерывным движением, км;

$C_{n(r/km)}$ – фактор эмиссии (удельный пробеговый выброс) NO_x , г/км автомобилями n-ой группы для городских условий эксплуатации (Приложение 5);

n – количество групп автомобилей;

G_n – интенсивность движения – количество автомобилей каждой группы, проезжающих по исследуемому участку за 1 час в обоих направлениях;

r_{nNO_x} – поправочный коэффициент, учитывающий зависимость фактора эмиссии NO_x от скорости движения (Приложение 5);

$\frac{1}{3600}$ – коэффициент пересчета часов в секунды.

Значения факторов эмиссии вредных веществ [108], в том числе и NO_x , для автомобилей представляют усредненные выбросы по каждому загрязнителю для каждой группы АТС, полученные путем сопоставления данных ГИБДД о возрастной и типовой структуре автопарка и результатами натурных обследований автотранспортных потоков на городских улицах.

Несмотря на то, что Методика была разработана для Санкт-Петербурга, она успешно зарекомендовала себя в других городах России [124-126] и даже в странах ближнего зарубежья [127]. Основные положения методики были использованы при создании программного продукта "Эколог-Город" фирмы "Интеграл", включающего программу "Магистраль", позволяющую производить расчет выбросов ЗВ автотранспортными потоками при движении автомобилей по городским магистралям, программу расчета концентраций вредных веществ в атмосфере в соответствии с нормативным документом ОНД-86 [127] и программу отображения результатов на электронной карте города, т.е. получение в конечном итоге карты загрязнения городской среды автомобильными выбросами [129].

Недостатки методики:

- Методика не предназначена для расчетной оценки и прогнозирования, учитывающих изменения на рынке топлив.

- Методика позволяет дать приближенную оценку эмиссии загрязняющих веществ при осуществлении неблагоприятного сценария развития ситуации на

примере интересующего участка автодороги или по всей автомагистрали, расчет валового загрязнения по городу или субъекту в целом затруднителен.

- Для проведения натурных обследований требуется привлечение большого числа наблюдателей, а, следовательно, методика включает ошибку за счет "человеческого" фактора, т.е. насколько корректно наблюдатели ведут подсчет АТС.

- Представляется устаревшей схема категорирования АТС, а именно, разделение легковых автомобилей на зарубежные и отечественные и автобусов на дизельные и бензиновые.

- Для получения более корректных расчетных оценок выбросов необходимо вводить поправочные коэффициенты в зависимости от скорости для каждого ЗВ и каждой группы автомобилей.

Так, например, для оксидов азота значение коэффициента $\Gamma_{\text{пNOx}}$, учитывающего изменение количества выбрасываемого вещества в зависимости от скорости движения, принимается равным единице. Однако, это не совсем корректно. Зависимости удельных выбросов загрязняющих веществ и расхода топлива от скорости легкового АТС с бензиновым двигателем, не оборудованного конвертором отработавших газов, полученные специалистами МАДИ [114], приведены на рисунке 2.

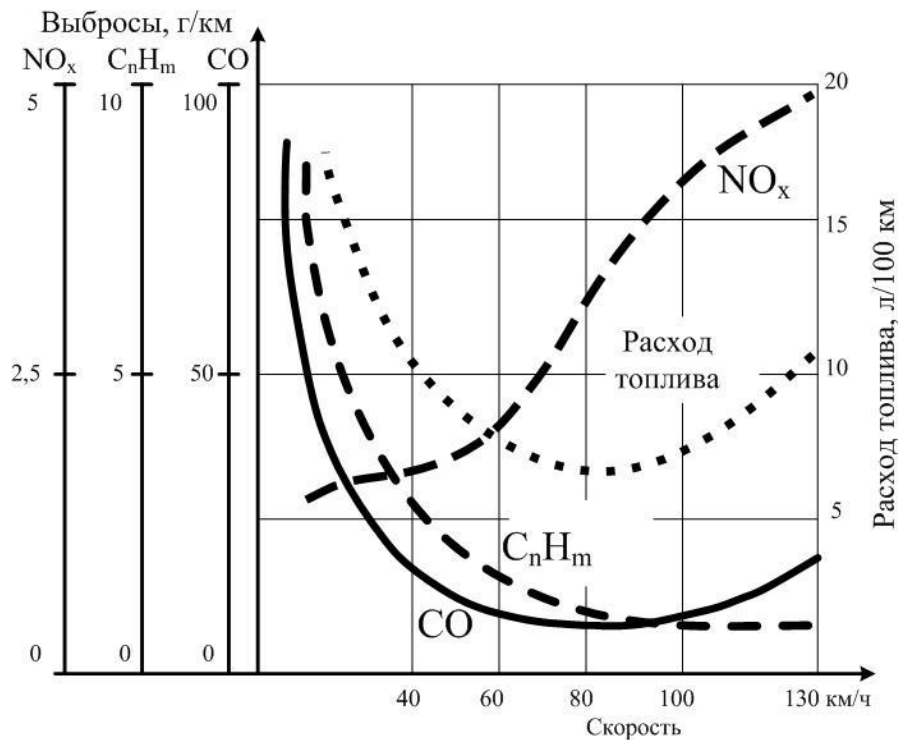


Рисунок 2 - Зависимость расхода топлива и удельных пробеговых выбросов загрязняющих веществ легковыми автомобилями от скорости движения [130]

Улучшение смесеобразования, увеличение нагрузки и эффективности сгорания топливовоздушной смеси способствует снижению выхода CO и CH и резкому возрастанию выхода NO_x вследствие стремительного роста температуры горения, поэтому в зависимостях изменения эмиссии оксидов азота с одной стороны и монооксида углерода и углеводородов с другой стороны наблюдаются прямо противоположные тренды (рисунок 2).

В отношении зависимости удельных выбросов NO_x от скоростного режима движения АТС в литературных источниках имеют место противоречивые данные [130-137]. Дело в том, что дорожная ситуация на магистралях города все время меняется, поэтому водителю АТС крайне сложно двигаться с постоянной скоростью. Передвижение автомобиля представляет собой череду разгонов, кратковременных движений в автотранспортном потоке и замедлений. В таких условиях двигатель находится в условиях переменной нагрузки и изменения частоты вращения коленчатого вала, а следовательно, мощность эмиссии NO_x тоже постоянно варьируется. По оценкам европейских специалистов [132] при

плотном движении в городской среде количество оксидов азота в ОГ новых легковых и грузовых автомобилей с дизельными двигателями составляет от 0,5 до 1,5 г на километр пробега для легкового транспорта и 4 – 10 г на километр пробега для грузового, что в несколько раз превышает выбросы NO_x от новых автомобилей с бензиновыми двигателями. Кроме того, они отмечают, что как бензиновые, так и дизельные двигатели соответствуют строгим европейским стандартам выбросов только в условиях лабораторных стендовых испытаний, а в реальных условиях движения выбросы могут в значительной мере превышать установленные нормативы, и этот вопрос требует тщательного изучения.

Установление закономерностей удельных выбросов оксидов от скоростного режима важно для уточнения коэффициента приведения выбросов NO_2 к скоростному режиму в оценочных и прогнозных расчетных методиках по инвентаризации выбросов вредных веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух городов. Изучение закономерностей изменения удельных выбросов NO_x от скоростного режима легковых автомобилей является актуальной задачей, решение которой позволяет:

- обосновать оптимальные скоростные режимы движения АТС;
- способствовать повышению эффективности мероприятий, направленных на ослабление воздействия оксидов азота на человека и окружающую среду;
- обосновать поправочные коэффициенты для оксидов азота для инвентаризации выбросов ЗВ автотранспортом в воздушный бассейн.

1.6 Анализ физико-математических моделей оценки формирования экстремально высоких концентраций загрязняющих веществ в городской среде вблизи автомагистралей

Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха опасными выбросами АТС вблизи автодорог инструментальными методами химического анализа с использованием стационарных мониторинговых станций чрезвычайно дорога, поэтому на практике данная проблема решается с помощью физико-

аналитических расчетных моделей процессов эмиссии и рассеивания поллютантов в атмосфере [138-141].

Моделирование процессов рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере осуществляется посредством двух основных подходов: Гауссова распределения, предполагающего оценку распределения концентраций загрязнителей вдоль координатных осей, и на основе теории массопереноса, иначе называемой «градиентной» моделью или «К – моделью», построенной на решении уравнений турбулентной диффузии [140].

В зарубежной практике широкое распространение получили разные версии гауссовых моделей [142-148]. Например, американские модели HIWAY-2, CALINE-4, GM, GFLSM, финская модель – CAR-FMI. В моделях HIWAY-2 и CALINE-4 во время расчета линейный источник разбивается на ряд составляющих, для которых и рассчитываются концентрации при любом произвольном направлении ветра, а затем суммируются. Модель GFLSM базируется на формулах для бесконечного линейного источника.

В трудах американского исследователя Сеттона и его последователей [142, 149-151] были заложены основы моделирования распространения загрязнителей в воздушной среде с помощью уравнений турбулентной диффузии. Данный подход строится на предположении, что ареал распространения вредных примесей носит гауссов характер, поэтому уравнение Гаусса может быть использовано для определения содержания поллютанта в конкретной точке по направлению ветра. Благодаря простоте и хорошей согласованности с экспериментальными данными, подобного рода модели нашли широкое применение на практике и официально используются ВМО, МАГАТЭ, метеорологическими службами некоторых стран [138-148].

Базисная модель для случая постоянной скорости ветра и отсутствия химической трансформации описывается следующей формулой [149]:

$$C = \frac{M}{2\pi u \delta_y \delta_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\delta_y^2}\right) \left(\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{\delta_z^2}\right) + k \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{\delta_z^2}\right) \right), \text{ г/м}^3, \quad (11)$$

где: M - мощность эмиссии вредного вещества, г/с;

u - скорость ветра на высоте H , м/с;

δ_y ; δ_z - факторы горизонтального и вертикального распространения, м;

y - расстояние от средней линии ареала вредного вещества, м;

z - высота над уровнем земли, м;

k - коэффициент отражения ($0 \leq k \leq 1$);

H - конечная высота ареала вредного вещества, м.

В работах [138-146, 149-151] подробно описаны особенности применения гауссовой модели для расчетного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха городов. Преимущества модели, которые обеспечили ей широкое использование для расчетов загрязнения атмосферы во многих зарубежных странах [137, 144-146] заключаются в том, что:

- расчеты с помощью данного подхода отличаются быстротой и не требуют больших объемов машинной памяти, поскольку поля концентраций поллютантов от одного или нескольких источников эмиссии описываются с помощью набора алгебраических выражений.

- приближение Гаусса делает возможным учет многих факторов, оказывающих влияние на уровни концентраций ЗВ в приземной воздушной среде (метеорологические условия, включая скорость ветра и стратификацию атмосферы, отражение примеси от поверхности и температурные инверсии, осаждение примесей из атмосферного воздуха с осадками, а также в результате сухого осаждения или химических превращений). Данный подход также позволяет учитывать особенности поверхности, над которой распространяются вредные вещества: высотность и плотность прилегающих строений, влияние ландшафтных характеристик.

Результаты расчетов по модели и экспериментальные исследования, выполненные разными научными коллективами, в том числе ГГО им А.И.

Воейкова [138, 149, 150], показали удовлетворительную корреляцию и соответствие требованиям задач, решаемых на практике.

К главным недостаткам гауссовой модели относятся следующие допущения: исходное состояние атмосферы рассматривается как невозмущенное; распределение же таких параметров, как температура, влажность воздуха, температурная инверсия, давление и пр., по высоте соответствует модели Международной стандартной атмосферы. Однако, в реальности это никогда не наблюдается, и именно метеопараметры являются одним из самых важных факторов, оказывающих влияние на рассеивание и содержание поллютантов в атмосферном воздухе. Модель позволяет получить картину загрязнения воздушного бассейна во времени и пространстве без привязки к определенному рельефу местности и метеорологическим условиям.

Расчетный подход, основанный на Гауссовом распределении, является, в основном, эмпирическим, что усложняет обобщение его результатов в целом ряде случаев, важных для практики. Подобные модели не учитывают зависимость коэффициентов диффузии от высоты источника, вследствие чего оперируют только с полями приземных концентраций примесей на фиксированной высоте от источника [149, 150].

В основе моделей, базирующихся на так называемой К-теории, лежат уравнения турбулентной диффузии. В нашей стране, являющейся лидером в разработке подобных расчетных подходов, наибольшее признание получила модель М.Е. Берлянда [138, 140, 142, 149, 150].

По данной модели уровень загрязнения атмосферы выбросами ЗВ из постоянно действующих источников оценивается по максимальному значению разовой приземной концентрации, сформировавшейся на некотором удалении от места эмиссии при неблагоприятных метеоусловиях. Основные принципы модели и порядок расчетов представлены в «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86» [128].

Уравнения турбулентной диффузии в атмосфере используются для описания процесса переноса ЗВ, а затем, прибегая к приемам усреднения, переходят от уравнения диффузии для мгновенных концентраций к уравнению турбулентной диффузии для осредненных концентраций.

Модель Берлянда, основанная на решении уравнений турбулентной диффузии, наиболее адекватно отражает вертикальное распределение ЗВ у поверхности земли на удалении не более 10 км от источника. Она делает возможным решение целого ряда практических задач, учитывая при этом рельеф местности, градостроительные условия, период осреднения (разовые, годовые), фотохимические трансформация, неблагоприятные метеопараметры. Модель включает три вида источников: точечный, линейный, площадной.

Модельный подход М.Е. Берлянда не может учитывать сильный перегрев газов в зоне источника и возникающее в результате него сильное турбулентное перемешивание, поэтому он применим для оценки диффузии относительно холодных, стационарных во времени выбросов, исходящих от не очень мощных источников, к которым относятся, в частности, выбросы от потока АТС. Эта модель положена в основу серии программных продуктов серии "Эколог" (НПФ "Интеграл", СПб), один из которых был использован нами для оценки формирования чрезвычайно высоких приземных концентраций оксидов азота вблизи автодорог.

1.7 Выводы по обзору. Цель и задачи исследования

1. В мировой практике с начала 90-ых годов, а в РФ с 2005 года были введены нормативы на эмиссию загрязняющих веществ автотранспортом в окружающую среду и на качество моторного топлива: В странах-членах ЕС - стандарты Евро 1 - Евро 5, в США - стандарты Tier 1 - Tier 2, в РФ - европейские стандарты Евро 2 - Евро 4.

2. Несмотря на принимаемые законодательные меры и проводимые управленческие мероприятия по сокращению негативного воздействия

автотранспорта на окружающую среду, в крупных городах РФ, как было продемонстрировано на примере Санкт-Петербурга, по-прежнему актуальна проблема локального сверхнормативного загрязнения воздушного бассейна с формированием чрезвычайно опасных максимально разовых концентраций оксидов азота и взвешенных частиц вблизи автомагистралей при неблагоприятных транспортно-метеорологических и сложившихся градостроительных условиях. Это связано с ростом численности автотранспорта в городах, в т. ч. в Санкт-Петербурге. Однако в Санкт-Петербурге до сих пор не было проведено полноценного анализа динамики изменения структуры автопарка за последнее десятилетие с 2003 по 2013 год.

3. Риск опасного воздействия оксидов азота на человека и окружающую среду связан, прежде всего, с диоксидом азота, способным оказывать непосредственное негативное влияние на кровеносно-сосудистую и дыхательную систему человека.

4. Для оценки отрицательного воздействия автотранспорта на окружающую среду, наряду с экспериментально-инструментальным мониторингом с помощью стационарных станций наблюдения и передвижных лабораторий, широко применяются расчетно-аналитические методики и разработанные на их основе программные обеспечения.

5. В Санкт-Петербурге и других городах России и ближнего зарубежья хорошо зарекомендовала себя "Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", однако уже в начале нынешнего десятилетия некоторые положения методики устарели, а именно, схема категорирования АТС, значения усредненных удельных пробеговых выбросов ЗВ, в т. ч. оксидов азота.

6. В отношении характера зависимости удельных выбросов NO_x от изменения скоростного режима АТС в транспортном потоке в литературных источниках имеют место противоречивые данные. Однако именно корректная информация об удельных выбросах NO_x автомобилями разных экологических

классов с разными типами двигателей в зависимости от скорости движения необходима для оптимизации расчетных методик и разработки мероприятий по снижению их неблагоприятного, а порой, чрезвычайного, воздействия на человека и окружающую среду.

2 Изучение динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 годах

2.1 Исследование численных характеристик легкового, грузового и автобусного парков

Исследования по данной теме были начаты в 2010 году, который был принят за базовый. Перед проведением экспериментов на автомагистралях Санкт-Петербурга сначала была проанализирована динамика изменения состояния парка автомобильной техники с целью выявления категорий АТС, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха Санкт-Петербурга, и с целью обоснования выбора типов АТС для проведения бортового мониторинга выбросов оксидов азота в реальных условиях на дорогах города. Была исследована динамика изменения структура парка легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов в Санкт-Петербурге за период с 2003 по 2012 год включительно с использованием данных ГИБДД, публикуемых в ежегодном справочнике аналитического агентства «АВТОСТАТ» [152-161].

Количественные данные, приведенные в таблице 2 и на рисунке 3, показывают, что в исследуемый период имело место увеличение численности автомобилей.

Таблица 2 - Численность автотранспортных средств (тыс.ед.) в Санкт-Петербурге в 2003-2012 годах

Тип АТС	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Автобусы		18,7	19,5	21,8	23,7	22,4	22,0	21,5	21	22,4
Грузовые автомобили		104,8	106,2	114,7	121,7	122,5	117,2	129,5	139	201,0
Легковые автомобили	980,8	1013,6	1063,5	1165,6	1284,6	1388,8	1421,2	1462,3	1526	1537,5

Количество легковых АТС возросло в 1,6 раз, грузовых в 1,9, численность же автобусов увеличилась незначительно - всего на 16,5 %, т. е. в 1,2 раза в период с 2003 по 2012 год (таблица 2, рисунок 3).

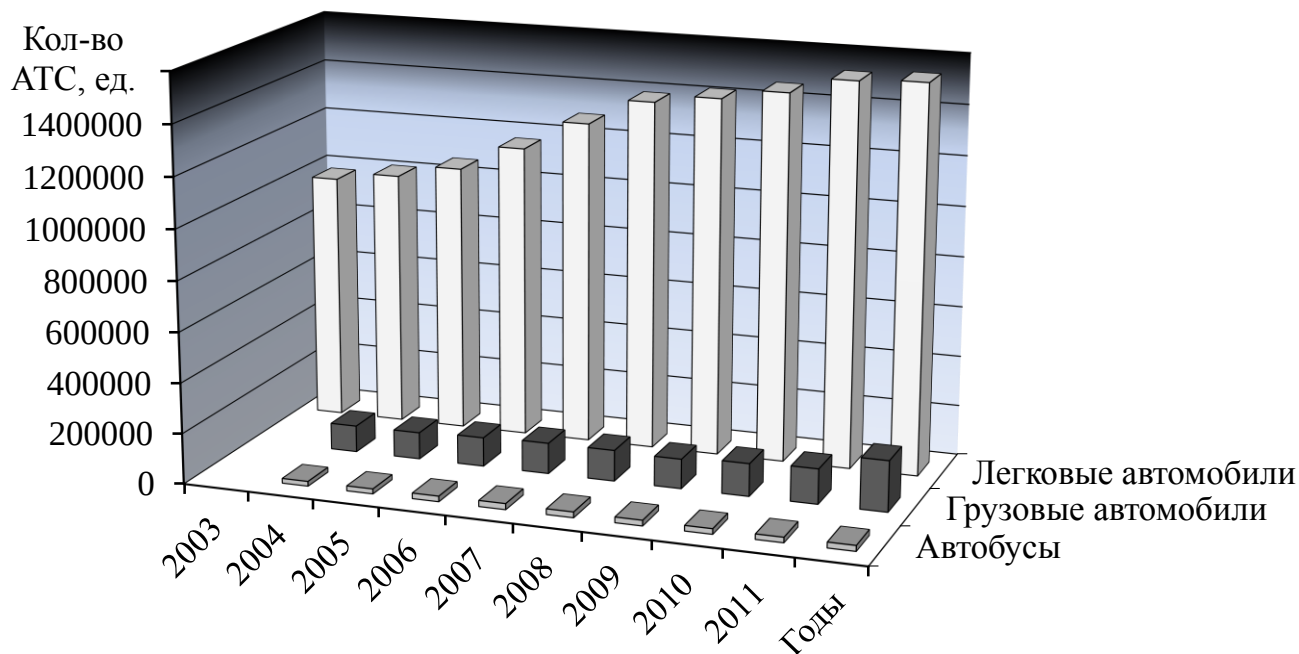


Рисунок 3 - Динамика изменения численности легковых автомобилей, грузовых автомобилей и автобусов в Санкт-Петербурге в 2003-2012 годах

В 2004 парк автомобильной техники Санкт-Петербурга насчитывал около 1,1 млн. АТС, в 2010 - около 1,6 млн. АТС, а уже в начале 2013 г. - 1,8 млн. единиц. При этом и в 2004, и в 2010, и в 2013 году основная доля автомобилей - около 90 % от общего числа АТС - приходилась на легковые автомобили, общая численность которых по итогам 2012 года составила 1,54 млн. единиц. Численность грузовых автомобилей за истекший период возросла практически в 2 раза со 104,8 тыс. единиц в 2004 году до 201 тыс. единиц в 2012 году, причем количество грузовых АТС резко увеличилось в 2012 году - на 62 тыс. единиц, т.е. в 1,4 раза. Что касается автобусного парка, то его численность не претерпела значительных изменений: 18,7 тыс. машин в 2004 году и около 22 тыс. машин на начало 2013 года числилось в ГИБДД Санкт-Петербурга.

В связи с начавшимся в 2008 году кризисом, усугубившимся необределенностью экономической ситуации декабря 2014 года, до сих пор сохраняется высокий уровень непредсказуемости в прогнозировании продаж, а следовательно, и увеличении численности автомобилей в краткосрочной перспективе.

2.2 Анализ структуры парка автотранспортных средств по производителю

Анализ структуры легкового автопарка по производителю (рисунок 4) позволяет сделать следующие выводы: В Санкт-Петербурге с 2004 по 2012 год произошло перераспределение долей российских легковых автомобилей в сторону иномарок. Так, в 2004 году на долю российских машин в Санкт-Петербурге приходилось 63 %, в 2010 -38%, а в 2012 году сегмент отечественных автомобилей составил 30 % (рисунок 4).

Переломный момент в структуре автопарка пришелся на 2008 год. Это связано с превышением объемов продаж новых иномарок над отечественными автомобилями.

Возрастание объемов продаж иномарок связано с развитием так называемой «промышленной сборки» иностранных автомобилей на территории РФ. Можно ожидать, что тенденция преобладания автомашин зарубежного производства сохранится и в ближайшей, и в долгосрочной перспективе, поскольку практически все мировые лидеры автомобильного производства в той или иной степени имеют планы экспансии в Россию.

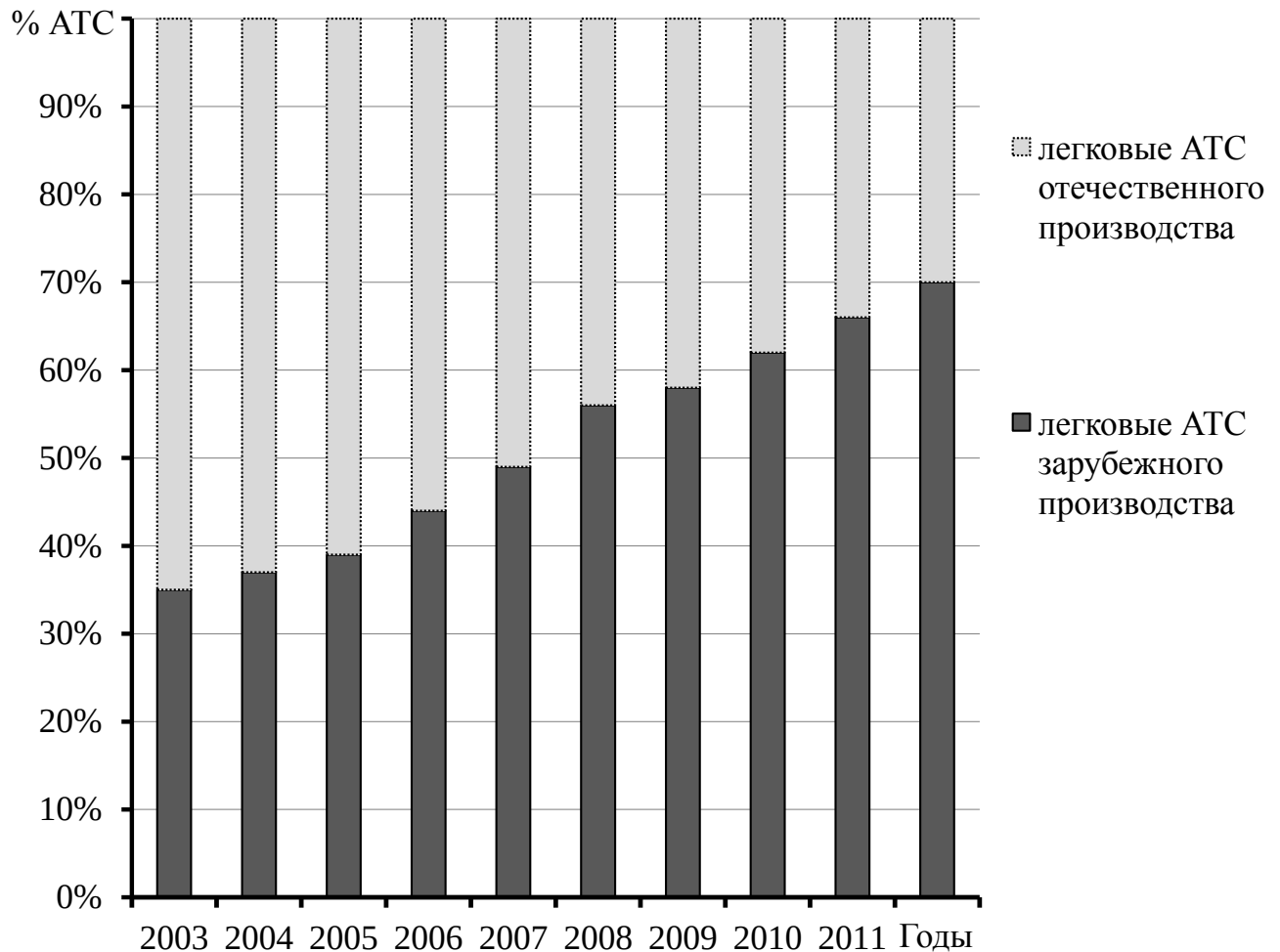


Рисунок 4 - Динамика изменения соотношения отечественных и зарубежных легковых автомобилей в Санкт-Петербурге в 2003-2012 гг.

Анализ структуры грузового автопарка показал, что в Санкт-Петербурге с 2004 по 2012 год также имело место возрастание численности зарубежного грузового автотранспорта. Однако в целом доля грузовиков отечественного производства значительно превышает долю импортных машин. В 2004 году на долю импортных машин в Санкт-Петербурге приходилось 25%, в 2010 году сегмент иномарок составил 32 %, а в 2012 - 36 % (Рисунок 5).

На сегодняшний день производство грузовых автомобилей в России достаточно консолидировано и более 80% выпускается на трех предприятиях страны ГАЗ, КАМАЗ и УАЗ, и более половины по-прежнему производится на ОАО «ГАЗ».

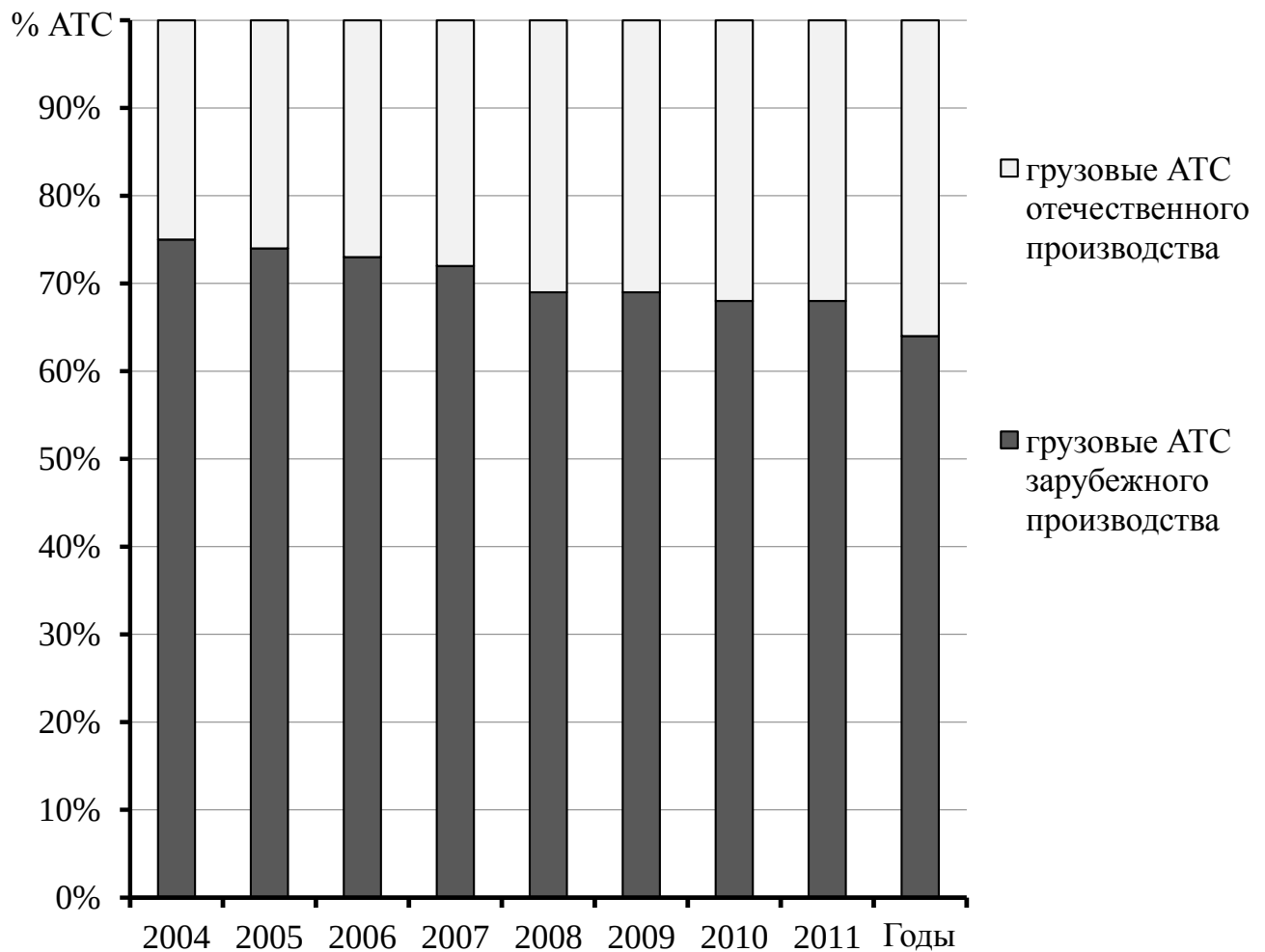


Рисунок 5 - Динамика изменения соотношения отечественных и зарубежных грузовых автомобилей в СПб в 2004-2011 гг., %

Анализ структуры автобусного парка по производителю показал, что в Санкт-Петербурге соотношение между иностранными и российскими автобусами за исследуемый период практически не менялось до 2009 года: так в 2004 году автобусный парк в Санкт-Петербурге был представлен 26 % автобусов импортного производства и 74% отечественного производства, а в 2009 году - 27% зарубежных автобусов и 73 % российских автобусов (Рисунок 6).

Однако с 2010 года наметилась тенденция роста численности автобусов зарубежного производства, доля которых в 2012 году составила 40 %.

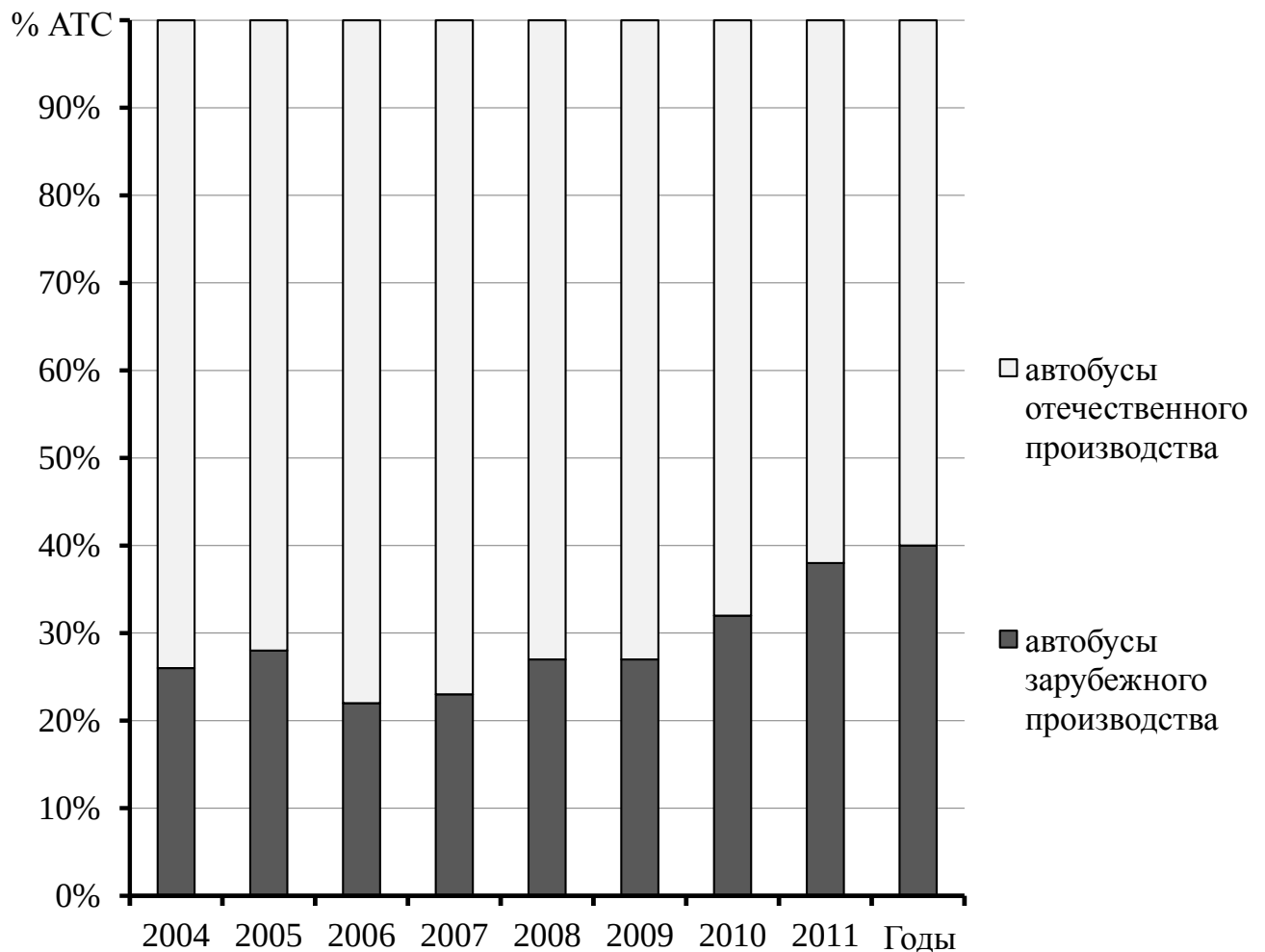


Рисунок 6 - Динамика изменения соотношения автобусов отечественного и зарубежного производства в Санкт-Петербурге в 2004-2012 гг.

2.3 Изменение возрастной структуры автопарка

Анализ возрастных характеристик автопарка показывает, что несмотря на активный рост первичного рынка, наблюдавшийся за последние несколько лет, средний возраст парка легковых автомобилей в РФ остается достаточно высоким – машины от 10 лет составляют 48 %, от 5 до 10 лет – 25 % и менее 5 лет – 27 %.

В Санкт-Петербурге в целом сохраняется та же тенденция: доля автомобилей старше 10 лет, по-прежнему, очень высока и составила в 2010 году 46 %, а в 2012 - 42 %, сократившись практически на 20 % по сравнению с 2003 годом (рисунок 7).

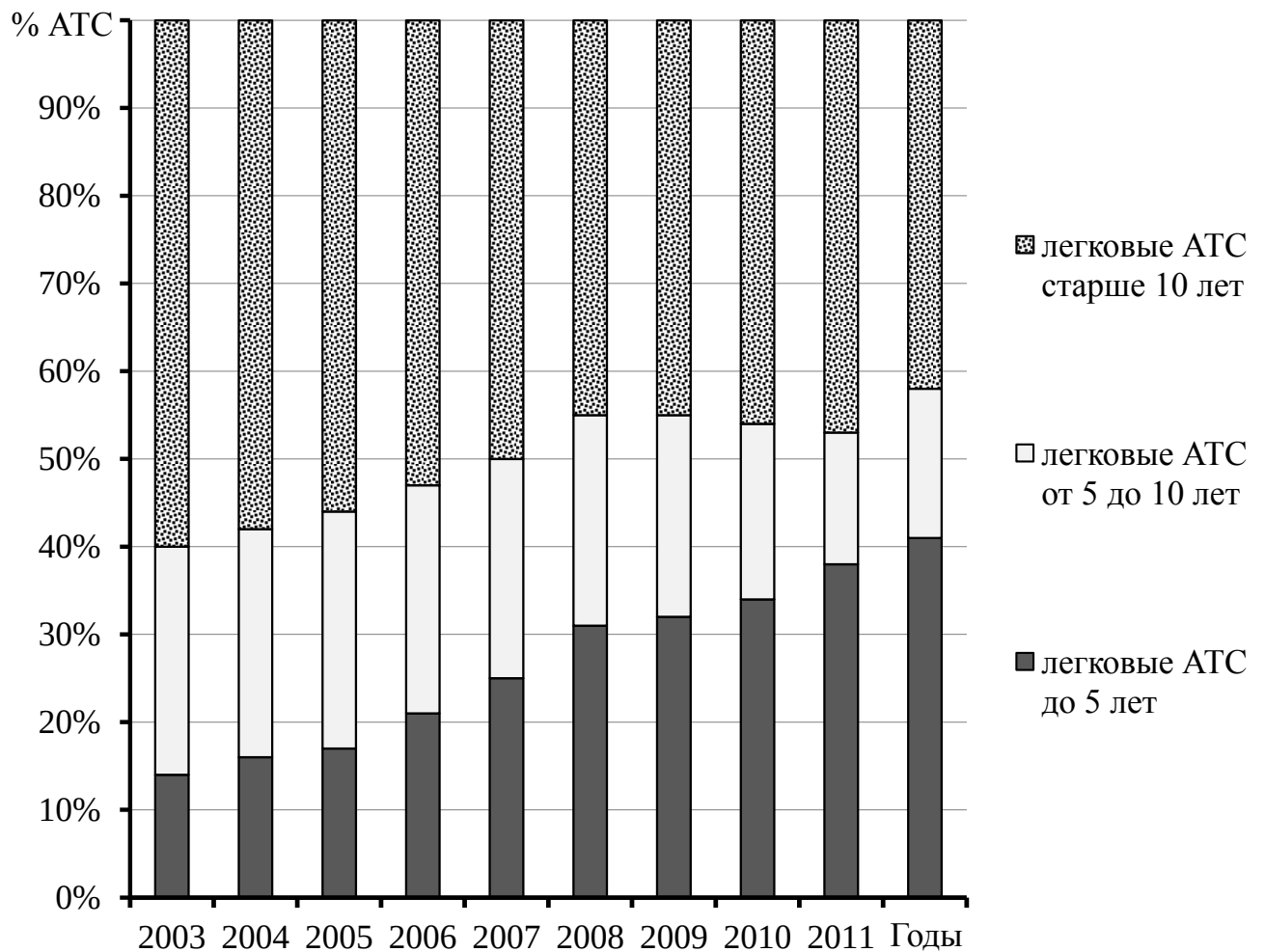


Рисунок 7 - Динамика изменения возрастной структуры легковых автомобилей в Санкт-Петербурге в 2003-2012 гг., %

В сегменте легковых АТС среднего возраста от 5 до 10 лет, находящегося приблизительно на одном и том же уровне 24 – 27 % с 2004 по 2009, в 2010 году наметился спад, что говорит об устаревании АТС средней возрастной категории и переходе их в "старшую" возрастную группу. С 2004 года наблюдался постоянный рост численности автомобилей в возрасте меньше 5 лет, доля которых в 2004 году составила 13 %, в 2010 - 33 %, а в 2012 - 42 %.

Что касается возрастной структуры парка грузовых автомобилей РФ, то приходится признать его наиболее старым среди всех типов транспортных средств – доля грузового транспорта в возрасте от 10 лет на январь 2013 года достигла 75 %.

В Санкт-Петербурге соотношение грузовых автомобилей по возрасту оставалось практически на одном и том же уровне с 2004 по 2009 год. Так, доля новых автомобилей в 2004 году составила 19%, а в 2009 - 20%, на долю грузовиков среднего возраста и в 2004, и в 2009 приходилось 26%, а процент старых АТС составил 55% в 2004 году и 54 % в 2009 году (рисунок 8).

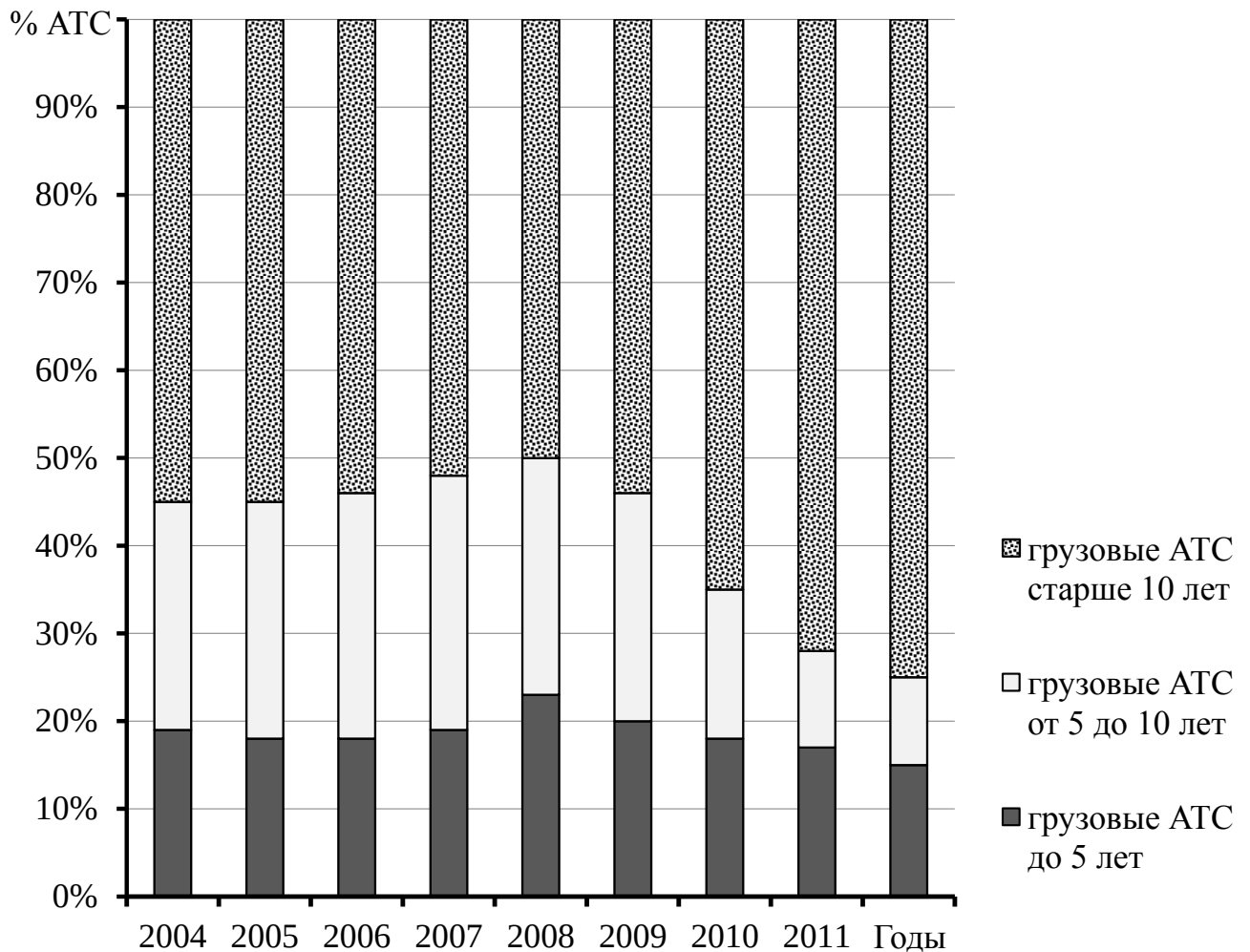


Рисунок 8 - Динамика изменения возрастной структуры грузовых автомобилей в Санкт-Петербурге в 2004-2012 гг., %

Однако с 2010 имело место резкое возрастание сегмента старых автомобилей до 65 % в 2010 году и до 75 % в 2012 году. При этом доля новых автомобилей к 2012 резко сократилась до 15 %.

Очевидно, что высокий средний возраст грузовых автомобилей не может не вызывать опасения. Необходимость обновления грузового парка АТС тесно связана с его несоответствием принятым в РФ техническим нормативам.

Автобусный парк являлся наиболее молодым среди всех типов АТС до 2010 года. По состоянию на 1 января 2010 года на долю автобусов с возрастом менее 5 лет в Санкт-Петербурге приходилось 22 %, удельный вес автобусов среднего возраста от 5 до 10 лет составил 32 %, а автобусов старше 10 лет – 46% (рисунок 9).

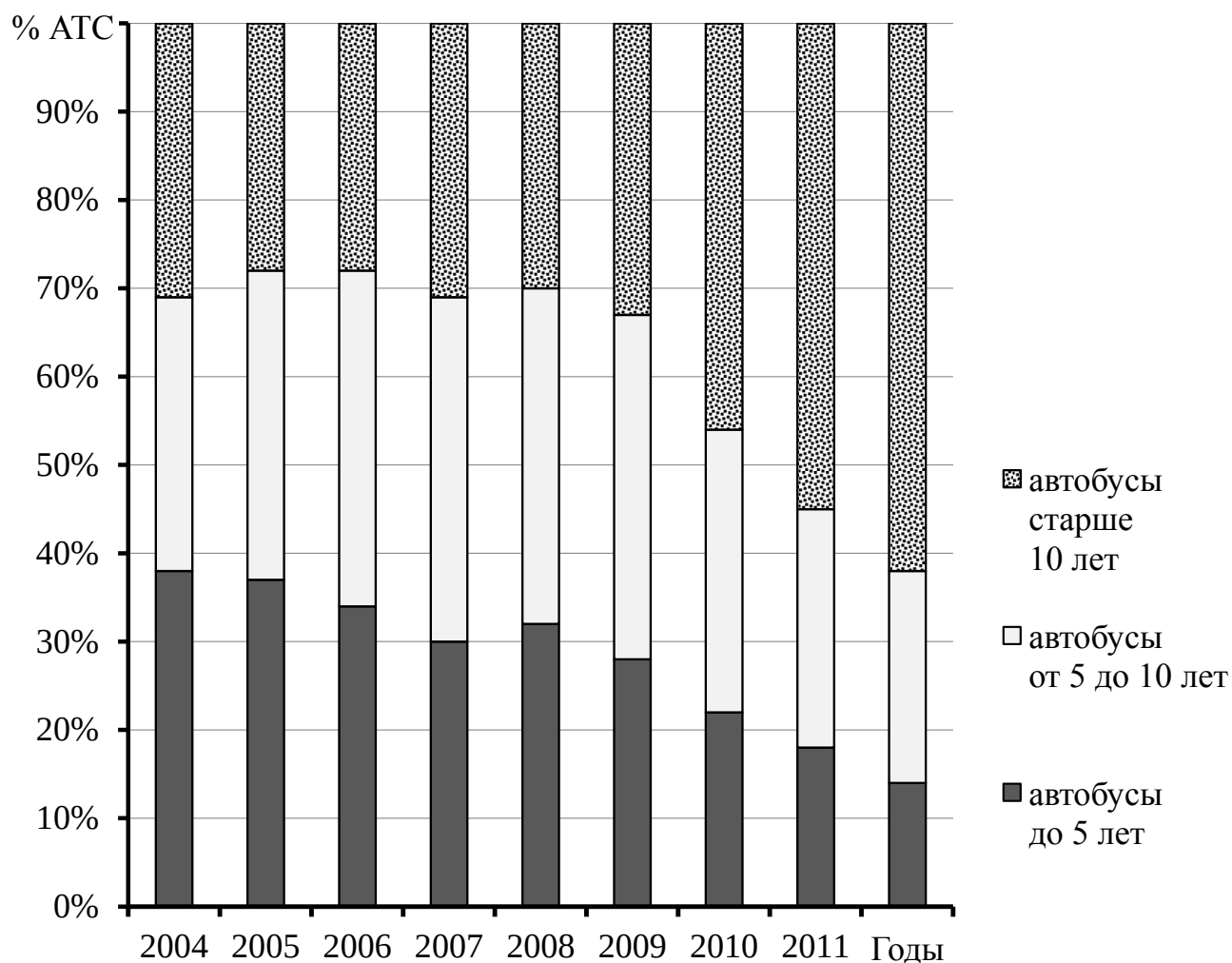


Рисунок 9 - Динамика изменения возрастной структуры автобусов в Санкт-Петербурге в 2004-2012 гг., %

По состоянию на январь 2013 года в возрастной структуре автобусного парка Санкт-Петербурга тоже произошли серьезные изменения: сократился сегмент новых автобусов и автобусов среднего возраста, и резко возрасла доля автобусов старше 10 лет с 28,4 % в 2006 году до 62,0 % в 2012, что свидетельствует о старении парка городских пассажирских автобусов, введенных в эксплуатацию в начале 2000-ых.

2.4 Выводы по разделу

1. За последнее десятилетие произошел существенный рост парка АТС в Санкт-Петербурге, в связи с чем автомобильный транспорт стал главным источником загрязнения атмосферного воздуха, в том числе источником возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автомагистралей.

2. Парк легковых автомобилей увеличился в 1,6 раза с 2003 по 2013 год (более 1,5 млн. единиц), при этом произошло его существенное обновление: доля автомобилей в возрасте до пяти лет в 2004 году составила 13 %, в 2010 - 33 %, а в 2012 - 42 %.

3. Численность грузовых автомобилей за истекший период возросла практически в 2 раза со 104,8 тыс. единиц в 2004 году до 201 тыс. единиц в 2012 году, при этом имело место резкое возрастание сегмента старых автомобилей старше 10 лет, соответствующих экологическим классам Евро 0 - Евро 2, с 65 % в 2010 году до 75 % в 2012 году.

4. Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что основной вклад в чрезвычайное загрязнение приземного воздушного пространства вносят легковой транспорт в силу количественного фактора и грузовой транспорт в силу экстремально высоких выбросов, приходящихся на одну транспортную единицу.

Поскольку в отношении удельных пробеговых выбросов ЗВ, в том числе оксидов азота, грузовыми автомобилями старше 10 лет накоплено и опубликовано много данных [112, 113, 122], а проведение испытаний в реальных условиях на городских автомагистралях сопряжено с объективными трудностями инструментального оформления эксперимента, было принято решение о проведении бортового мониторинга содержания NO_x в ОГ легковых автомобилей.

3 Бортовой мониторинг удельных выбросов NO_x легкового автотранспорта на автодорогах Санкт-Петербурга

3.1 Постановка экспериментальных исследований, объекты испытаний, условия эксперимента

Легковые автомобили для эксперимента были выбраны на основании проведенного статистического анализа. Оценка удельных выбросов оксидов азота NO_x, выделяющихся с ОГ, проводилась путем измерения их концентраций в составе ОГ легковых автомобилей с бензиновыми двигателями отечественного и импортного производства, отличающихся по типу двигателя (инжекторный или карбюраторный), возрасту, топливу, трансмиссии, оснащенных и неоснащенных каталитическим нейтрализатором отработавших газов. Характеристики испытанных автомобилей приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика легковых автомобилей

№	Марка автомобиля	Год выпуска	Объем двигателя, см ³	Тип трансмиссии	Тип Двигателя	Тип топлива	Экологический класс
1	ВАЗ 2101	1980 (КРД 2010)	1300	Механ.	Бензиновый карбюраторный	Регуляр 92	Не определен
2	ВАЗ 21093	1992	1300	Механ.	Бензиновый карбюраторный	Регуляр 92	Не определен
3	Mitsubishi Lancer IV	1991	1468	Автомат.	Бензиновый инжекторный	Премиум 95	Евро 1
4	Skoda Felicia II	1998	1289	Механ.	Бензиновый карбюраторный	Регуляр 92	Евро 2
5	Chevrolet Lacetti	2009	1598	Механ.	Бензиновый инжекторный	Регуляр 92	Евро 3
6	Huyn dai Elantra	2009	1596	Механ.	Бензиновый инжекторный	Премиум 95	Евро 3

№	Марка автомобиля	Год вы-пуска	Объем двигателя, см ³	Тип транс-миссии	Тип Двигателя	Тип топлива	Экологический класс
7	Volkswagen Tiguan	2009	1984	Автомат.	Бензиновый инжекторный	Премиум 95	Евро 3
8	Nissan Qashqai	2010	1997	Автомат.	Бензиновый инжекторный	Премиум 95	Евро 4
9	Nissan Qashqai +2	2012	1997	Автомат.	Бензиновый инжекторный	Премиум 95	Евро 4
10	Land Rover Discovery 3 (1)	2008	2720	Автомат.	Дизельный	Диз. топливо	Евро 3
11	Land Rover Discovery 3 (2)	2008	2720	Автомат.	Дизельный	Диз. топливо	Евро 3

Измерение зависимости концентрации NO_x в ОГ от скорости движения автомобиля в диапазоне скоростей от 10 до 50 км/ч проводили на улицах Санкт-Петербурга, а в диапазоне скоростей от 50 до 120 км/ч на кольцевой автодороге (КАД) Санкт-Петербурга в дневное время. Места дорожных экспериментов, а также погодные условия указаны в таблице 4. Испытания проводили на горизонтальных участках улиц при установившемся режиме движения для каждого значения скорости, поскольку при достижении необходимой скорости автомобиль движется прямолинейно с постоянной подачей топлива. При испытаниях на автомобилях с механической коробкой переключения передач использовалась передача, обеспечивающая работу двигателя на рекомендованной заводом изготовителем частоте вращения коленчатого вала для установленной средней скорости движения.

Таблица 4 - Места проведения и погодные условия при испытаниях

№	Марка автомобиля	Место проведения испытаний	Погодные условия при проведении испытаний
1	ВАЗ 2101	Софийская ул., Автозаводская ул.,	+ 2-4 °С, облачно,

№	Марка автомобиля	Место проведения испытаний	Погодные условия при проведении испытаний
		3-й Бадаевский проезд, Московское ш., КАД	мокрый снег, дождь
2	BA3 21093	Сертолово, Заречная ул., Сарженская ул., КАД	+ 7 °С, облачно, без осадков, асфальт мокрый
3	Mitsubishi Lancer IV	Софийская ул., Автозаводская ул., 3-й Бадаевский проезд, Московское ш., КАД	+ 12°С, облачно, без осадков
4	Skoda Felicia II	Московский проспект, ул. Бассейная, ул. Решетникова, ул. Благодатная, КАД	+ 6 °С, облачно, без осадков, асфальт мокрый
5	Chevrolet Lacetti	Софийская ул., Автозаводская ул., 3-й Бадаевский проезд, Московское ш., КАД	+ 18°С, ясно, без осадков
6	Huyn dai Elantra	Альпийский пер., ул. Бухарестская, Дунайский пр., ул. Будапештская, КАД	+ 22 °С, переменная облачность, без осадков
7	Volkswagen Tiguan	Альпийский пер., ул. Бухарестская, Дунайский пр., ул. Будапештская, КАД	+ 22 °С, переменная облачность, дождь
8	Nissan Qashqai	Альпийский пер., ул. Бухарестская, Дунайский пр., ул. Будапештская, КАД	+ 22 °С, переменная облачность, дождь
9	Nissan Qashqai +2	Альпийский пер., ул. Бухарестская, Дунайский пр., ул. Будапештская, КАД	+ 22 °С, переменная облачность, дождь
10	Land Rover Discovery 3 (1)	Сертолово, Заречная ул., Сарженская ул., КАД	+ 1°С, облачно, без осадков
11	Land Rover Discovery 3 (2)	Сертолово, Заречная ул., Сарженская ул., КАД	+ 1°С, облачно, без осадков

Концентрацию NO_x в ОГ измеряли с помощью 4-х компонентного газоанализатора Testo 300 XXL, Германия, с электрохимическим детектированием NO_x . Диапазон детектирования газоанализатора по NO_x составляет 1 – 3000 ppm. Перед испытаниями газоанализатор прошел поверку. Размеры регистрационного модуля позволяют свободно размещать его в салоне автомобиля (рисунок 10).

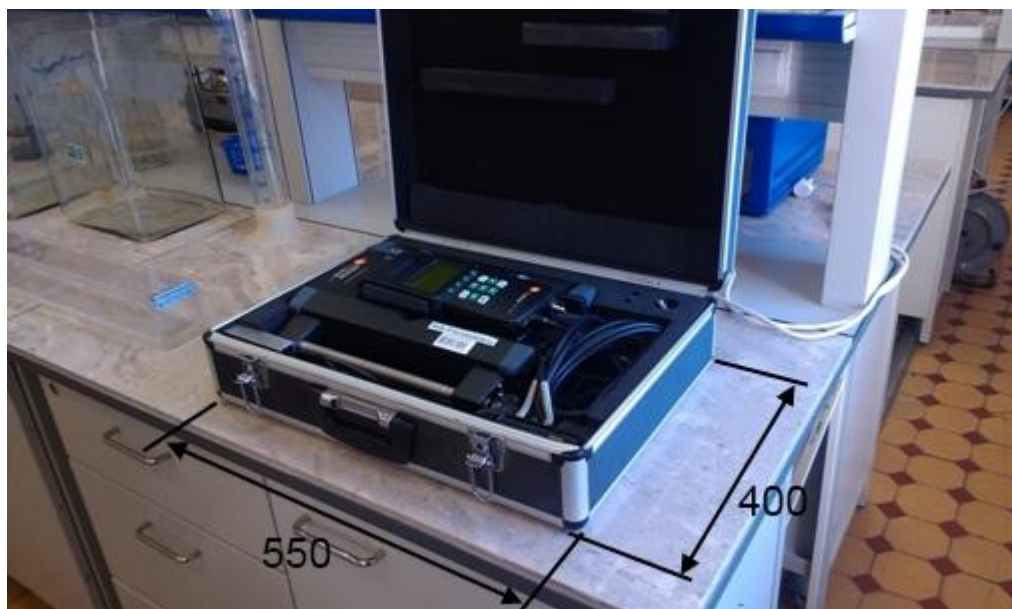


Рисунок 10 - Четырехкомпонентный газоанализатор Testo 300 XXL

В зависимости от комплектации газоанализаторы Testo 300 XXL могут оснащаться различным количеством пробоотборных зондов, в комплекте нашего находится всего один пробоотборный зонд, включающий в себя части выполненные из термопластичного пластика, плавящегося при достаточно низких температурах. При проведении натурных испытаний, эти части пробоотборного зонда в результате воздействия ОГ, нагретых до высоких температур, достаточно быстро пришли в негодность (рисунок 11).



Рисунок 11 - Оплавленный пробоотборный зонд

В результате в конструкцию пробоотборного зонда были внесены изменения - зонд удлиннили с помощью фторопластовой трубки с целью повышения термостойкости (температура начала деструкции в районе 300°C) и оснастили струбциной для удобства быстрого закрепления и снятия с выхлопной трубы автомобиля (рисунок 12).

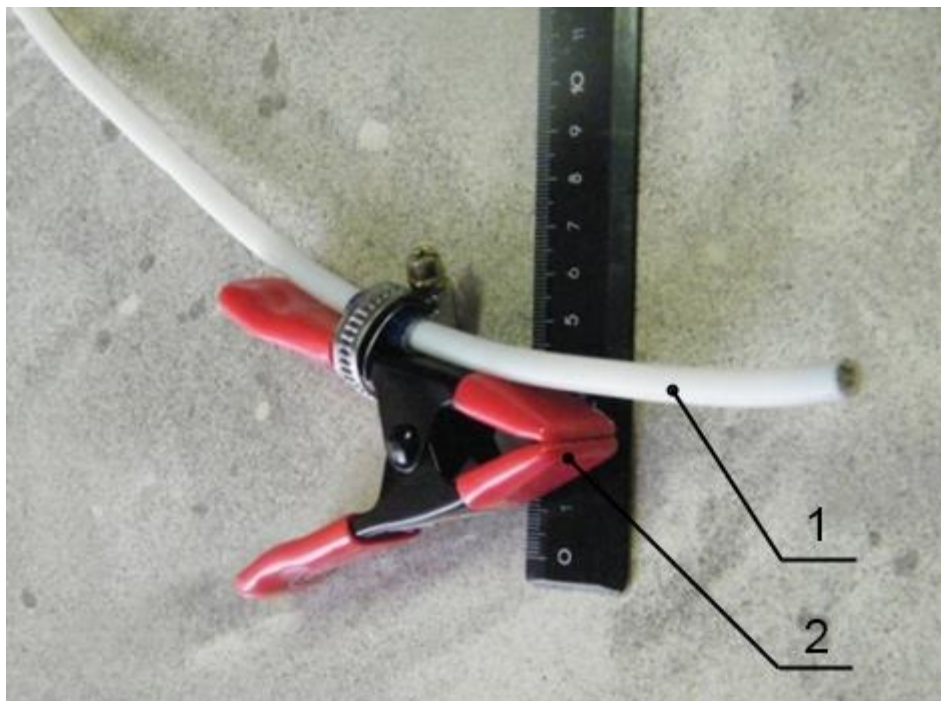


Рисунок 12 - Закрепление струбцины на фторпластовом пробоотборном зонде: 1 – фторопластовая трубка; 2 – струбцина

Струбцина закреплялась на фторопластовой трубке таким образом, чтобы свободный конец пробоотборной трубки размещался не менее чем на 30 сантиметров в глубине от среза выхлопной трубы автомобиля (рисунок 13). Регистрационный модуль размещали в салоне автомобиля.



Рисунок 13 - Закрепление пробоотборного зонда в выхлопной трубе автомобиля: 1 - пробоотборный зонд; 2 – выхлопная труба

Весь цикл испытаний для каждого автомобиля проводили в течение одного дня, начиная с холостого режима с постепенным переходом к максимальной скорости 120 км/ч. Для каждого скоростного режима измерения проводились в 3-8 повторностях до установления стабильных показаний прибора. Одновременно по показателям прибора фиксировали частоту вращения коленчатого вала двигателя. Двигатели автомобилей перед началом испытаний подвергали предварительному прогреву в течение 5-10 минут.

3.2 Обработка полученных экспериментальных данных

В работах [162, 163] расчет удельных пробеговых выбросов NO_x проводился по упрощенной формуле (13), полученной с учетом следующих теоретических предпосылок: удельный пробеговый выброс NO_x будет тем больше, чем выше значение концентрации оксидов азота в отработавших газах двигателей автотранспортных средств и тем больше, чем больше объем выбрасываемых отработавших газов [164]. Объем выбрасываемых отработавших

газов зависит от рабочего объема двигателя, от того как часто происходит такт выпуска отработавших газов, и от скорости вращения коленчатого вала двигателя. Количество пробеговых выбросов оксидов азота единичного автомобиля, приходящееся на участок пути, зависит от времени нахождения автомобиля на этом участке, которое обратно пропорционально скорости движения автомобиля.

$$C_{\text{NO}_x(\text{г/км})} = C_{\text{г/м}^3} \cdot 0,5 \cdot V \cdot 60 \cdot n / W, \quad (13)$$

где

$C_{\text{NO}_x(\text{г/км})}$ – удельный пробеговой выброс, г/км;

$C_{\text{г/м}^3}$ – содержание NO_x в ОГ, г/м³;

$V_{\text{двиг}}$ – объем двигателя, м³;

0,5 – коэффициент учитывающий часть рабочего объема двигателя, участвующую в формировании выброса за один оборот коленчатого вала двигателя;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя (об/мин);

60 – коэффициент пересчета минут в часы;

$V_{\text{скор}}$ – скорость движения автомобиля, км/ч.

Для исключения возможных субъективных ошибок, при выведении аналитического выражения (13) и увеличения достоверности результатов оценки величины удельных пробеговых выбросов NO_x был использован метод анализа размерностей [165]. Данный метод позволяет установить связи между физическими величинами, влияющими на изучаемое явление или процесс, в основе которого лежит рассмотрение их размерностей.

Формулы размерностей показывают, каким образом основные единицы определяют численное значение переменных [166]. В качестве переменных, для которых выбираются первичные единицы измерения, принимают три основные

единицы измерения системы SI (кг, м, с). Вторичные величины измеряются косвенно, посредством измерения некоторых первичных величин.

Специальная структура функциональных соотношений устанавливается π -теоремой: всякое соотношение между размерными характеристиками, имеющее физический смысл, представляет собой соотношение между отвлеченными безразмерными комбинациями, которые можно составить из размерных определяемых и определяющих величин, среди которых должны учитываться и размерные физические постоянные, имеющие существенное значение в рассматриваемых явлениях [167].

Для определения функциональной зависимости одной физической величины x от нескольких других $x_1, x_2, \dots, x_n$, используем вариант π -теоремы (14):

$$x = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (14)$$

В таком случае зависимость (14) эквивалентна связи (15)

$$\pi = F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-k}) \quad (15)$$

где

$$\pi = \frac{x}{x_1^\alpha \cdot x_2^\beta \cdot \dots \cdot x_k^\omega},$$

k — количество независимых (первичных) размерностей, из которых образованы все размерности других (производных) величин.

π_i — безразмерные комбинации, полученные из оставшихся исходных величин $x_{k+1}, x_{k+2}, \dots, x_n$ делением на выбранные величины в соответствующих степенях:

$$\pi_1 = \frac{x_{k+1}}{x_1^\alpha \cdot x_2^\beta \cdot \dots \cdot x_k^z},$$

...,

$$\pi_{n-k} = \frac{x_n}{x_1^A \cdot x_2^B \cdot \dots \cdot x_k^Z},$$

Определим величины, описывающие процесс формирования удельных пробеговых выбросов NO_x , и их размерности в системе SI (таблица 5).

Таблица 5 - Величины, описывающие процесс формирования удельных пробеговых выбросов NO_x , и их размерности

Величина	Обозначение	Единицы измерения внесистемные	Формула размерности в системе SI
Удельный пробеговый выброс NO_x	C_{NO_x}	кг/км	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-1}$
Содержание NO_x в ОГ автомобиля	C_{EG}	ppm	$\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$
Объем двигателя	V	л	м^3
Количество оборотов коленчатого вала для завершения полного цикла двигателя	N	об	рад
Угловая скорость вращения коленчатого вала	n	об/сек	$\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$
Скорость движения автомобиля	W	км/ч	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$

В нашем случае мы имеем шесть переменных и четыре единицы измерения. Существует, следовательно, два произведения без размерности.

При применении π -теоремы от выбора первичных аргументов с независимыми размерностями формально будут получаться разные выражения. Однако получаемые результаты эквивалентны, и из одного выражения можно получить другое путем перехода к комбинациям безразмерных параметров.

В соответствии с π – теоремой, получим уравнение (16) для π_1 :

$$\pi_1 = N^1 \cdot n^\alpha \cdot W^\beta \cdot C_{NO_x}^\gamma \cdot C_{EG}^\delta, \quad (16)$$

Подставив единицы измерения переменных, получим уравнение (17):

$$[\pi_1] = \text{рад} \cdot (\text{рад} \cdot \text{с}^{-1})^\alpha \cdot (\text{м} \cdot \text{с}^{-1})^\beta \cdot (\text{кг} \cdot \text{м}^{-1})^\gamma \cdot (\text{кг} \cdot \text{м}^{-3})^\delta = 1, \quad (17)$$

Получим безразмерный комплекс (18), выписав предварительно условия равенства показателей:

$$\begin{aligned} \text{для [рад]:} \quad & 1 + \alpha = 0, \\ \text{для [с]:} \quad & -\alpha - \beta = 0, \\ \text{для [м]:} \quad & \beta - \gamma - 3\delta = 0, \\ \text{для [кг]:} \quad & \gamma + \delta = 0, \end{aligned} \quad (18)$$

Следовательно, степени $\alpha = -1$; $\beta = 1$; $\gamma = -\frac{1}{2}$; $\delta = \frac{1}{2}$, а безразмерный комплекс примет вид (19):

$$\pi_1 = C_{NO_x}^{-\frac{1}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{1}{2}} \cdot N \cdot n^{-1} \cdot W, \quad (19)$$

Уравнение для π_2 будет иметь следующий вид (20):

$$\pi_2 = V^1 \cdot n^{\alpha_1} \cdot W^{\beta_1} \cdot C_{NO_x}^{\gamma_1} \cdot C_{EG}^{\delta_1}, \quad (20)$$

Подставив единицы измерения переменных, получим уравнение (21):

$$[\pi_2] = \text{м}^3 \cdot (\text{рад} \cdot \text{с}^{-1})^{\alpha_1} \cdot (\text{м} \cdot \text{с}^{-1})^{\beta_1} \cdot (\text{кг} \cdot \text{м}^{-1})^{\gamma_1} \cdot (\text{кг} \cdot \text{м}^{-3})^{\delta_1} = 1, \quad (21)$$

Получим безразмерный комплекс (22), выписав предварительно условия равенства показателей:

$$\begin{aligned}
 \text{для [м]:} \quad & 3 + \beta_1 - \gamma_1 - 3\delta_1 = 0, \\
 \text{для [рад]:} \quad & \alpha_1 = 0, \\
 \text{для [с]:} \quad & -\alpha_1 - \beta_1 = 0, \\
 \text{для [кг]:} \quad & \gamma_1 + \delta_1 = 0,
 \end{aligned} \tag{22}$$

Следовательно, степени, $\alpha_1 = 0$; $\beta_1 = 0$; $\gamma_1 = -\frac{3}{2}$; $\delta_1 = \frac{3}{2}$, а безразмерный комплекс примет вид (23):

$$\begin{aligned}
 \pi_2 &= C_{\text{NO}_x}^{-\frac{3}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{3}{2}} \cdot V \cdot n^0 \cdot W^0, \\
 \pi_2 &= C_{\text{NO}_x}^{-\frac{3}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{3}{2}} \cdot V,
 \end{aligned} \tag{23}$$

Разделив комплекс π_1 на комплекс π_2 (24), получим вторичный безразмерный комплекс π_3 (25):

$$[\pi_3] = \frac{[\pi_1]}{[\pi_2]} = 1, \tag{24}$$

$$\begin{aligned}
 \pi_3 &= \frac{C_{\text{NO}_x}^{-\frac{3}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{3}{2}} \cdot V}{C_{\text{NO}_x}^{-\frac{1}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{1}{2}} \cdot N \cdot n^{-1} \cdot W}, \\
 \pi_3 &= C_{\text{NO}_x}^{-\frac{3}{2}} \cdot C_{\text{NO}_x}^{\frac{1}{2}} \cdot C_{EG}^{\frac{3}{2}} \cdot C_{EG}^{-\frac{1}{2}} \cdot V \cdot N^{-1} \cdot n \cdot W^{-1},
 \end{aligned} \tag{25}$$

$$\pi_3 = C_{\text{NO}_x}^{-1} \cdot C_{EG} \cdot \frac{V \cdot n}{N \cdot W},$$

Анализ обобщенного безразмерного комплекса π_3 (25) позволяет получить зависимость величины удельного пробегового выброса NO_x от содержания NO_x в ОГ (26).

$$C_{\text{NO}_x} = C_{EG} \cdot \frac{V \cdot n}{N \cdot W}, \quad (26)$$

где

C_{NO_x} - удельный пробеговой выброс NO_x , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-1}$;

C_{EG} - содержание NO_x в ОГ автомобиля, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

V - объем двигателя, м^3 ;

n - угловая скорость вращения коленчатого вала, $\text{рад} \cdot \text{с}^{-1}$;

N - количество оборотов коленчатого вала для завершения полного цикла двигателя, рад;

W - скорость движения автомобиля, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$.

Полученные с помощью методов анализа размерностей результаты, отличаются высокой степенью научной достоверности, позволяют обобщать исходную информацию и иные данные, анализировать их и распространять результаты исследования на другие объекты и системы.

Оценку погрешностей результата косвенных вычислений по формуле 26 выполняли следующим образом:

В соответствии с паспортом газоанализатора Testo 300 XXL, погрешность прибора при измерении концентрации $\text{NO}_2 \pm 5 \text{ ppm}$ (при значениях $\leq 100 \text{ ppm}$), погрешность 5 % от измеренного значения (при значениях $> 100 \text{ ppm}$) диапазон измерения от 0 до 500 ppm; погрешность прибора при измерении концентрации $\text{NO} \pm 5 \text{ ppm}$ (при значениях $\leq 100 \text{ ppm}$), погрешность 5 % от измеренного значения (при значениях от 100 до 2000 ppm), погрешностью 10 % от измеренного значения (при значениях от 2000 ppm) диапазон измерения концентрации NO от 0

до 3000 ppm. Максимальное наблюдаемое значение концентраций оксидов азота в ОГ составило 497 ppm, таким образом, погрешность измерений концентрации не превышала 5 %.

Скорость вращения коленчатого вала двигателя определяли по тахометрам АТС (за исключением автомобилей ВАЗ 2101, ВАЗ 21093 – тахометр не предусмотрен конструкцией).

Цена деления (ЦД) тахометров автомобилей Mitsubishi Lancer IV, Skoda Felicia II, Hyundai Elantra составляет 500 об/мин, максимальное значение измеряемой величины 8000 об/мин, следовательно, абсолютная погрешность принимается равной 250 об/мин – половине ЦД, а относительная погрешность 3,1 %. ЦД тахометра автомобиля Chevrolet Lacetti - 1000 об/мин, абсолютная погрешность принимается равной 500 об/мин, а относительная погрешность 6,3%. ЦД тахометров автомобилей Volkswagen Tiguan и Nissan Qashqai +2 - 250 об/мин, абсолютная погрешность принимается равной 125 об/мин, а относительная погрешность 1,6 %. ЦД тахометра автомобиля Nissan Qashqai - 100 об/мин, абсолютная погрешность принимается равной 50 об/мин, а относительная погрешность 0,6 %. ЦД тахометра автомобилей Land Rover Discovery 3 - 200 об/мин, максимальное значение измеряемой величины 7000 об/мин, абсолютная погрешность принимается равной 100 об/мин, а относительная погрешность 1,4 %.

Для определения частоты вращения коленчатого вала двигателей автомобилей ВАЗ 2101 и ВАЗ 21093 к катушке зажигания подключали микропроцессорный тахометр Т-520, имеющий следующие характеристики: диапазон измерения оборотов 100-9990 об/мин, погрешность измерения оборотов ± 5 об/мин (в соответствии с паспортом завода изготовителя). Относительная погрешность 0,05 %.

Скорость движения контролировали по показаниям GPS навигаторов. Точность определения скорости большинства GPS-чипов, доступных гражданскому населению, около 0,1 км/ч, однако показания выдаются на экран приборов с точностью 1 км/ч. Таким образом, абсолютная погрешность равна

единице минимального разряда прибора - 1 км/ч, а относительная погрешность $\pm 0,8 \%$

Суммарную погрешность δZ результата косвенных измерений определяли по формулам (27, 28) [168]:

$$\delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial C_{г/л}}\right)^2 \cdot \Delta C_{г/л}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial n}\right)^2 \cdot \Delta n^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial V_{скор}}\right)^2 \cdot \Delta V_{скор}^2} \quad (27)$$

В рассматриваемом нами случае для формулы (27) возможно следующее упрощение (28):

$$\delta Z = \sqrt{\delta C_{г/л}^2 + \delta n^2 + \delta V_{скор}^2} \quad (28)$$

При определении удельных пробеговых выбросов NO_x автомобилей суммарная погрешность расчета δZ находится в пределах 5-6 %, за исключением автомобиля Chevrolet Lacetti для которого δZ составляет 8 %.

Полученные значения относительных погрешностей результата вычислений приведены в приложении 6.

Для облегчения читаемости графического представления результатов мониторинга удельных выбросов NO_x легковых автомобилей, значения приведены без нанесения на графики планок погрешностей.

3.3 Результаты мониторинга содержания NO_x в отработавших газах легковых автомашин в городских условиях эксплуатации

3.3.1 Удельные выбросы NO_x легковых автомобилей с бензиновыми двигателями

Для автомобилей, оснащенных и не оснащенных каталитическими нейтрализаторами (КН) ОГ, справедливо ожидать различные закономерности изменения выбросов NO_x в зависимости от скорости движения. Общая тенденция для всех типов АТС проявлялась в соответствии минимальных выбросов оксидов азота минимальному расходу топлива в интервале скоростей от 40-50 до 80-90 км/ч.

Для автомобилей, не оборудованных системой нейтрализации, удельный выброс оксидов азота обуславливается тремя факторами: изменением частоты вращения двигателя и, как следствие, - изменением объема выбросов, изменением скорости автомобиля и, как следствие, изменением времени его движения по некоторому отрезку автомагистрали определенного километража; природой и температурой образования NO_x непосредственно в цилиндрах двигателя АТС.

Численные значения удельных выбросов NO_x легковыми автомобилями при различных скоростях движения [169] приведены в приложении 6.

Графики зависимостей удельных выбросов NO_x от скорости движения на отечественных автомобилях, старше 10 лет, не оснащенных КН ОГ, представлены на рисунке 14.

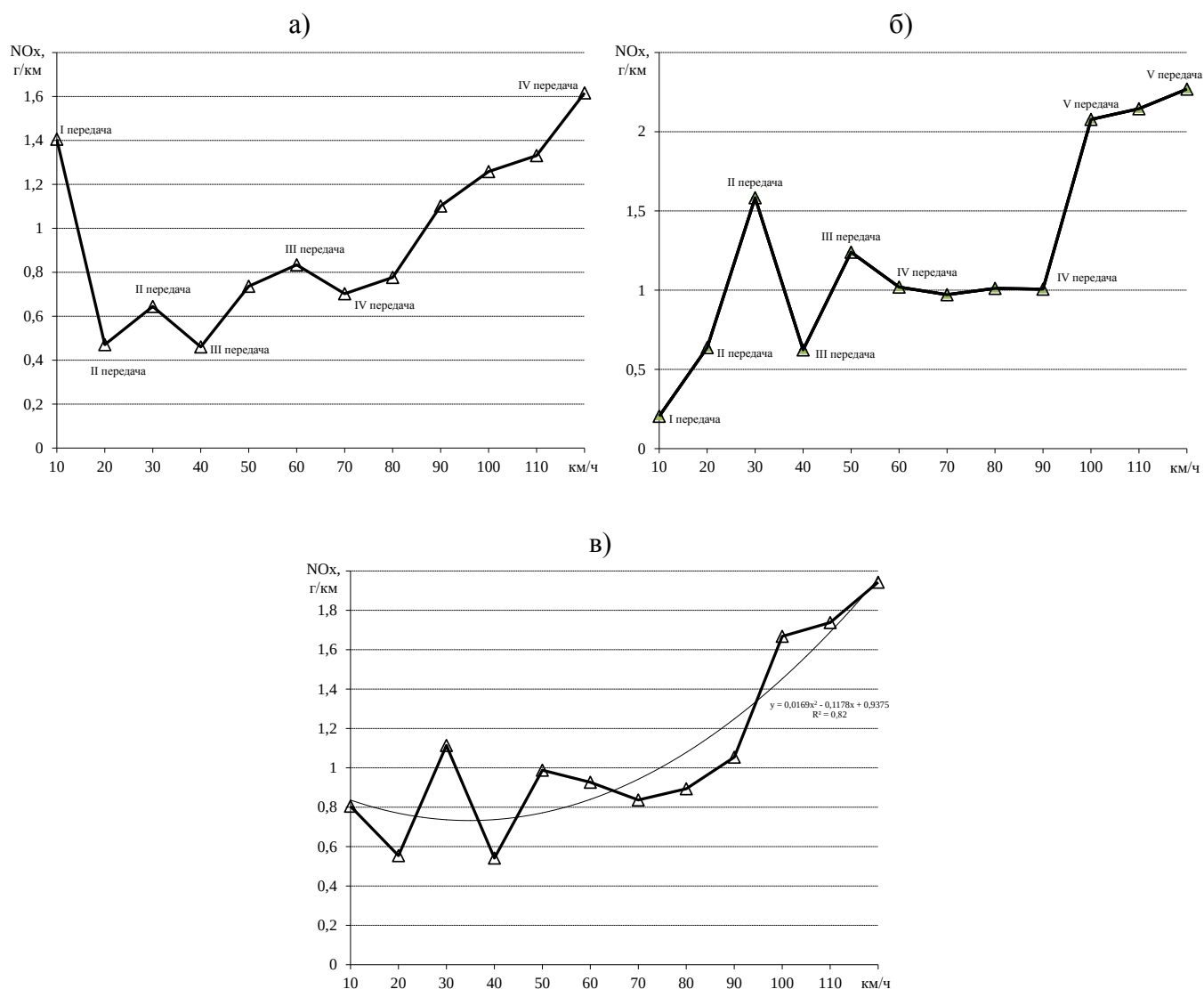


Рисунок 14 - Зависимость удельных выбросов NO_x от скорости движения на отечественных автомобилях старше 10 лет, не оснащенных КН,

а) ВАЗ 2101, б) ВАЗ 21093, в) среднее значение для исследованных АТС, не оснащенных КН

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

1) для старых отечественных автомобилей характерны самые высокие показатели по выбросам оксидов азота (0,5 – 2,5 г/км пробега);

2) при достижении скорости движения 80-90 км/ч удельные выбросы NO_x резко возрастают и достигают максимального значения (до 2,5 г/км пробега) при скорости 120 км/ч, что объясняется резким ростом температуры горения и образованием «термического» NO;

3) минимальные выбросы NO_x соответствуют скоростным режимам в диапазоне от 20-30 до 80-90 км/ч и составляют 0,5 – 0,7 г/км пробега.

Наблюдаемый разброс данных измерений выбросов с ОГ оксидов азота на автомобилях ВАЗ 21093 и ВАЗ 2101, вероятно связан с тем, что при их перемещении в потоке с некоторой определенной средней скоростью, двигатель все же не работает на стационарных режимах, обуславливая и нестационарность горения топлива в цилиндрах.

Полученные данные в целом соответствуют результатам более ранних исследований и подтверждают прежде сделанный вывод [130] о том, что для автомобилей, не оснащенных КН, характерно прогрессирующее увеличение выбросов NO_x с ОГ, начиная от скоростного режима 80-90 км/ч.

Для автомобилей, оснащенных каталитическими нейтрализаторами, удельный выброс оксидов азота зависит от четырех факторов: изменения частоты вращения двигателя, изменения скорости автомобиля; природы образования NO_x в цилиндрах двигателя и эффективности протекания процесса восстановительного катализа в КН.

Характерной особенностью зависимости выбросов оксидов азота от скорости для автомобилей, оборудованных КН, является наличие скоростного интервала (рисунки 15 - 16) с минимальными выбросами.

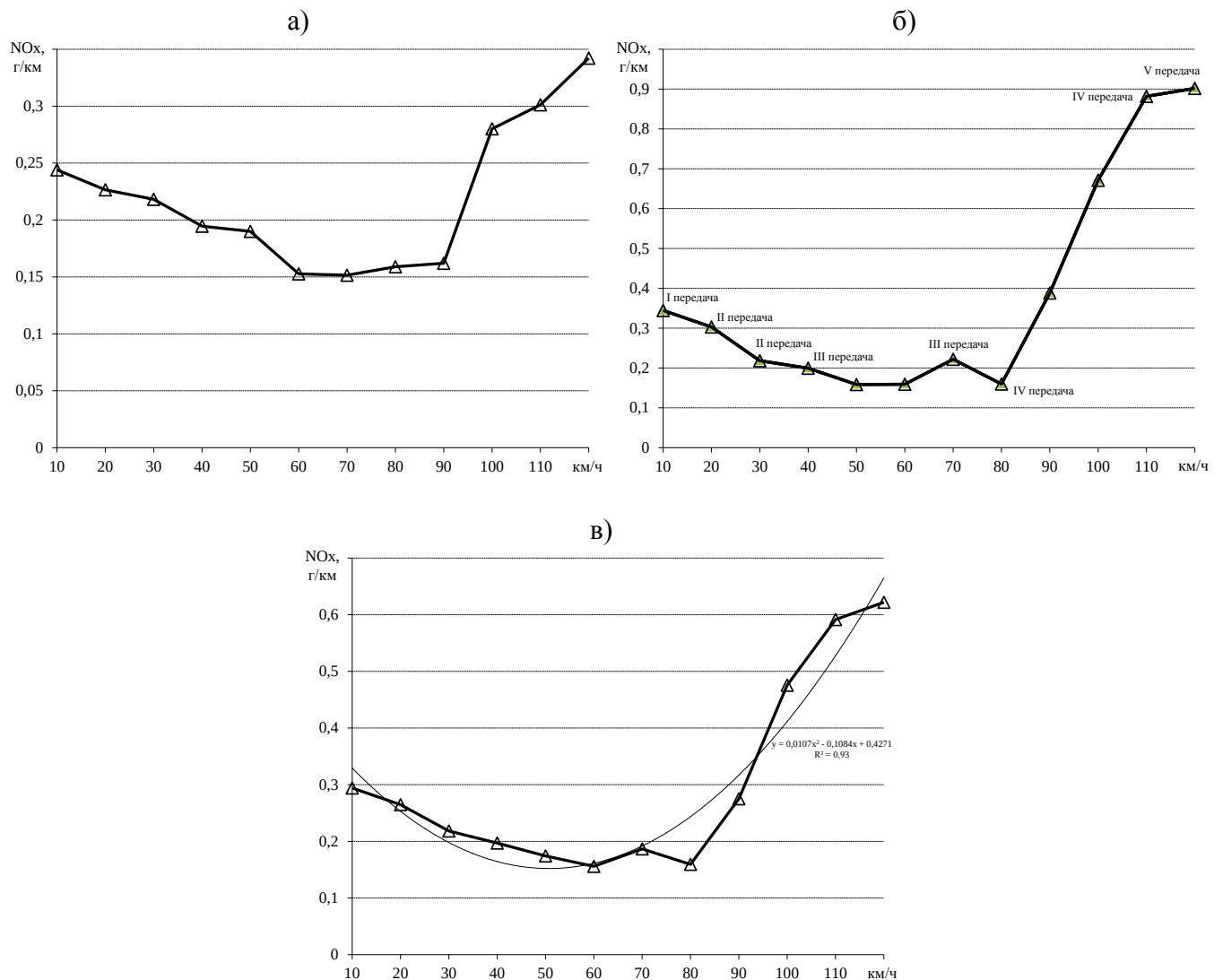


Рисунок 15 - Зависимость удельных выбросов NO_x от скорости движения на зарубежных автомобилях старше 10 лет, оснащенных 2-ух компонентными КН и соответствующих экологическим классам Евро 1 - Mitsubishi Lancer (а) и Евро 2 - Skoda Felicia (б), в) среднее значение для исследованных АТС, оснащенных 2-ух компонентными КН

Наблюдаемые повышенные значения выбросов на холостых оборотах двигателей связаны, по-видимому, с тем, что каталитические системы нейтрализации ОГ не выходят на рабочий температурный режим.

Для автомобилей Mitsubishi Lancer и Skoda Felicia, оснащенных 2-ух компонентным КН и соответствующих Евро 1 и Евро 2, выбросы NO_x изменялись в пределах 0,15 – 0,9 г/км. При этом для обоих автомобилей минимальные значения выбросов оксидов азота 0,15-0,2 г/км наблюдались при движении АТС со скоростью от 20-30 до 80-90 км/ч.

Как и ожидалось, на автомобилях возрастом менее 5 лет, оснащенных 3-х компонентными нейтрализаторами, наблюдались самые низкие удельные выбросы оксидов азота в диапазоне значений от 0,003 до 0,08 г/км пробега (рисунок 16).

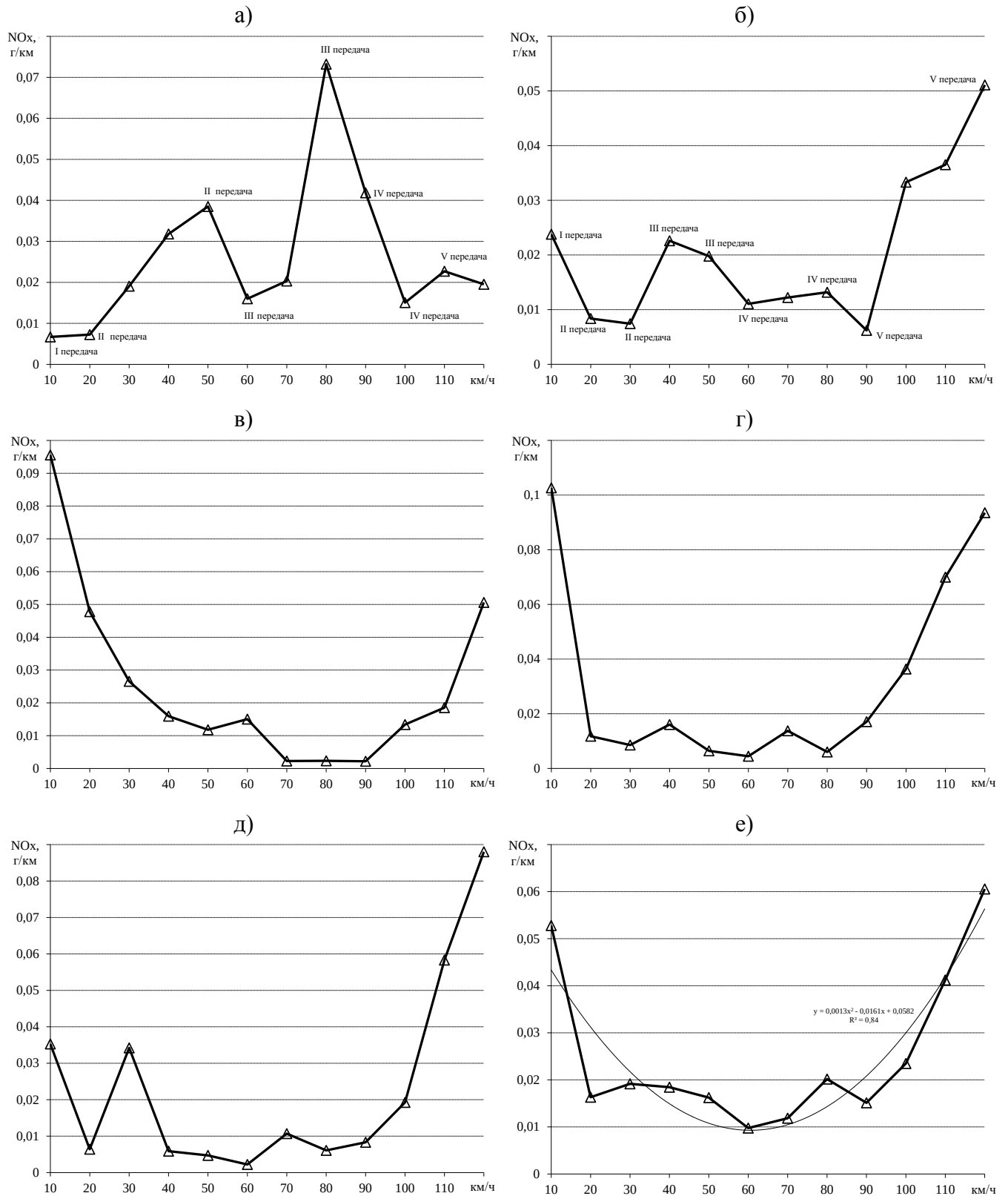


Рисунок 16 - Зависимость удельных выбросов NO_x от скорости движения на зарубежных автомобилях, возрастом менее 5 лет, оснащенных 3-х компонентным КН, экологических классов Евро 3: Chevrolet Lacetti (а), Huyndai Elantra (б), Volkswagen Tiguan (в) и Евро 4: Nissan Qashqai (г), Nissan Qashqai +2 (д), е) среднее значение для исследованных АТС, оснащенных 3-х компонентными КН

Полученные результаты укладываются в нормативы предельно-допустимых значений, установленные Техническим регламентом «О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 609 от 12 октября 2005 года и стандартом Евро 4, в соответствии с которым выбросы для легковых АТС с бензиновыми двигателями, оснащенные 3-х компонентным КН, не должны превышать 0,08 г/км.

На разброс полученных экспериментальных данных в этом случае влияние оказывала не только нестационарность в режиме работы двигателя, но также и обусловленное ею непрерывное изменение температуры ОГ и, как следствие, пульсирующее изменение эффективности протекания процесса восстановительного катализа в КН. Нельзя исключать в этом случае и влияние практически нерегулируемых непрерывно протекающих в условиях нестационарного температурно-концентрационного режима катализа процессов физической блокировки и регенерации активной поверхности катализатора.

3.3.2 Удельные выбросы NO_x легковых автомобилей с дизельными двигателями

Отдельный интерес представляло испытание легковых автомобилей с дизельными двигателями. Дизельный автотранспорт до сих пор не пользуется большой популярностью в РФ. Хотя за последнее десятилетие его доля в сегменте легковых автомобилей выросла более, чем в 3 раза. Согласно данным агентства «Автостат» [152-161] в 2003 году доля машин с дизельными двигателями составляла 1,5 %, в 2007 - 2,7 % (среди иномарок - 4,4%), а в 2011 - 5,4% (среди иномарок – 7-8%), при этом в основном все эти автомобили относятся к классу больших внедорожников. В Западной Европе, напротив, легковые автомобили с дизельными двигателями пользуются большой популярностью (рисунок 17), достигая в среднем 50% от всего рынка автомобилей, а в отдельных странах, например, во Франции и Испании - больше 70% [170].

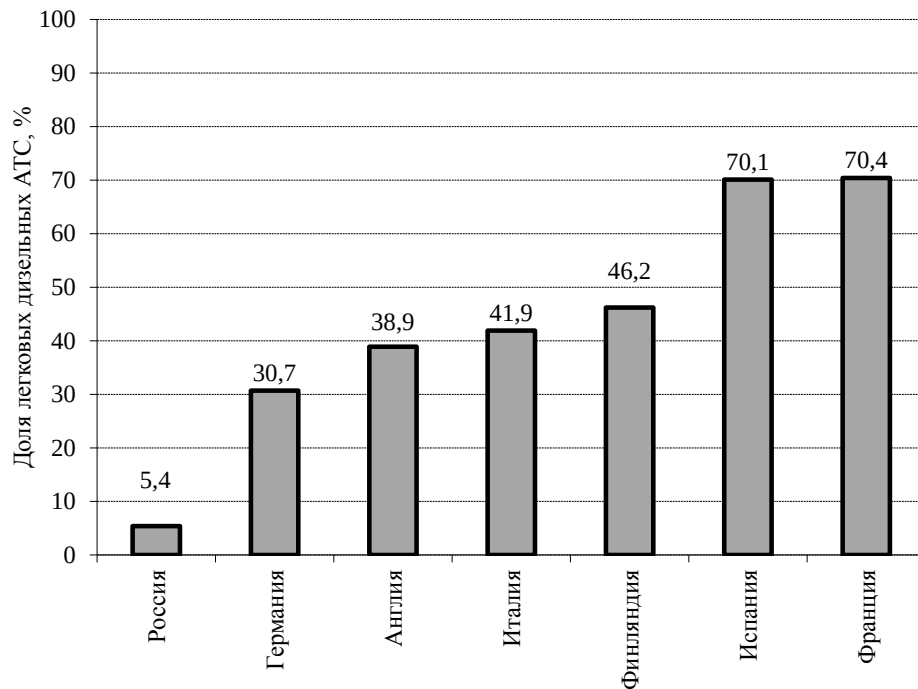


Рисунок 17 - Доля легковых автомобилей с дизельными двигателями в России и странах Западной Европы [170]

С ростом качества дизельного топлива и продолжающимся ростом числа иномарок в автопарке логично ожидать увеличения сегмента легковых автомобилей с дизельными двигателями в РФ.

По данным того же агентства "Автостат" на рынке в России присутствуют две марки, у которых автомобили с дизельным двигателем встречаются чаще, чем с бензиновым – это Land Rover (86,1%) и SangYong (53,3%).

Нами были проведены исследования на двух автомобилях марки Land Rover, характеристики которых приведены в таблице 3. Для автомобилей с дизельными двигателями было логично ожидать более высокие показатели по выбросам оксидов азота, чем для бензиновых того же экологического класса. Предположение было подтверждено экспериментально. При этом, если удельные пробеговые выбросы для бензиновых АТС варьировались в пределах от 0,01 до 0,07 г/км, то для дизельных более, чем в 10 раз больше - от 0,43 до 1,1 г/км (рисунок 18).

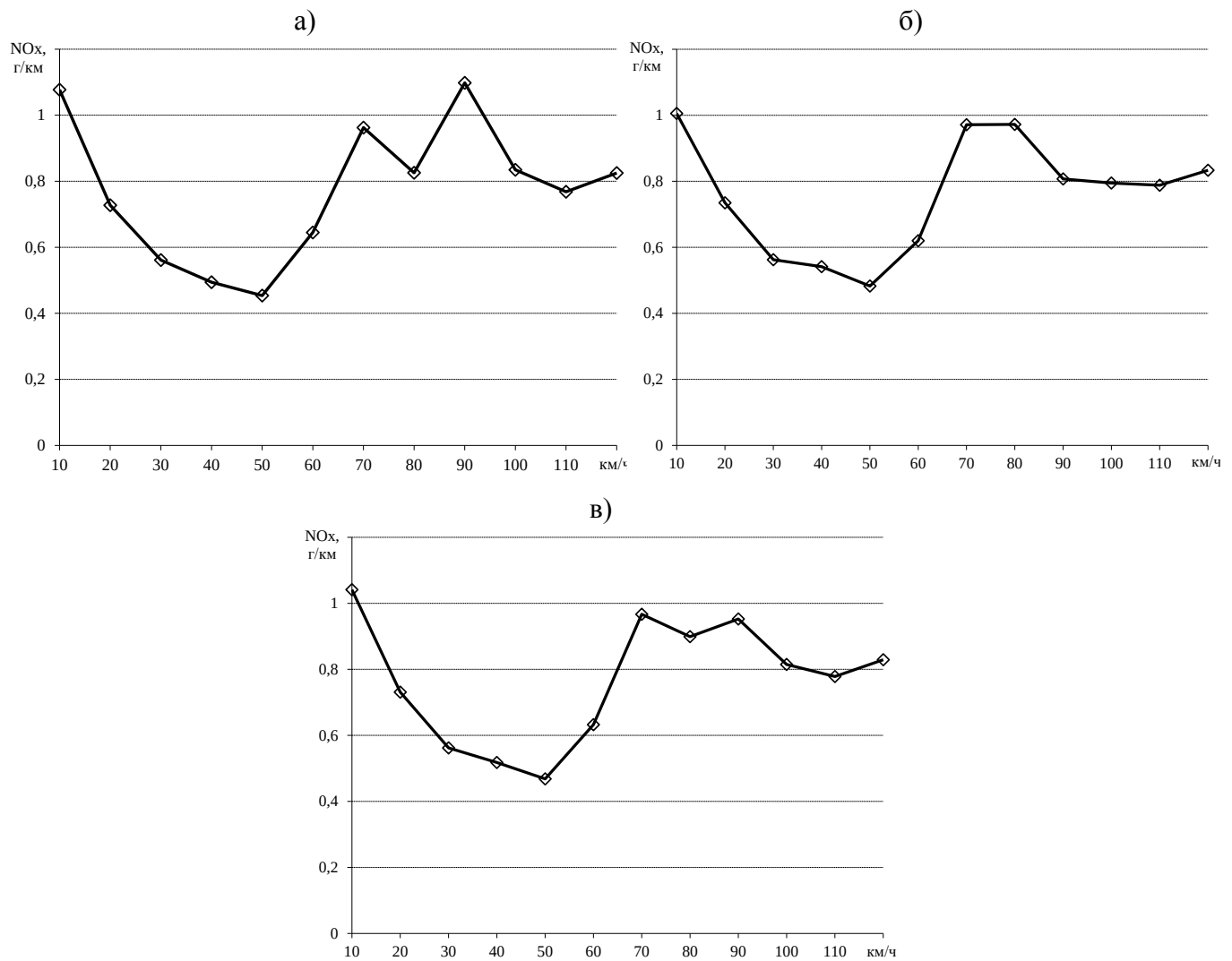


Рисунок 18 - Зависимость удельных выбросов NO_x от скорости движения на автомобилях с дизельными двигателями экологического класса Евро 3 - LandRover 1 (а) и LandRover 2 (б) в) среднее значение для исследованных АТС с дизельными двигателями

В результате эксперимента было установлено, что для легковых дизельных автомобилей массой > 2 т, класса Евро 3, оснащенных КН ОГ, также как и для бензиновых АТС аналогичного экологического класса, характерно наличие двух максимумов - 1-ый в режиме холостого хода и при скорости движения до 10 км/ч, второй - после 60 км/ч. Однако скоростной диапазон оптимальной работы двигателя с минимальными выбросами оксидов азота, соответствующими нормативам стандарта Евро 3 (0,5 мг/км), значительно уже - от 30 до 60 км/ч.

Полученные данные подтверждают сведения европейских специалистов [132] о том, что в реальных условиях эксплуатации легковые автомобили с

дизельными двигателями не соответствуют строгим Европейским нормативам, и, действительно в нашем случае было показано, что стандарт Евро 3 для NO_x (см. таблицу 6) был превышен практически в 2 раза.

В Париже в сентябре 2013 г. в Национальной Ассамблее разгорелся скандал после оглашения доклада Европейской Комиссии, согласно которому именно повсеместное использование дизельного топлива могло быть причиной 42000 преждевременных смертей во Франции [171] в результате комбинированного негативного воздействия взвешенных частиц и оксидов азота, поскольку в этой стране семь из десяти автомобилей работают на дизельном топливе из-за выгоды в налогообложении. Ряд депутатов требовали ограничить производство дизельных автомобилей, а первый помощник мэра Парижа Anne Hidalgo заявила, что «нужно покончить с дизелем в Париже». Сторонников дизельных моторов и их противников должны будут примирить выработанные ЕС нормы Евро-6 (приложение 1), которые как раз направлены на снижение выбросов оксидов азота дизельными АТС со 180 до 80 мг/км и должны вступить в силу в сентябре 2014 года.

3.4 Определение усредненных значений удельных выбросов NO_x для легкового транспорта

Полученные экспериментальные данные были использованы при коррекции "Методики определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" [101] и "Методики определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга" [102].

Назначение базовых удельных выбросов невозможно без анализа и принятия во внимание технических нормативов выбросов, соответствующих экологическим классам АТС (Евро 1 - Евро 5, см. приложение 1). В то же время прямое использование в качестве факторов эмиссии, а именно так называются

базовые удельные выбросы за рубежом [100], технических нормативов выбросов вредных веществ [101], представляется некорректным по ряду причин:

1. Данные нормативы применяются только при проведении сертификационных испытаний АТС и не распространяются на АТС, находящиеся в эксплуатации.

2. Испытания проводятся на технически исправных АТС по стандартному "городскому ездовому циклу" в строго выдерживаемых условиях температуры наружного воздуха, влажности, давления и нагрузочных режимов.

3. Испытания выполняются на эталонном топливе.

При эксплуатации автомобилей в силу разных факторов: возможной технической неисправности АТС, изменения погодных условий, качества дорожного покрытия, непрерывно меняющейся дорожной обстановки и, следовательно, скоростного режима, изменения нагрузки, т.е. массы перевозимого груза или числа пассажиров, реального качества топлива, стиля вождения и др. - выбросы вредных (загрязняющих) веществ могут существенно отличаться от установленных технических нормативов, как это уже было продемонстрировано в данной работе на примере выбросов оксидов азота легковыми автомобилями с дизельными двигателями (см. приложение 1).

В методологических подходах используются два способа назначения факторов эмиссии вредных веществ:

- ранжирование всех видов АТС по экологическим классам и типам двигателя [99, 100] и определение для каждой группы базовых удельных выбросов (приложение 5);

- определение экспертами-профессионалами факторов эмиссии ЗВ для условно выделенных категорий АТС (легковых автомобилей, микроавтобусов и автофургонов, грузовиков, автобусов и автопоездов) [101] - (приложение 5).

В обозначенных выше методиках [101, 102] используется второй подход. Пробеговые выбросы устанавливаются научно-исследовательским путем на основе анализа данных дорожных и стендовых испытаний автомобилей и

двигателей, при этом технические нормативы выбросов принимаются в качестве референсных значений.

Для коррекции методики определили усредненный удельный выброс NO_x (т.е. фактор эмиссии NO_x) с учетом влияния представительности (доли) рассматриваемых групп автомобилей в автопарке Санкт-Петербурга и усредненного удельного выброса оксидов азота, полученного для каждой из категорий легковых АТС (таблица 6), а также определить коэффициенты изменения удельных выбросов NO_x в зависимости от скорости (таблица 10).

Учитывая, что в 2008 году произошел существенный перелом в структуре (§ 2.2) и возрасте (§ 2.3) легковых АТС, целесообразно легковые автомобили по сроку эксплуатации разделить на две группы. К первой группе отнесли автомобили со сроком эксплуатации более 10 лет, ко второй группе со сроком эксплуатации менее 10 лет. Для автомобилей первой группы (со сроком эксплуатации более 10 лет) существенное влияние на величину средних удельных выбросов NO_x оказывает географическое место производства. Таким образом, эту группу также разделили на две подгруппы – отечественные легковые АТС со сроком эксплуатации более 10 лет и легковые АТС иностранного производства со сроком эксплуатации более 10 лет.

Принимая во внимание, что один из основных отечественных производителей легковых автомобилей - ОАО «АВТОВАЗ» уже с 2007 года оснащает каталитическими нейтрализаторами ОГ все сходящие с конвейера АТС, представляется нецелесообразным разделять автомобили второй группы по такому признаку, как страна эмитент. Однако, у автомобилей второй группы наблюдается существенное расхождение (приложение 6) в величине средних удельных пробеговых выбросов NO_x в зависимости от типа двигателя и используемого топлива: бензин, дизельное топливо. Автомобили этой возрастной группы разделили на две подгруппы следующим образом – бензиновые легковые АТС со сроком эксплуатации менее 10 лет, и дизельные легковые АТС со сроком эксплуатации менее 10 лет (таблица 6).

Таблица 6 – Удельные выбросы NO_x различных групп автомобилей

		Группа легковых АТС			
		отечественные, срок эксплуатации более 10 лет	иностранного производства, срок эксплуатации более 10 лет	срок эксплуатации менее 10 лет, бензиновые	срок эксплуатации менее 10 лет, дизельные
1		2	3	4	5
Экологический класс		Не определен	Евро 0, Евро 1, Евро 2	Евро 3, Евро 4, Евро 5	Евро 3, Евро 4, Евро 5
Максимально разрешенный удельный выброс NO _x , г/км		Не определен	Евро 1* – 0,9 Евро 2* – 0,5	Евро 3 – 0.15 Евро 4 – 0.08 Евро 5 – 0.06	Евро 3 – 0.50 Евро 4 – 0.25 Евро 5 – 0.18
		Удельные выбросы NO _x , г/км			
Скорость движения, км/ч	10	0,80	0,29	0,05	1,04
	20	0,55	0,26	0,02	0,73
	30	1,11	0,22	0,02	0,56
	40	0,54	0,20	0,02	0,52
	50	0,99	0,17	0,02	0,47
	60	0,93	0,16	0,01	0,63
	70	0,84	0,19	0,01	0,97
	80	0,89	0,16	0,02	0,90
	90	1,05	0,28	0,02	0,95
	100	1,67	0,48	0,02	0,81
	110	1,74	0,59	0,04	0,78
	120	1,94	0,62	0,06	0,83
Диапазон удельных выбросов NO _x , г/км		0,54 – 1,94	0,16 – 0,62	0,01 – 0,06	0,47 – 1,04
Усредненный удельный выброс NO _x , г/км		1,09	0,30	0,03	0,77
Представительность (доля) в парке, %		12,6	29,4	54,9	3,1

* Примечание: Стандарты Евро 1 и Евро 2 устанавливают предельнодопустимое значение суммарных выбросов оксидов азота и углеводородов.

Усредненные значения удельных выбросов оксидов азота для исследованных типов АТС составили соответственно 1,09 г/км для автомобилей отечественного производства старше 10 лет; 0,30 г/км для зарубежных автомобилей старше 10 лет; 0,03 г/км для автомобилей до 10 лет с бензиновыми двигателями и 0,77 г/км для автомобилей младше 10 лет с дизельными двигателями.

Принимая во внимание, что за последние 10 лет парк легковых автомобилей в Санкт-Петербурге в значительной мере обновился (рисунок 7), было предложено внести изменения в методику [101] и использовать для определения величины выбросов оксидов азота легковым автотранспортом усредненный удельный выброс, рассчитанный с учетом представительности (доли) рассматриваемых групп автомобилей в автопарке Санкт-Петербурга и удельных выбросов оксидов азота, полученных для каждой из категорий легковых АТС (таблица 6). Полученная зависимость усредненного удельного выброса оксидов азота от скорости движения АТС представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Значения усредненного удельного выброса NO_x единичного автомобиля при различных скоростях движения

Скорость движения, км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Усредненный удельный выброс NO_x , г/км	0,25	0,18	0,23	0,15	0,20	0,19	0,20	0,20	0,25	0,39	0,44	0,49

Очевидно, что существует связь между скоростью движения АТС и значением усредненного удельного выброса NO_x . Для выявления параметров зависимости величины усредненного удельного выброса NO_x от скорости движения построили уравнение регрессии.

Построение аналитической регрессии предполагает выведении функциональной зависимости между признаками-факторами и признаком результатом. Первым этапом построения аналитической регрессии является выбор вида зависимости (спецификации модели). Выбор вида аналитической зависимости осуществляется с использованием одного из следующих методов [172]:

— графический – на основе визуального анализа корреляционного поля (графика рассеяния данных);

— аналитический — на основе анализа накопленной информации по изучаемому явлению;

— экспериментальный — методом перебора различных моделей и сравнения таких их качественных показателей как остаточная дисперсия

В случае парной регрессии выбор формулы обычно осуществляется по графическому изображению реальных данных в виде точек в декартовой системе координат, которое называется корреляционным полем (диаграммой рассеивания).

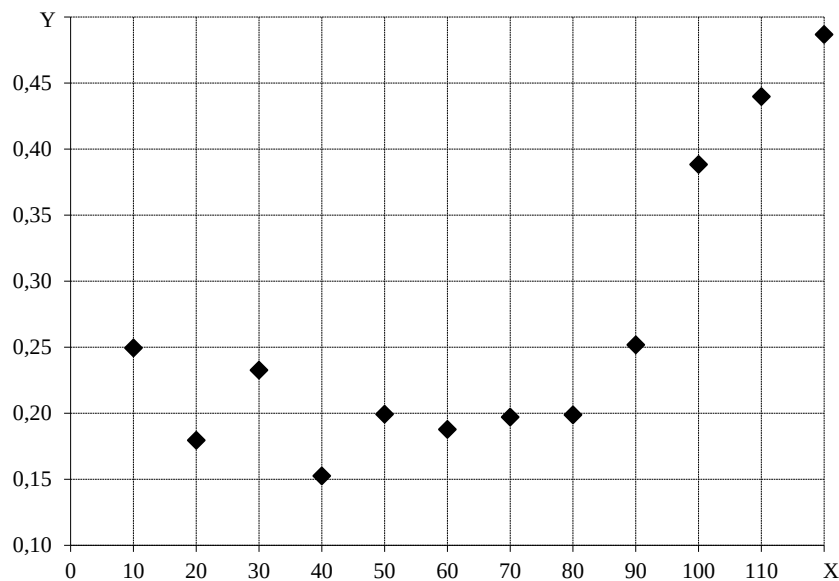


Рисунок 19 – Корреляционное поле связи между скоростью движения - X и усредненными удельными выбросами NO_x - Y

На основании анализа графического представления (рисунок 19) изменения усредненных удельных выбросов NO_x от скорости движения сделали вывод, что зависимость квадратичная (параболическая) и описывается уравнением регрессии (29)

$$y = a_2 \cdot x^2 + a_1 \cdot x + a_0 \quad (29)$$

Для нахождения параметров уравнения методом наименьших квадратов [173] построили систему уравнений (30)

$$\begin{aligned}
a_0 \cdot n + a_1 \cdot \sum x_i + a_2 \cdot \sum x_i^2 &= \sum y_i \\
a_0 \cdot \sum x_i + a_1 \cdot \sum x_i^2 + a_2 \cdot \sum x_i^3 &= \sum y_i x_i \\
a_0 \cdot \sum x_i^2 + a_1 \cdot \sum x_i^3 + a_2 \cdot \sum x_i^4 &= \sum y_i x_i^2
\end{aligned} \tag{30}$$

Для определения параметров регрессии построили расчетную таблицу 8.

Таблица 8 – Расчет параметров регрессии

x	y	x^2	y^2	xy	x^3	x^4	$x^2 y$
10	0,25	100	0,0625	2,5	1000	10000	25
20	0,18	400	0,0324	3,6	8000	160000	72
30	0,23	900	0,0529	6,9	27000	810000	207
40	0,15	1600	0,0225	6,0	64000	2560000	240
50	0,20	2500	0,0400	10,0	125000	6250000	500
60	0,19	3600	0,0361	11,4	216000	12960000	684
70	0,20	4900	0,0400	14,0	343000	24010000	980
80	0,20	6400	0,0400	16,0	512000	40960000	1280
90	0,25	8100	0,0625	22,5	729000	65610000	2025
100	0,39	10000	0,1521	39,0	1000000	100000000	3900
110	0,44	12100	0,1936	48,4	1331000	146410000	5324
120	0,49	14400	0,2401	58,8	1728000	207360000	7056
780	3,17	65000	0,9747	239,1	6084000	607100000	22293

Для полученных данных (таблица 8) система уравнений имеет вид (31)

$$\begin{aligned}
12 \cdot a_0 + 780 \cdot a_1 + 65000 \cdot a_2 &= 3,17 \\
780 \cdot a_0 + 65000 \cdot a_1 + 6084000 \cdot a_2 &= 239,1 \\
65000 \cdot a_0 + 6084000 \cdot a_1 + 607100000 \cdot a_2 &= 22293
\end{aligned} \tag{31}$$

Получены коэффициенты $a_0 = 0,302$, $a_1 = -0,00573$, $a_2 = 6,2 \cdot 10^{-5}$, а уравнение регрессии приняло вид (32)

$$y = 6,2 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,00573 \cdot x + 0,302 \tag{32}$$

или

$$\bar{c} = 6,2 \cdot 10^{-5} \cdot v^2 - 0,00573 \cdot v + 0,302$$

где:

$\bar{c}$ – усредненный удельный выброс NO_x, г/км;

v – скорость движения легкового автомобиля, км/ч.

Точность подбора уравнения регрессии оценили, рассчитав коэффициент детерминации (33):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - y_i(x_i))^2}{\sum (y_i - y_{cp})^2} \quad (33)$$

Таблица 9 – Промежуточные значения для оценки точности подбора уравнения регрессии

x	y	y(x)	(y-y _{cp}) ²	(y-y(x)) ²
10	0,25	0,2509	0,000201	0,000002
20	0,18	0,2122	0,007079	0,001068
30	0,23	0,1859	0,000964	0,002182
40	0,15	0,1720	0,012354	0,000380
50	0,20	0,1705	0,004141	0,000830
60	0,19	0,1814	0,005758	0,000041
70	0,20	0,2047	0,004432	0,000058
80	0,20	0,2404	0,004215	0,001736
90	0,25	0,2885	0,000140	0,001347
100	0,39	0,3490	0,015558	0,001552
110	0,44	0,4219	0,031047	0,000322
120	0,49	0,5072	0,049805	0,000415
Сумма:	3,1639	3,1846	0,135695	0,009932
Среднее:	0,2637	0,2654		

$$R^2 = 1 - \frac{0,0099}{0,1357} = 0,93$$

Точность подбора уравнения регрессии - высокая.

Проверку значимости модели регрессии провели с использованием F-критерия Фишера (34).

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{(n - m - 1)}{m} \quad (34)$$

где

где m - количество факторов в уравнении регрессии

Если расчетное значение с $k_1=(m)$ и $k_2=(n-m-1)$ степенями свободы больше табличного при заданном уровне значимости, то модель считается значимой.

В нашем случае $n=12$, $m=2$, тогда:

$$F = \frac{0,93}{(1 - 0,93)} \cdot \frac{(12 - 2 - 1)}{2} = 59,79$$

Определили из таблицы [173] $F_{кр(1;9;0,05)}=5,12$

Поскольку $F > F_{кр}$, то коэффициент детерминации (и в целом уравнение регрессии) статистически значим.

Используя полученное уравнение регрессии, построили аппроксимированный график зависимости удельных выбросов NO_x от скорости движения АТС.

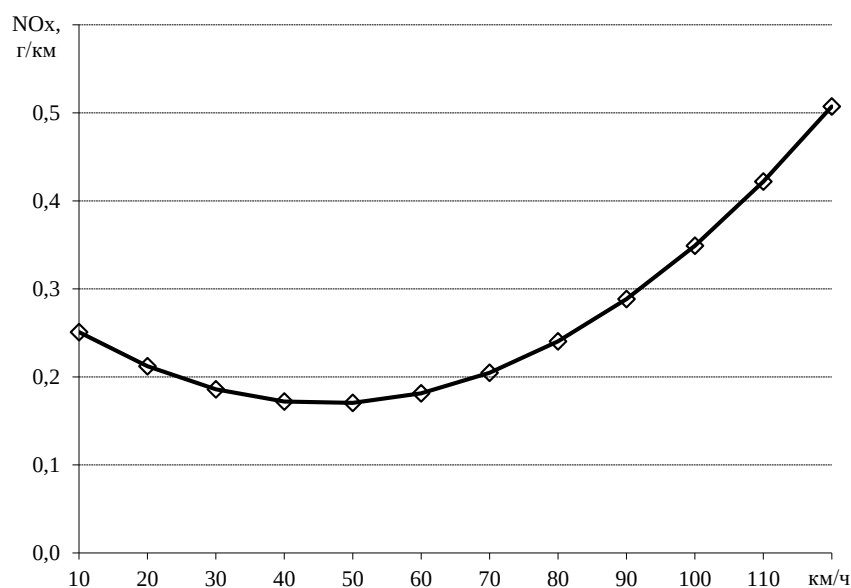


Рисунок 20 – Расчетная зависимость удельных выбросов NO_x от скорости движения

Определили среднее значение фактора эмиссии NO_x ($C_{п(г/км)}$), которое составило 0,27 г/км пробега и рассчитали значения коэффициента учета изменения количества выбрасываемых оксидов азота в зависимости от скорости движения (отклонение от среднего выброса) (таблица 10).

Таблица 10 - Значения коэффициента $r_{пNO_x}$, учитывающего изменение количества выбрасываемых NO_x в зависимости от скорости движения

v , км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$r_{пNO_x}$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,6	1,9

Установленное значение фактора эмиссии NO_x и значения коэффициента учета изменения количества выбрасываемых оксидов азота в зависимости от скорости движения были учтены при внесении изменений "Методики определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" 2010 года [174] и в "Методики определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", утвержденной

распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга [175].

3.5 Выводы по разделу

1. На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что независимо от типа легкового автомобиля, его возраста и марки используемого топлива минимальные выбросы оксидов азота наблюдаются при равномерном движении АТС без остановок и разгонов для бензиновых автомобилей в диапазоне скоростей от 40 до 90 км/ч, для дизельных - от 30 до 60 км/ч. Эти скоростные режимы соответствуют и минимальному расходу топлива, изменяющемуся от 7,0 до 12,0 л/100км для испытанных автомобилей.

2. Удельные пробеговые выбросы NO_x технически исправных АТС с бензиновыми двигателями экологических классов Евро 2 - Евро 4 укладываются в нормативы выбросов, регламентированные специальным техническим регламентом "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ" [37]. Выбросы оксидов азота легковыми автомобилями класса Евро 3 с массой больше 2,5 тонн (внедорожниками) превышают установленные стандарты эмиссии в 1,5-2 раза при движении по естественным городским ездовым циклам.

3. Для обеспечения оптимальной скорости движения легковых АТС в потоке по городским магистралям требуется правильное планирование городского движения, которое должно включать в себя сокращение продолжительности работы автомобиля на режимах холостого хода, ускорения и замедления, путем синхронизации работы светофоров, замены наземных переходов подземными или надземными. Состояние и качество дорожного покрытия также оказывают существенное влияние на характер движения автомобилей, проблема «плохих» дорог по-прежнему актуальна для большинства городов России.

4. Полученное значение фактора эмиссии NO_x и значения коэффициента учета изменения количества выбрасываемых оксидов азота в зависимости от скорости движения были использованы для внесения изменений в "Методику определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" [101, 174] и в "Методику определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", утвержденную распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга [175].

4 Натурные обследования структуры и характера движения транспортных потоков в «часы пик» на участках автомобильных дорог Санкт-Петербурга с интенсивным движением

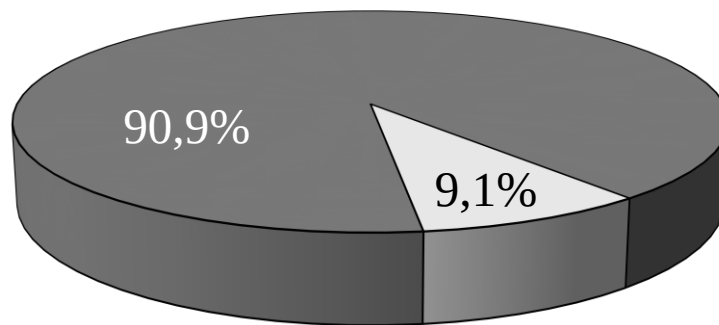
4.1 Обоснование учетных категорий автотранспортных средств для оценки и прогнозирования возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота в окрестностях автомагистралей

Как уже отмечалось выше, "Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", 2005 г. (§ 1.4.2), хорошо зарекомендовала себя в северной столице и других городах России и СНГ при оценке загрязнения воздушного бассейна расчетным путем [125-127], поэтому было целесообразно проверить "адекватность" полученных значений фактора эмиссии NO_x и значений коэффициента учета изменения количества выбрасываемых оксидов азота в зависимости от скорости движения с использованием именно этого методического подхода.

Методика включает проведение натурных обследований состава, интенсивности, скорости автотранспортных потоков на автомагистралях и перекрестках.

Схема категорирования АТС, использовавшаяся в обсуждаемой и аналогичных методиках [101, 102] с 1999 года, потребовала пересмотра ввиду изменения структуры автопарка (глава 2).

Во-первых, проведенные натурные обследования транспортных потоков на автодорогах Санкт-Петербурга в 2013 гг. показали нецелесообразность разделения легковых автомобилей на "отечественные" и "зарубежные" [169, 176], поскольку реально наблюдаемое их соотношение равно 1:9 (рисунок 21).



□ Отечественные

■ Зарубежные

Рисунок 21 - Соотношение отечественных и зарубежных автомобилей на автодорогах Санкт-Петербурга

Во-вторых, для удобства пользователей представлялось логичным упростить схему категорирования грузовых автомобилей и автобусов без разделения на дизельные и бензиновые, потому что это требовало специальной подготовки наблюдателей. В результате было предложено ограничиться пятью легко идентифицируемыми категориями АТС:

- 1) легковые автомобили;
- 2) микроавтобусы и автофургоны массой $< 3,5$ т;
- 3) грузовые автомобили массой от 3,5 до 12 т;
- 4) грузовые автомобили массой > 12 т (автопоезда и фуры);
- 5) автобусы массой $> 3,5$ т (городские пассажирские рейсовые и туристические автобусы) [169, 176].

Для испытания были выбраны две ведущие автомагистрали Санкт-Петербурга: Московский проспект, на котором разрешен проезд только для легковых автомобилей, легкого коммерческого транспорта и автобусов, и Кольцевая автодорога, доступная для движения всем типам АТС. Эти магистрали были интересны еще тем, что по ним был накоплен большой расчетно-эмпирический материал за предыдущие годы [120-122, 125, 126, 171, 174, 175].

4.2 Проведение натурных обследований структуры и характера движения транспортных потоков на участках автомобильных дорог Санкт-Петербурга с неблагоприятными градостроительными характеристиками в «часы пик»

4.2.1 Оценка интенсивности движения на Московском проспекте

Московский проспект простирается от Сенной площади до площади Победы, его протяженность составляет 9,5 километров, пересекает Фонтанку, Загородный проспект, Обводный канал, Лиговский проспект, Ленинский проспекты и др. Характерной неблагоприятной градостроительной особенностью Московского проспекта является плотная жилая застройка в непосредственной близости от автомагистрали практически на всем ее протяжении, благодаря чему создается так называемый "уличный каньон" с затрудненным массопереносом примесей и ЗВ.

Проспект является нагруженной транспортной артерией города несмотря на то, что движение грузовых автомобилей по проспекту запрещено с 1 апреля 1994 года [177], и у проспекта есть три автомагистрали-дублёра: Витебский проспект, расположенный с востока от Московского проспекта, Митрофаньевское шоссе, расположенное с запада (открыто после реконструкции для сквозного движения в октябре 2007 года) и Западный скоростной диаметр. В таблице 11 приведена информация о структуре и интенсивностях движения АТС на обследованных участках Московского проспекта, а в таблице 12 - сравнительные характеристики автотранспортных потоков на Московском проспекте Санкт-Петербурга за 1996, 2001, 2006 [125] и 2013 г. Пример полевого журнала представлен в приложении 7.

Таблица 11 - Характеристика автотранспортных потоков на Московском проспекте Санкт-Петербурга в обоих направлениях движения (сентябрь-октябрь 2013 г.)

№ участка	Участок	Интенсивность движения, авт/ч				Скорость движения потока, км/ч		
		Легковые	МА и АФ	Автобусы	Суммарно	Легковые	МА и АФ	Автобусы
1	от Садовой улицы до набережной Фонтанки	1806	222	18	2046	50	45	35
2	От набережной Фонтанки до Загородного проспекта	2448	81	40	2569	35	35	30
3	От Загородного проспекта до набережной Обводного Канала	3906	369	117	4392	35	30	25
4	От набережной Обводного Канала до Лиговского проспекта	4113	396	72	4581	35	30	25
5	От Лиговского проспекта до улицы Решетникова	3759	324	108	4191	45	40	30
6	От Улицы Решетникова до Благодатной улицы	2970	84	72	3126	40	40	30
7	От Благодатной улицы до Бассейной улицы	3201	294	111	3606	40	40	30
8	От Бассейной улицы до Ленинского проспекта	3471	426	63	3960	45	40	30
9	От Ленинского проспекта до улицы Орджоникидзе	3672	426	204	4302	45	40	35
10	От улицы Орджоникидзе до Кубинской улицы	3378	312	114	3804	45	40	35
11	Среднее арифметическое по всем участкам	3272	293	92	3657			

Таблица 12 - Сравнение характеристик автотранспортных потоков на Московском проспекте Санкт-Петербурга в 1996, 2001, 2006 и 2013 гг.

Год	Интенсивность движения, авт/ч				Доля типа ТС в потоке, %		
	Легковые	МА и АФ	Автобусы	Суммарно	Легковые	МА и АФ	Автобусы
1996*	2579	249	43	2871	89,8	8,7	1,5
2001*	3246	345	44	3635	89,3	9,5	1,2
2006*	3662	554	13	4229	86,6	13,1	0,3
2013	3272	293	92	3657	89,4	8,0	2,6

Примечание: * данные за 1996, 2001 и 2006 год заимствованы из источника [125].

Средняя интенсивность движения автотранспортного потока на всех участках Московского проспекта Санкт-Петербурга в 2013 г. составила 3272 авт/ч, т.е. практически такая же, как в 2001 году и на 13,5 % ниже, чем в 2006 году (таблица 12). Это объясняется частичной транспортной разгрузкой Московского проспекта за счет Митрофаньевского шоссе, открытого в 2007 г., и Южного участка Западного скоростного диаметра, введенного в эксплуатацию в 2012 году.

При этом максимальное значение интенсивности достигало 4392 авт/ч на участке от Загородного проспекта до набережной Обводного Канала, а минимальное значение – 1806 авт/ч на участке от Садовой улицы до набережной Фонтанки (таблица 11).

Основная роль в создании ЧС на Московском проспекте принадлежит легковым АТС, средняя доля которых в общем потоке в 2013 году составила 89,4%. Вклад легкого коммерческого транспорта (микроавтобусов и автофургонов) в общую интенсивность движения автотранспортных потоков составил в среднем 8 %, а автобусов - 2,6 %.

Результаты натурного обследования транспортных потоков в 2013 году в целом демонстрировали удовлетворительную сходимость с данными, полученными за предыдущие годы (таблица 14) за исключением показателей по автобусам, доля которых в транспортном потоке возросла до 2,6 %.

4.2.2 Оценка интенсивности движения на Кольцевой автомобильной дороге Санкт-Петербурга

«Кольцевая автомобильная дорога» (КАД) Санкт-Петербурга является самой длинной по протяженности и самой высоко загруженной автомобильной магистралью северной столицы (рисунок 22).



Рисунок 22 - Схема КАД вокруг Санкт-Петербурга

Вопрос необходимости КАД вокруг Санкт-Петербурга неоднократно обсуждался в течение последних сорока лет, и даже трижды разрабатывались технико-экономические обоснования. Но только в марте 2001 года, после принятия Правительством РФ соответствующего распоряжения, началось строительство КАД, которая должна была решить ряд проблем: вывод транспортных потоков из центральной, исторической зоны города для оздоровления экологической обстановки, разгрузки городских транспортных магистралей; интенсивное освоение прилегающих территорий города и Ленинградской области за счет внешних инвестиций, что в свою очередь должно было способствовать экономическому росту этих территорий; интенсивное

освоение новых портовых районов петербургского порта на северном и южном побережье Финского залива; полноценное включение Санкт-Петербурга в Международный «Критский коридор М-9» по направлению Скандинавия (Е-18) - Москва (М-10) - Россия (М-18) с выходом на Западную Европу [181].

В октябре 2002 года был сдан первый участок первой очереди КАД от станции Горская до Приозерского шоссе, введена в эксплуатацию транспортная развязка КАД с Приморским шоссе в районе ст. Горская и первый пусковой комплекс от Приозерского шоссе до временного съезда на проспект Культуры.

В 2004 году введен пусковой комплекс вантового моста через реку Неву с Правобережной и Левобережной развязками, движение по которым открывал Президент РФ Владимир Путин. В том же году был открыт и второй пусковой комплекс (участок от Приозерского шоссе до проспекта Культуры), общей протяженностью 4,9 км.

В 2006 году введено в эксплуатацию 35,3 км, открыто сквозное движение по КАД от станции Горская до автодороги «Россия» (Московское шоссе), введена транспортная развязка на пересечении КАД и проспекта Энгельса с выходом на перспективное направление на Приозерск.

В 2007 году было открыто движение на полное развитие на следующих пусковых комплексах: эстакаде в районе поселка Мурино по основному ходу КАД с тоннелем, на мосту через реку Утку, подход к вантовому мосту, была запущена вторая очередь строительства Вантового моста через реку Неву.

В 2008 году сданы в эксплуатацию на полное развитие пусковой комплекс от федеральной автодороги М-10 "Россия" до вантового моста, участок левобережной эстакады в составе мостового перехода через реку Неву, пусковой комплекс в районе железнодорожной станции Ржевка с вводом на полное развитие эстакады на станции Ржевка, арочно-вантового моста через реку Большая Охта и Рябовского путепровода.

Строительство западного полукольца КАД начато в 2005 году. Пусковой комплекс второй очереди от федеральной автодороги М-10 "Россия" до федеральной автодороги М-11 "Нарва" (Таллиннское шоссе) протяженностью

14,4 км сдан в ноябре 2007 года. Этот участок, обеспечивающий движение от автодороги "Россия" до автодороги "Нарва", открыт на год раньше срока. В составе пускового комплекса 2007 года введена транспортная развязка КАД с Пулковским шоссе и часть транспортных развязок с автодорогами «Россия» и «Нарва».

В 2008 году завершены работы по развязкам на пересечениях КАД с автодорогой Россия, Западным скоростным диаметром. Состав пускового комплекса обеспечил организацию движения по Кольцевой автомобильной дороге по 4-м полосам в каждом направлении.

Строительство участка от автодороги «Нарва» до поселка Бронка начато в 2008 году и включало три пусковых комплекса:

1-й пусковой комплекс от федеральной автодороги «Нарва» (Таллиннское шоссе) до улицы Пионерстроя обеспечил завершение строительства транспортной развязки КАД с автодорогой "Нарва" и Волхонским шоссе, включил строительство новой транспортной развязки на перспективном пересечении с продолжением ул. Пионерстроя; линейная протяженность пускового комплекса 4,15 км.

2-й пусковой комплекс – от улицы Пионерстроя до автодороги Петродворец-Кейкино включил транспортные развязки с Красносельским шоссе, автодорогами Марьино-Ропша и Петродворец-Кейкино; линейная протяженность пускового комплекса 20,3 км.

3-й пусковой комплекс – от автодороги Петродворец-Кейкино до ст. Бронка; линейная протяженность пускового комплекса 11 км.

Общая протяженность участка КАД от автодороги "Нарва" до станции Бронка – 35,404 км.

Основные характеристики КАД [181]:

- Протяженность — 142,15 км;
- Расчетная скорость движения — 120 км/ час;
- Количество полос движения — 4–8;
- Ширина проезжей части — 15–32 м;

- Ширина земляного полотна — 27,5-48 м

Исследование характеристик транспортных потоков на КАД Санкт-Петербурга специалистами Санкт-петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета и НИИ "Атмосфера" были начаты в 2006 и продолжены в 2010-2011 годах [180-182]. Тогда на КАД были определены 11 экспериментальных участков от Московского до Приморского шоссе и на каждом участке определены пункты для визуального подсчета проезжающих АТС [178-180].

В 2012 году все участки КАД были введены в эксплуатацию, и объездная магистраль начала функционировать в полном объеме, поэтому было необходимо продолжить исследования и оценить транспортную нагрузку и характеристики транспортных потоков на всей ее протяженности. Натурное обследование на автодороге проводили в феврале-апреле 2014 года. КАД условно разбили на 28 участков. Для минимизации ошибки наблюдателя при подсчете транспортных средств было предложено использовать видеосъемку. Наблюдатель в течение 20 минут снимал на видеокамеру проезжающий автотранспорт (не менее, чем в трех повторностях для каждого участка), а затем производил подсчет транспортных средств с использованием видеоматериала. Характеристики автотранспортных потоков на 28 участках Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга в обоих направлениях движения приведены в таблице 13.

Таблица 13 - Характеристика автотранспортных потоков на Кольцевой автомобильной дороге Санкт-Петербурга на внутреннем и внешнем кольце (февраль-апрель 2014 г.)

№ участка	Участок	Интенсивность движения, авт/ч					
		Легк.	МА и АФ	Авт.	Груз. < 12 т	Груз. > 12 т	Суммарно
1	От Приморского шоссе до Коннолахтинской дороги	1824	249	33	21	465	2592
2	От Коннолахтинской дороги до Горского шоссе	1836	222	24	12	404	2498
3	От Горского шоссе до Комендантского проспекта	2325	288	42	42	477	3174
4	От Комендантского проспекта до Выборгского шоссе	2412	243	45	90	516	3306
5	От Выборгского шоссе до проспекта Энгельса	3201	381	33	48	581	4244
6	От проспекта Энгельса до проспекта Культуры	3126	468	36	42	650	4322
7	От проспекта Культуры до Токсовского шоссе	3228	408	24	30	728	4418
8	От Токсовского шоссе до Пискаревского проспекта	4563	642	54	27	823	6109
9	От Пискаревского проспекта до Шафировского проспекта	7568	1084	33	45	1311	10041
10	От Шафировского проспекта до Рябовского шоссе	8275	1563	42	36	1347	11263
11	От Рябовского шоссе до Колтушского шоссе	7566	1263	33	60	1261	10083
12	От Колтушского шоссе до Мурманского шоссе	7978	984	27	48	1278	10315

№ участка	Участок	Интенсивность движения, авт/ч					
		Легк.	МА и АФ	Авт.	Груз. < 12 т	Груз. > 12 т	Суммарно
13	От Мурманского шоссе до Октябрьской набережной	7778	603	15	42	1650	10088
14	От Октябрьской набережной до проспекта Обуховской обороны	7845	1827	72	123	1833	11700
15	От проспекта Обуховской обороны до Софийской улицы	7577	1476	48	51	1776	10928
16	От Софийской улицы до Московского шоссе	7703	1497	57	63	1234	10554
17	От Московского шоссе до Пулковского шоссе	7652	1413	51	75	1407	10598
18	От Пулковского шоссе до ЗСД и Дачного проспекта	7112	1236	57	54	1254	10713
19	От ЗСД и Дачного проспекта до Таллиннского шоссе	5283	1305	36	42	1203	7869
20	От Таллиннского шоссе до улицы Пионерстроя	2742	567	33	39	1226	4607
21	От улицы Пионерстроя до Красносельского шоссе	1704	474	27	45	984	3234
22	От Красносельского шоссе до Ропшинского шоссе	1620	417	33	42	612	2724
23	От Ропшинского шоссе до дороги «Ольгино — Симоногонт»	1464	426	39	45	552	2526
24	От дороги «Ольгино — Симоногонт» до Гостилицкого шоссе	1359	405	45	42	456	2307
25	От Гостилицкого шоссе до Ораниенбаумского проспекта	1209	486	36	36	246	2013

№ участка	Участок	Интенсивность движения, авт/ч					
		Легк.	МА и АФ	Авт.	Груз. < 12 т	Груз. > 12 т	Суммарно
26	От Ораниенбаумского проспекта до Краснофлотского шоссе	1143	450	48	27	255	1923
27	От Краснофлотского шоссе до Кронштадтского шоссе	1107	447	27	18	141	1740
28	От Кронштадтского шоссе до Приморского шоссе	1185	516	36	24	177	1938
	Среднее арифметическое	4798	759	39	45	722	6363

Средняя интенсивность движения автотранспортного потока на всех участках КАД г. в утренние и вечерние часы-пик Санкт-Петербурга в 2014 г. Составила около 6000 авт/ч. При этом на десяти участках от Пискаревского до Дачного проспекта интенсивность движения превышала 10000 авт/ч, максимальное значение интенсивности 11700 авт/ч достигло на южном участке КАД, пролегающем от Октябрьской набережной до проспекта Обуховской обороны. Минимальные значения объема транспортных потоков характерны для северного и юго-западного и западного участков КАД – около 2000 авт/ч.

Проведенные исследования на КАД в 2014 году убедительно свидетельствуют практически о трехкратном возрастании интенсивности движения на юго-западном, южном, восточном и северо-восточном участках автодороги от Дачного до Пискаревского проспекта по сравнению с 2010-2011 годами, когда объем транспортных потоков в обоих направлениях на участке от Московского до Токсовского шоссе составлял в среднем около 3500 автомобилей в час [180]. При этом следует отметить, что объем грузового автотранспорта увеличился в 1,4 раза (в среднем 1400 машин в 2010 году и 2000 машин в 2014

году), а интенсивность потока легковых автомобилей возросла практически в 3,5 раза (в среднем 2000-2500 автомобилей в 2010 году и 7000-8000 автомобилей в 2014 году). Максимальная транспортная нагрузка наблюдалась на том же посту, что и в 2010 году - на участке от Октябрьской набережной до проспекта Обуховской обороны - 4500 авт./час в 2010 году и 11700 авт./час в 2014 году. Необходимо подчеркнуть, что после введения в эксплуатацию всех участков КАД существенно вырос поток автомобилей в традиционные городские утренние и вечерние "часы-пик" с 8:15 до 10:15 и 17:30-19:30, соответственно, что свидетельствует о популярности скоростной автодороги у городского населения.

Анализ транспортных потоков на северо-восточном участке от Приморского до Токсовского шоссе показал, что в среднем интенсивность движения на этом отрезке увеличилась в 1,4 раза в 2014 году по сравнению с 2010-2011 годами, в основном за счет роста потока легкового транспорта, объем которого вырос в 1,8 раз за этот период.

В 2014 году впервые были проведены натурные обследования структуры и интенсивности автотранспортных потоков на 10 постах юго-западного участка КАД от Московского до Краснофлотского шоссе и на западном участке от Краснофлотского до Приморского шоссе, пролегающего через остров Кронштадт.

Что касается юго-западного участка, наибольшие объемы транспортных потоков наблюдались на отрезках, соединяющих КАД с Пулковским и Таллиннским шоссе, а также Дачным проспектом. Средняя интенсивность движения на этих участках составила 8000-10000 авт/ч, при этом объем потока легковых автомобилей варьировался в диапазоне 5500-7500 авт/ч, а грузовых - 1200-1400 авт/ч.

Было отмечено существенное снижение объема транспортных потоков на западном участке КАД, начиная от ее пересечения с улицей Пионерстроя и вплоть до Приморского шоссе, где в среднем интенсивность движения легкового транспорта составила 1350 авт/ч, грузового - 450 авт/ч, легкого коммерческого транспорта - 450 авт/ч и автобусов - до 40 авт/ч.

Таким образом, основная роль в создании чрезвычайного локального приземного загрязнения атмосферы на КАД принадлежит легковому автотранспорту, средняя доля которого в общем потоке АТС составляет 71,0 %, грузовым автомобилям, суммарный вклад которых составил 15,6 % (0,8 % грузовым автомобилям массой от 3,5 до 12 т и 14,8% - автопоездам и фурам массой больше 12 т), а также легкому коммерческому транспорту (микроавтобусам и автофургонам) - 12,7 %. Доля автобусов в общем потоке АТС составляет меньше 1%.

Следует указать на то, что некоторые участки объездной дороги пролегают в непосредственной близости от жилых кварталов:

- на пересечении КАД с Краснофлотским шоссе (в деревне Бронка);
- на пересечении КАД и Красносельского шоссе;
- вдоль проспекта Народного ополчения и на развязке с Дачным проспектом;
- на пересечении с проспектом Обуховской обороны.

Оценка условий формирования опасно высоких концентраций оксидов азота именно на этих участках представляла несомненный интерес.

4.3 Выводы по разделу

1. На основании натурного обследования структуры автотранспортных потоков на нескольких ведущих автомагистралях Санкт-Петербурга было предложено упростить схему категорирования АТС, а именно упразднить разделение легковых автомобилей на "отечественные" и "зарубежные", а также упразднить разделение грузовых автомобилей на "дизельные" и "бензиновые". В результате были обоснованы категории АТС, которые с одной стороны адекватно отражают структуру потока, а с другой стороны могут быть легко идентифицированы даже непрофессиональными наблюдателями: 1) легковые автомобили; 2) микроавтобусы и автофургоны массой <3, 5 т, 3) грузовые автомобили массой от 3,5 до 12 т; 4) грузовые автомобили массой > 12 т

(автопоезда и фуры); 5) автобусы массой $> 3,5$ т (городские пассажирские рейсовые и туристические автобусы).

2. Исследования интенсивности движения на "неблагоприятном" с точки зрения градостроительных особенностей Московском проспекте показали, что максимальная транспортная нагрузка порядка 4000 авт/ч приходится как раз на участки с плотной застройкой от пересечения с Загородным до пересечения с Ленинским проспектом. При этом основную роль в возникновении чрезвычайного загрязнения воздушного бассейна оксидами азота играют легковые автомобили и легкий коммерческий транспорт.

3. В результате натурного обследования КАД было установлено, что к 2014 году интенсивность движения на ключевой автомагистрали возросла в 2-2,5 раза по сравнению с 2010-2011 годами, особенно на участках от развязки с Пискаревским проспектом до развязки с Пулковским шоссе, что связано с введением КАД в полную эксплуатацию. Максимальная транспортная нагрузка, составившая 11700 авт/ч была зафиксирована на участке от Октябрьской набережной до проспекта Обуховской обороны, при этом интенсивность движения легкового транспорта составила в среднем около 8000 авт/ч, а интенсивность тяжелого грузового транспорта (фур и автофургонов с прицепами) - около 2000 авт/ч. Именно этот участок проходит в непосредственной близости от жилой застройки, и, следовательно, при неблагоприятных метеорологических условиях (штилевой погоде, температурной инверсии) и высокой фотохимической активности атмосферы, здесь могут создаваться условия возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота, выделяющимися с ОГ двигателей автомобилей, и непосредственной угрозы здоровью населения.

5 Расчетная оценка и прогнозирование проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автодорог на примере Санкт-Петербурга

5.1 Обоснование расчетных ситуационных сценариев чрезвычайных ситуаций

Численные эксперименты по оценке загрязнения атмосферного воздуха NO_x вблизи автомагистралей и перекрестков Санкт-Петербурга и определения условий и закономерностей формирования опасных для людей приземных концентраций диоксида азота в окрестностях автодорог были выполнены для ранее обследованных магистралей: Московского проспекта и КАД Санкт-Петербурга. Московский проспект отражает ситуацию на большинстве ключевых магистралей в центральных районах Санкт-Петербурга с плотной прилегающей застройкой и высокой транспортной нагрузкой, создаваемой легковыми автомобилями, легким коммерческим транспортом и автобусами (Невский проспект, Лиговский проспект, Литейный проспект и многие другие). На таких дорогах условиями возникновения чрезвычайного загрязнения воздуха оксидами азота являются [169]:

- 1) высокая интенсивность движения транспорта;
- 2) затрудненный массоперенос и разбавление примесей внутри уличного каньона, формируемого внутри плотно прилегающих друг к другу зданий;
- 3) неблагоприятные метеорологические условия;
- 4) высокий коэффициент трансформации NO_x в NO_2 .

На скоростных дорогах факторами создания чрезвычайно высоких концентраций ЗВ являются [169]:

- 1) высокий объем потоков легковых и грузовых автомобилей;
- 2) неблагоприятные метеорологические условия;
- 3) высокий коэффициент трансформации NO_x в NO_2 .

Определение неблагоприятных метеорологических условий приведено в Руководящем документе РД 52.04-52-85 "Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях" [182]. Неблагоприятные метеорологические условия (НМУ) – это совокупность метеоусловий, вызывающих ухудшенное рассеивание выбросов вредных веществ в атмосферной среде и способствующих их накоплению в приземном слое атмосферы, к ним относятся штилевая, т.е. безветренная погода, температурная инверсия.

Инверсия в метеорологии означает аномальный характер изменения какого-либо параметра в атмосфере с увеличением высоты. Наиболее часто это относится как раз к температурной инверсии, то есть к увеличению температуры с высотой в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения.

Приземная инверсия температуры, начинающаяся непосредственно от земной поверхности (толщина слоя инверсии составляет десятки метров), препятствует вертикальным перемещениям воздуха и способствует образованию дымки, тумана, смога. Инверсия сильно зависит от местных особенностей рельефа. При прекращении нормального процесса конвекции происходит чрезвычайное загрязнение нижнего слоя атмосферы. ЧС, связанные с формированием запирающего инверсионного слоя и резкого повышения смертности людей вследствие резкого ухудшения здоровья на фоне экстремального загрязнения воздуха испытали города с большими объёмами выбросов Лондон в 1952 году, Лос-Анджелес в 1971 году, Пекин и Нью-Дели в 2013 году, Париж в 2014 году [183].

В Петербурге, в основном, складываются благоприятные погодные условия для минимизации последствий крайне высоких выбросов ЗВ автотранспорта: большое количество осадков в виде дождя, мокрого снега и снега, сильные, порывистые и даже умеренные ветры западных и северо-восточных направлений. Однако, периодические НМУ – не редкость. Они обусловлены частыми штилями, сильными и мощными температурными инверсиями, препятствующими рассеиванию загрязняющих веществ при господстве антициклонов, как в зимнее, так и в летнее время [184].

Потоки автотранспортных средств естественной геометрической конфигурации относятся к неорганизованным источникам холодных выбросов, однако их можно представить в виде совокупности линейных источников выбросов, в окрестностях которых определяется загрязнение воздушной городской среды. Так, для расчета максимальных концентраций ЗВ в воздухе (C_M) при НМУ используется формула (35), приведенная в «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86)» [128]:

$$C_M = \frac{AMFm\eta}{H^{7/3}}, \quad (35)$$

где A – коэффициент, учитывающий температурную стратификацию (устойчивость) атмосферы. Для Центральной части РФ $A = 120$, для областей со средними условиями турбулентного перемешивания $A = 160$;

M – мощность эмиссии загрязняющего вещества, выбрасываемого потоком автомобилей в единицу времени (г/с);

F – безразмерный коэффициент, зависящий от скорости гравитационного оседания взвешенных частиц (РМ). Значение параметра F принимается равным 1 расчета рассеивания РМ от двигателей автомобилей;

m – безразмерный коэффициент, равный 0,9;

η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающим 50 м на 1 км, $\eta = 1$;

H – высота магистрали, как неорганизованного источника выброса, над уровнем земли.

В соответствии с п. 1.5 Методики ОНД-86 [128] при расчете загрязнения атмосферы следует учитывать полную или частичную трансформацию поступающих в атмосферу вредных веществ в более токсичные.

Мощность выброса оксидов азота (M_{NO_2} и M_{NO}) из источника, в нашем случае от потока транспортных средств, с учетом коэффициента трансформации оксидов азота в атмосфере определяется по формулам (36):

$$\begin{aligned} M_{NO_2} &= \alpha_{NO_2} M_{NOX} \\ M_{NO} &= 0,65 (1 - \alpha_{NO_2}) M_{NOX} \end{aligned} \quad (36)$$

Коэффициенты трансформации (α_{NO_2}) NO_X в NO_2 в Санкт-Петербурге составляет в среднем 0,2 - 0,5 [53-56], однако для оценки возможности формирования чрезвычайного загрязнения приземной воздушной среды более токсичным диоксидом азота применяется коэффициент максимальной установленной трансформации, равный 0,8 [128]. Тогда, в соответствии с формулой для NO , коэффициент трансформации равен 0,13.

Такой расчетный подход особенно актуален для оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздушного бассейна вблизи автомагистралей в городской среде, поскольку учитывает такие факторы, как:

- этажность прилегающих к автодорогам зданий и сооружений и плотность застройки;
- локальные НМУ, препятствующие рассеиванию поллютантов в воздушном бассейне, включая инверсионные, т.е. застойные, состояния атмосферы;
- химические и фотохимические превращения веществ в атмосфере, что особенно важно для расчета концентраций чрезвычайно токсичного диоксида азота.

Из формулы (35) видно, что C_M значительно увеличивается с понижением высоты источника H , следовательно, в периоды НМУ при прочих равных условиях именно источники с низкими выбросами, к которым относится автотранспорт, создают угрозу возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды, в том числе оксидами азота.

Методика ОНД-86 была положена в основу компьютерных программ серии "Эколог" для расчета концентраций вредных веществ в атмосфере вблизи автомобильных магистралей, разработанных ООО "Интеграл" (Санкт-Петербург).

Другой программный продукт этой фирмы "Магистраль-город" позволяет рассчитать выбросы от автотранспортных потоков и реализует «Методику определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов» [174], в которой были учтены результаты полученные непосредственно с участием автора диссертации [175]. Определенные расчетным путем величины выбросов автотранспортных потоков на городских автомагистралях в единицах измерения г/с (параметр М в уравнении 29) могут быть использованы для оценки максимальных концентраций ЗВ, формирующихся вдоль автомагистралей с помощью программы "Эколог" [169].

Логическая схема осуществления расчетов представлена на рисунке 23.

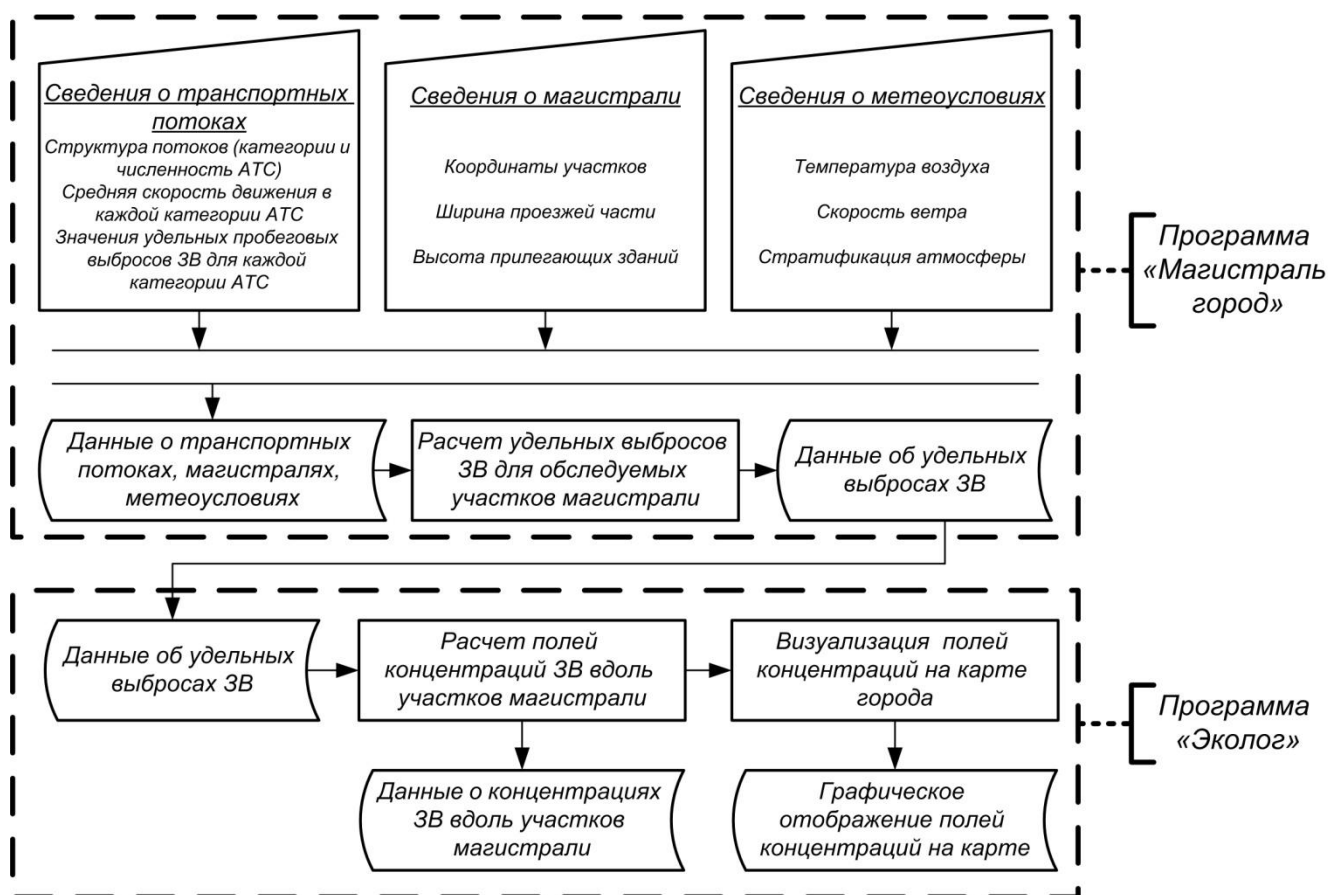


Рисунок 23 - Схема расчета максимальных приземных концентраций загрязняющих веществ с помощью программных продуктов "Магистраль-город" и "Эколог"

В расчетные сценарии были заложены основные факторы, способствующие проявлению чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды вблизи исследуемых автодорог оксидами азота:

- 1) реально регистрируемые максимальные интенсивности движения АТС в часы максимальной транспортной нагрузки (таблица 11 и таблица 13);
- 2) влияние геометрических характеристик прилегающей к автодороге застройки;
- 3) параметры НМУ: скорость ветра меньше 1,5 м/с, направление ветра под углом до 30 - 45° к магистралям, стратификация атмосферы, соответствующая температурной инверсии.
- 4) максимальная степень трансформации NO_x в NO_2 .

5.2 Анализ результатов численного эксперимента по ситуационным сценариям чрезвычайных ситуаций

5.2.1 Расчетные значения проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x на Московском проспекте

Из анализа карты загрязнения (рисунок 24) воздушной среды диоксидом азота выбросами АТС на Московском проспекте Санкт-Петербурга и вблизи прилегающих жилых, административных и коммерческих зданий можно сделать вывод о том, что при высокой плотности движения АТС в часы утренних и вечерних часов «пик» в сочетании с неблагоприятными метеорологическими условиями возможно формирование высоких концентраций диоксида азота NO_2 в приземном воздушном слое, в 2 - 4 раза превышающих предельные значения ПДК_{МР}. Концентрации оксида азота NO при этом остаются в пределах санитарно-гигиенических нормативов (приложение 2).

Таким образом было установлено, что даже на Московском проспекте, свободном от грузового транспорта, периодически создаются ситуации повышенного и высокого загрязнения приземного атмосферного воздуха [169].

Полученные расчетные значения были подтверждены результатами мониторинга на автоматической станции измерения загрязнения воздуха (АСИЗВ) № 10, находящейся на территории расположенного непосредственно на Московском проспекте Всероссийского научно-исследовательского института метрологии (рисунки 25 и 26). На рисунке 25 наглядно представлено загрязнение воздуха на пересечении Московского и Загородного проспектов Санкт-Петербурга в виде изолиний полей концентраций диоксида азота в единицах ПДК, а на рисунке 26 отражена динамика изменения реально измеренных концентраций NO_2 на АСИЗВ № 10 3-4 июня 2013 года, которые были предоставлены Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности.

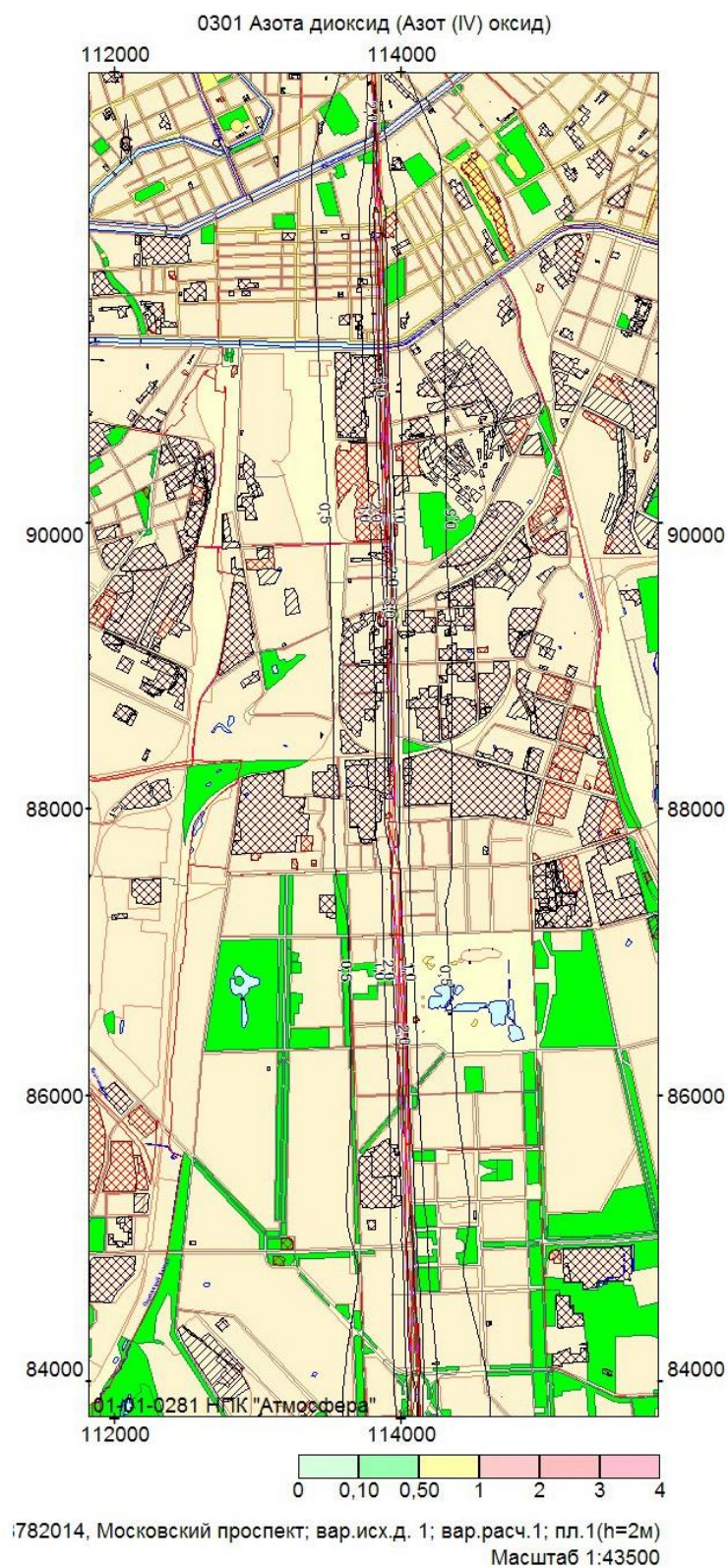


Рисунок 24 - Визуализация повышенного загрязнения приземного воздушного бассейна диоксидом азота вдоль Московского проспекта в виде полей максимальных концентраций при реализации неблагоприятного сценария, в долях ПДК

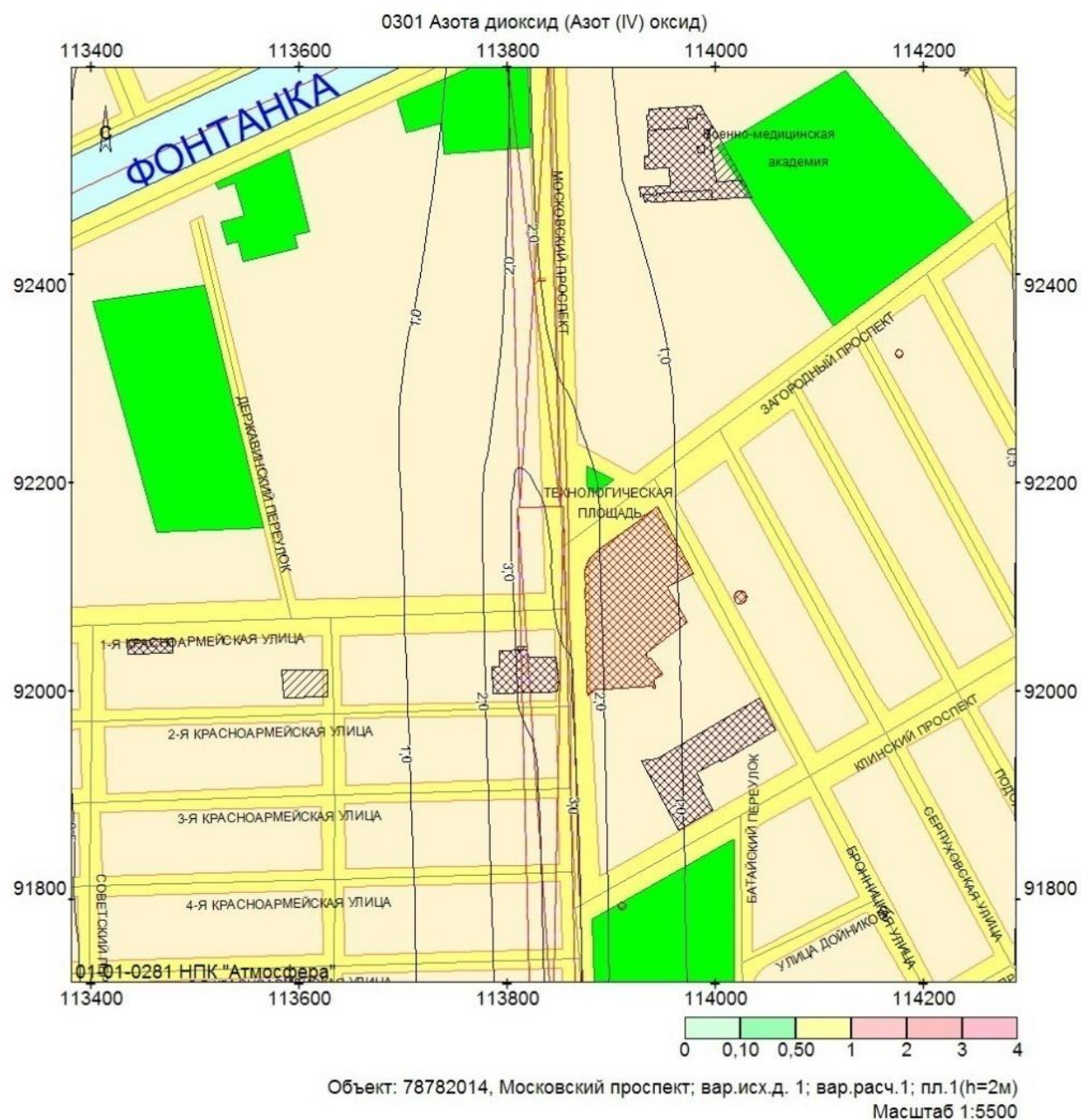


Рисунок 25 - Визуализация повышенного загрязнения приземного воздушного бассейна диоксидом азота на пересечении Московского и Загородного проспектов в виде изолиний максимальных концентраций при реализации неблагоприятного сценария, в долях ПДК

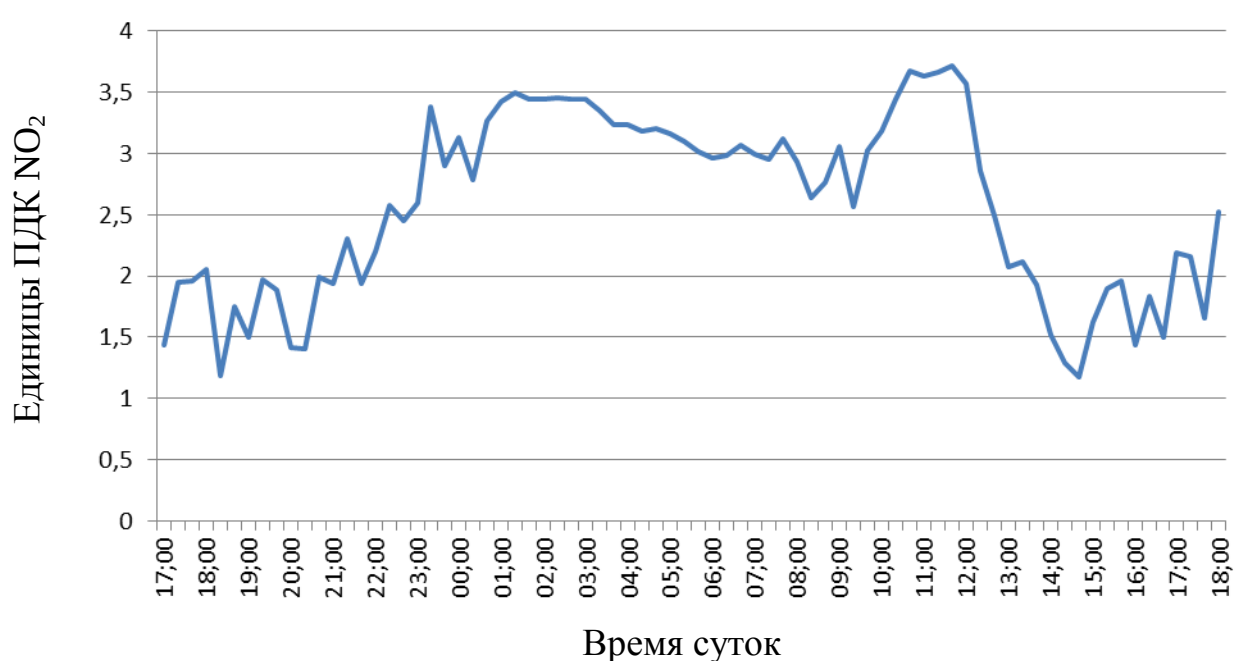


Рисунок 26 - Динамика изменения измеренных концентраций диоксида азота на АСИЗВ № 10 на Московском проспекте 3-4 июня 2013 года (по данным, предоставленным Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности)

На АСИЗВ № 10 Санкт-Петербурга было зарегистрировано высокое содержание диоксида азота, в течение нескольких часов превышающее предельно допустимое значение в 2-4 раза в ночь с 3-го на 4-ое июня и утром 4-го июня 2013 года (рисунок 26), которое было спровоцировано высокой транспортной нагрузкой в вечерние часы, а также высокой инсоляцией в дневное время и температурной инверсией в ночное время. В эти дни в Петербурге стояла жаркая безветренная погода, дневная температура составляла 24-28 °С, а ночная - 12-16 °С, скорость ветра достигала всего 0,2-1 м/с по архивным данным портала Евrometeo [185]. Удовлетворительная сходимость результатов расчета с данными экспериментальных измерений содержания оксидов азота в приземном воздушном бассейне свидетельствует о высокой точности методики и адекватности назначенных удельных пробеговых выбросов NO и NO₂.

5.2.2 Расчетные значения проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x на Кольцевой автомобильной дороге Санкт-Петербурга

Полученные расчетные данные максимального загрязнения приземной воздушной среды на КАД и вблизи КАД [169], позволяют "условно" зонировать автомагистраль на 3 типа участков по уровню загрязнения:

1) Участки с низким уровнем загрязнения: участок от Приморского шоссе до Горского шоссе и участок от Приморского до Ропшинского шоссе (интенсивность движения (ИД) < 2500 авт/ч). Расчетные ПДК_{сс} и ПДК_{мр} равны или ниже нормативных значений.

2) Участки с повышенным уровнем загрязнения: участок от Горского шоссе до Пискаревского проспекта и участок от Таллиннского до Ропшинского шоссе (2500 < ИД < 6000 авт/ч). Расчетные ПДК_{мр} превышают максимально допустимые значения в 2-10 раз в зависимости от метеорологических параметров.

3) Участок с высоким и потенциальным экстремально высоким уровнем загрязнения: участок от Пискаревского до Дачного проспекта (ИД > 6000 авт/ч). Расчетные ПДК_{мр} превышают максимально допустимые значения в 10 и более раз.

Карта загрязнения приземного воздушного бассейна диоксидом азота на Кольцевой Автодороге Санкт-Петербурга в виде полей максимальных концентраций представлена на рисунке 27.

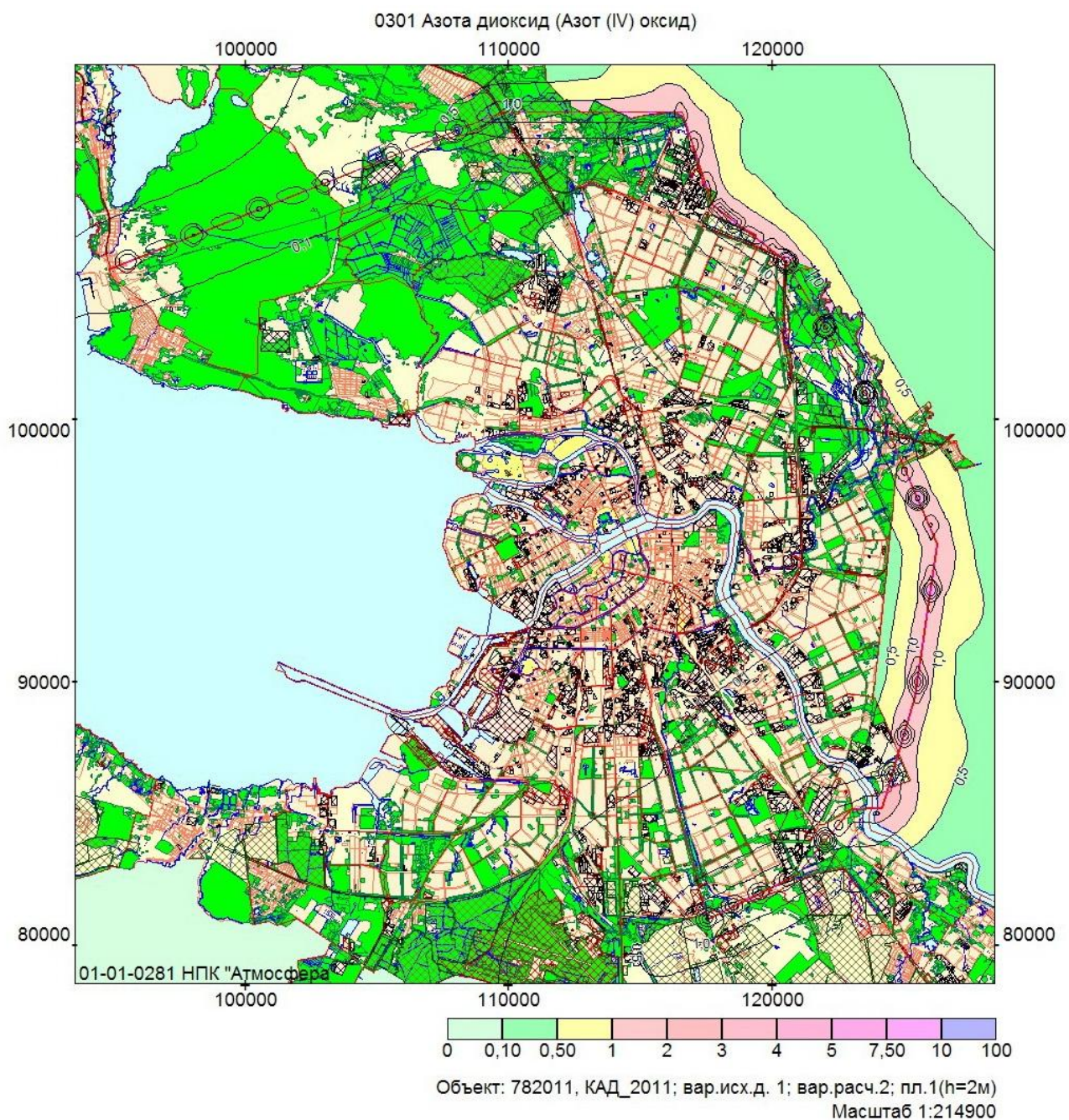


Рисунок 27 - Визуализация экстремально высокого загрязнения приземного воздушного бассейна диоксидом азота на Кольцевой Автодороге Санкт-Петербурга в виде полей максимальных концентраций

Сравнение результатов исследований, осуществленных в 2014 году, и более ранних изысканий [103, 104, 174, 175] свидетельствуют о возрастании риска возникновения ЧС, связанного с экстремально высоким загрязнением воздуха на КАД и в ее окрестностях не только диоксидом азота, но и монооксидом азота (рисунок 28).

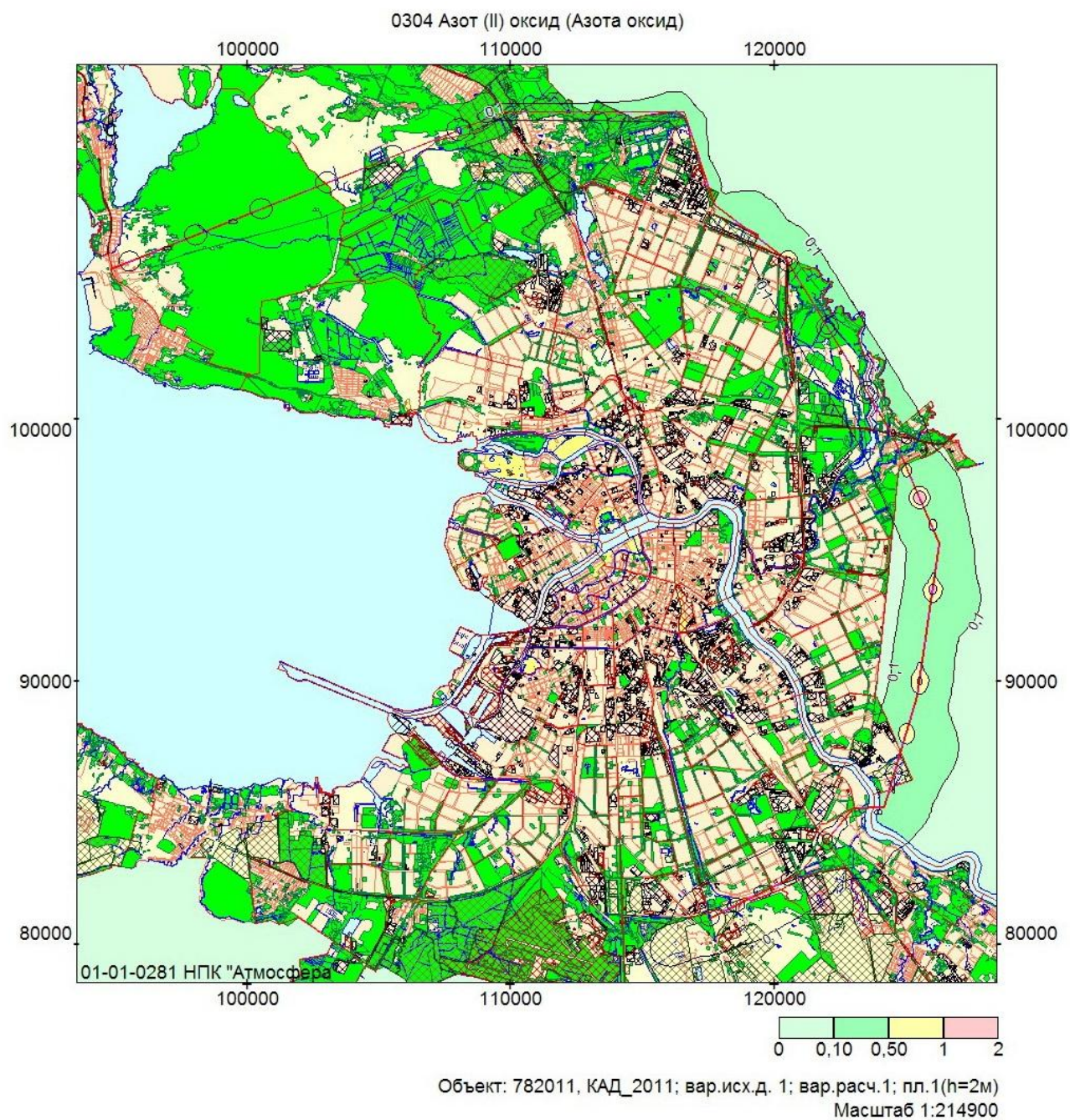


Рисунок 28 - Визуализация повышенного загрязнения приземного воздушного бассейна оксидом азота на Кольцевой Автодороге Санкт-Петербурга в виде полей максимальных концентраций

Это связано с увеличением транспортной нагрузки в 2-2,5 раза на отрезке от Пискаревского до Дачного проспекта после введения КАД в полную эксплуатацию.

При стечении неблагоприятных факторов: высокой интенсивности движения, образовании заторов, температурной инверсии, отсутствии ветра - на

участке КАД от Пискаревского до Дачного проспекта $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ может достигать экстремально высокого превышения непосредственно на трассе, создавая таким образом прямую угрозу здоровью участников движения и безопасности движения вследствие возможного резкого ухудшения самочувствия водителей АТС, а также высокого 5-10 кратного превышения $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ в районе прилегающей жилой застройки.

Наибольшую обеспокоенность вызывает участок КАД от проспекта Обуховской Обороны до Софийской улицы, характеризующийся очень высокой транспортной нагрузкой и пролегающий в непосредственной близости к жилой застройке. Дома № 9 и 17 на Запорожской улице находятся всего в 37 м от КАД, причем КАД проходит на уровне 2-3 этажей (рисунок 29):



Рисунок 29 - Вид на КАД в районе домов № 9 и 17 на Запорожской улице (гибридное наложение схемы автодорог на спутниковый снимок, режим доступа: <https://maps.yandex.ru>)

Визуализация загрязнения атмосферного воздуха вблизи КАД в микрорайоне "Троицкое поле" свидетельствует о потенциально возможном 5-10

кратном превышении ПДК в зоне жилой застройки на улице Запорожской при одновременном стечении неблагоприятных факторов (рисунок 30):

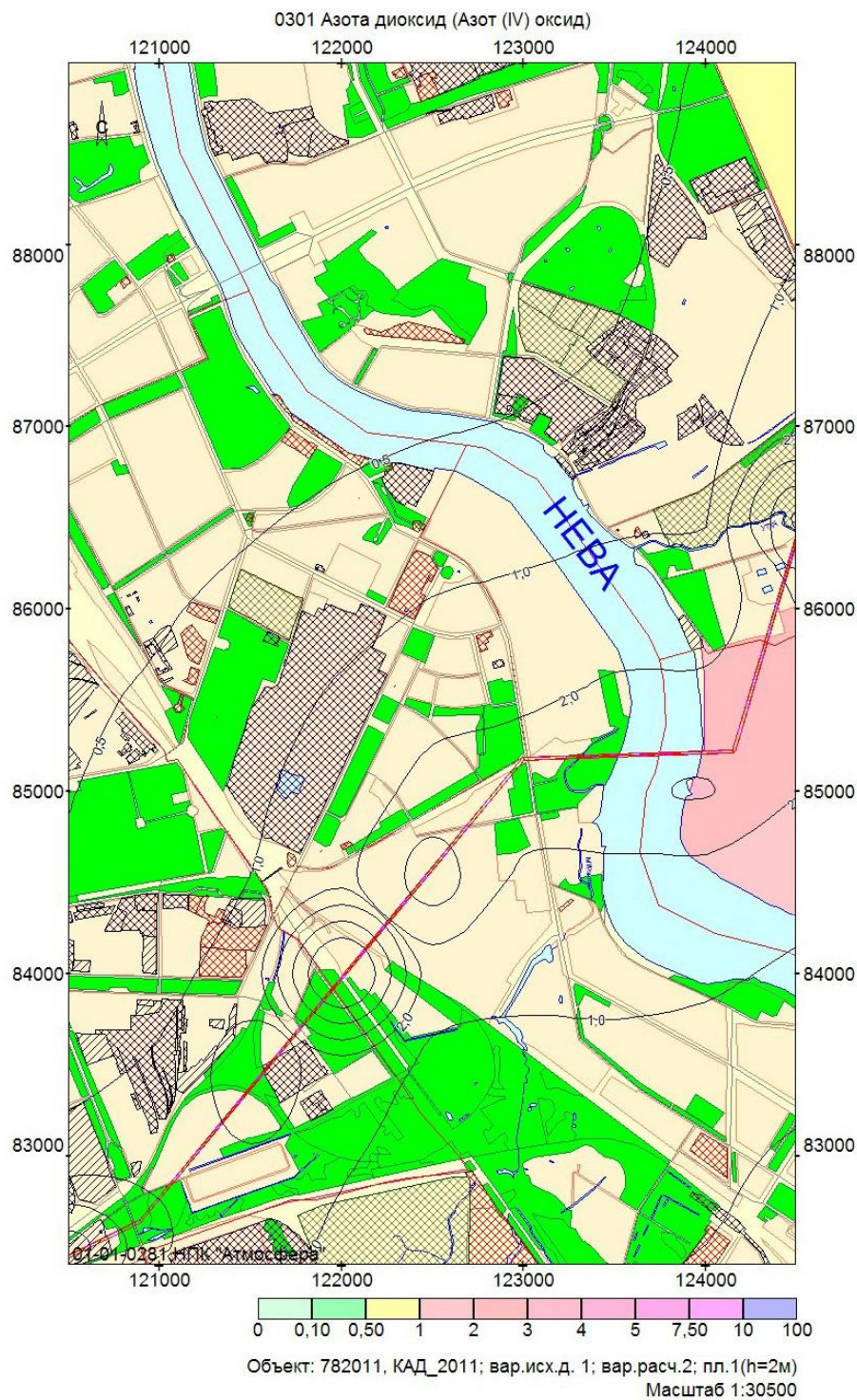


Рисунок 30 - Визуализация экстремально высокого загрязнения приземного воздушного бассейна диоксидом азота на Кольцевой Автодороге Санкт-Петербурга в микрорайоне Обухово

В Санкт-Петербурге нет АСИЗВ, расположенных непосредственно вблизи КАД, поэтому для косвенного сравнения расчетных данных с экспериментальными мы использовали данные измерений, полученные на АСИЗВ, находящихся в северо-восточном, восточном и юго-восточном районах города недалеко от высоко загруженных магистралей, на которых также, как и на КАД, наблюдаются большие потоки грузового транспорта: на Индустриальном проспекте, на улице Тельмана и на пересечении Малой Балканской улицы и Дунайского проспекта. Так, в соответствии с данными Экологического портала Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Правительства Санкт-Петербурга 23 января 2014 года на этих трех станциях был одновременно зафиксирован высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха оксидами азота в диапазоне 8-10 ПДК [186].

В этот день наблюдалась морозная до минус 20 °С, солнечная погода и штиль [185] - т.е. были идеальные условия для температурной инверсии. В результате чего произошло концентрирование ЗВ в приземном слое.

Хорошая корреляция результатов расчета с данными измерений еще раз доказала эффективность разработанной автором комплексной методики оценки возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды вблизи автодорог оксидами азота.

5.3 Выводы по разделу

1. Результаты расчетов загрязнения воздуха, создаваемого автотранспортом на городских транзитных магистралях, свободных от проезда грузовых транспортных средств, со средней интенсивностью движения транспорта около 3000 авт./час, показывают, что при неблагоприятных погодных условиях вероятно превышение ПДК диоксида азота в 2,0 - 4,0 раз.

2. Полученные значения хотя и высоки, но существенно ниже данных 2006 года: тогда максимальные расчетные концентрации NO_2 достигали 10,0 - 12,0 ПДК [125]. Снижение загрязнения воздушного бассейна вблизи Московского

проспекта и аналогичных по транспортной нагрузке и характеристиками прилегающей застройки магистралей (в т.ч. Невского, Лиговского и Литейного проспектов) обусловлено в первую очередь существенным обновлением парка легковых АТС за последнее десятилетие с преобладанием, как и прежде, автомобилей с бензиновыми двигателями.

3. Возникновение высокого загрязнения воздуха в окрестностях кольцевой дороги связано с существенным возрастанием транспортной нагрузки на ряде южных, восточных и северо-восточных участках КАД после ее введения в полную эксплуатацию до 10 000-12 000 авт/ч, а грузовых автомобилей с массой более 3,5 т до 2500 авт/ч. Это привело к возможности возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота непосредственно на автомагистрали с превышением ПДК в 10 и более раз, и высокого загрязнения воздушного бассейна прилегающих жилых кварталов с превышением ПДК NO_2 в 2-10 раз.

4. Экстремально высокие выбросы NO_x на КАД, связанные, в первую очередь, с сохраняющимся отставанием технического состояния АТС и качества применяемого топлива от требований национальных природоохранных стандартов, в сочетании с неблагоприятными метеоусловиями, а именно, штилевой погодой, высокой инсоляцией, температурной инверсией, жаркой погодой, могут привести к резкому ухудшению здоровья водителей и, как следствие, возрастанию риску возникновения аварийных ситуаций.

5. Периодические эпизоды высокого локального загрязнения воздуха до 10 ПДК и выше на отдельных участках КАД, проходящих в кварталах жилой застройки, продолжительность которых существенно превышает период предельно допустимого времени воздействия (20 минут), следует признать опасными ситуациями для населения, проживающего в домах, примыкающих к кольцевой автодороге.

Экстремально высокое загрязнение приземного атмосферного воздуха является чрезвычайным локальным загрязнением воздушной среды, то есть чрезвычайной ситуацией экологического характера.

Заключение

Выполненные в диссертационной работе исследования позволили разработать методику комплексной оценки и прогнозирования формирования опасных для людей концентраций NO_x вблизи автодорог с учетом технического состояния автотранспортных средств, особенностей прилегающей застройки, неблагоприятной дорожной ситуации и неблагоприятных метеорологических условий. Получены следующие основные результаты:

1. Разработана методика бортового мониторинга оксидов азота в ОГ автомобилей, эксплуатируемых в реальных условиях переходных режимов работы двигателей, с использованием портативного газоаналитического оборудования Testo 300 XXL.

На основании аналитического исследования динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 гг. были сделаны выводы о том, что за период с 2003 по 2012 г. произошел существенный рост числа АТС в Санкт-Петербурге, в связи с чем автомобильный транспорт стал главным источником загрязнения атмосферного воздуха, в том числе источником возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автомагистралей. Парк легковых автомобилей увеличился в 1,6 раза с 2003 по 2013 год (более 1,5 млн. единиц), при этом произошло его существенное обновление: доля автомобилей в возрасте до пяти лет в 2004 году составила 13 %, в 2010 - 33 %, а в 2012 - 42 %. Численность грузовых автомобилей за истекший период возросла практически в 2 раза со 104,8 тыс. единиц в 2004 году до 201 тыс. единиц в 2012 году, при этом имело место резкое возрастание сегмента старых автомобилей старше 10 лет, соответствующих экологическим классам Евро 0 - Евро 2, с 65 % в 2010 году до 75 % в 2012 году. Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что основной вклад в чрезвычайное загрязнение приземного воздушного пространства вносят легковой транспорт в силу количественного фактора и грузовой транспорт в силу экстремально высоких выбросов, приходящихся на одну транспортную единицу. Поскольку для грузовых

автомобилей старшей возрастной категории, в основном эксплуатируемых в Санкт-Петербурге, имеется достаточно сведений о выбросах оксидов азота, представлялось обоснованным провести бортовые испытания легковых АТС всех экологических типов, реально наблюдаемых на дорогах города, структура парка которых существенно изменилась в период с 2003 по 2012 год.

2. Установлено, что удельные пробеговые выбросы NO_x технически исправных легковых АТС с бензиновыми двигателями экологических классов Евро 2 - Евро 5 соответствуют нормативным значениям; выбросы оксидов азота легковыми дизельными автомобилями класса Евро 3 с массой больше 2,5 тонн (внедорожниками) превышают установленные стандарты эмиссии в 1,5-2 раза при движении по естественным городским ездовым циклам; независимо от типа легкового автомобиля, его возраста и марки используемого топлива минимальные выбросы оксидов азота наблюдаются при равномерном движении транспортных средств АТС без остановок и разгонов для бензиновых автомобилей в диапазоне скоростей от 40 до 90 км/ч, для дизельных - от 30 до 60 км/ч. Полученные усредненные значения пробеговых выбросов NO_x и коэффициенты учета изменения количества выбрасываемых оксидов азота в зависимости от скорости движения были использованы для корректировки "Методики определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов" [101, 174] и рекомендованы к использованию при внесении изменений в "Методику определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга", утвержденную распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга [175].

3. На основании натурного обследования структуры автотранспортных потоков на ведущих автомагистралях Санкт-Петербурга была предложена эффективная схема категорирования АТС, адекватно отражающая структуру транспортных потоков на дорогах города и позволяющая легко идентифицировать типы учитываемых АТС, необходимая для расчетной оценки и прогнозирования

возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автомагистралей.

Исследования интенсивности движения на Московском проспекте, показали, что транспортная нагрузка магистрали соответствует уровню 2003 года - около 3000 авт/ч. Натурное обследование КАД продемонстрировало, что к 2014 году интенсивность движения на ведущей транзитной автомагистрали возросла в 2-2,5 раза по сравнению с 2010 годом, особенно на участках от развязки с Пискаревским проспектом до развязки с Пулковским шоссе, что связано с введением КАД в полную эксплуатацию.

4. По данным расчетных оценок загрязнения атмосферного воздуха NO_x вблизи Московского проспекта и КАД Санкт-Петербурга, с помощью обоснованного комплексного методического подхода, были определены условия и закономерности формирования опасных для людей приземных концентраций диоксида азота в окрестностях автодорог города с интенсивным движением.

На примере Московского проспекта было показано, что условиями возникновения высокого загрязнения воздуха с превышением ПДК диоксида азота в 2,0 - 4,0 раза на городских магистралях, свободных от грузовых транспортных средств, являются: высокая интенсивность движения транспорта в "часы пик", около 3000 авт/ч, плотная прилегающая застройка, отсутствие ветра или ветер под углом $35-40^\circ$ к поверхности земли, температурная инверсия и высокая фотохимическая активность атмосферы.

Существенное возрастание транспортной нагрузки на ряде южных, восточных и северо-восточных участков КАД после ее введения в полную эксплуатацию до 10 000-12000 авт/ч, а грузовых автомобилей с массой более 3,5 т до 2000 авт/ч, привело к возможности возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота непосредственно на автомагистрали с превышением ПДК диоксида азота в 10 и более раз, и высокого загрязнения воздушного бассейна прилегающих жилых кварталов с превышением ПДК NO_2 в 2-10 раз. Экстремально высокие выбросы NO_x на КАД обусловлены в значительной степени легковым транспортом в силу количественного фактора и

грузовым автотранспортом, техническое состояние которого не соответствует требованиям национальных природоохранных стандартов. Экстремально высокие выбросы оксидов азота в сочетании с неблагоприятными метеоусловиями могут привести к чрезвычайно высокому концентрированию диоксида азота в приземном воздушном слое на КАД и в окрестностях близлежащих жилых кварталов, провоцируя резкое ухудшение здоровья водителей при краткосрочном воздействии. Ситуации чрезвычайного локального загрязнения воздушной среды в окрестностях Кольцевой автодороги до 10 ПДК и выше, длительность воздействия которых значительно больше 20 минут, следует признать опасными для населения, проживающего в домах, примыкающих к КАД.

Экстремально высокая концентрация оксидов азота в приземном воздушном слое является чрезвычайным локальным загрязнением воздушной среды вблизи автодорог оксидами азота и может быть квалифицирована как чрезвычайная ситуация экологического характера, техногенная по своей природе, локальная, муниципальная или межмуниципальная по масштабу.

Разработанная методика комплексной оценки возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды вблизи автодорог оксидами азота позволяет с высокой степенью достоверности осуществлять мониторинг и прогнозирование локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_2 в окрестностях автодорог города с интенсивным движением.

Список сокращений и условных обозначений

NO	- монооксид азота
NO ₂	- диоксид азота
NO _x	- оксиды азота (монооксид азота и диоксид азота суммарно)
ЧС	- чрезвычайная ситуация
АТС	- автотранспортное средство
УВ	- удельный выброс
ЗВ	- загрязняющее вещество
ОГ	- отработавшие газы
РФ	- Российская Федерация
МЧС	- Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
АПК БГ	- аппаратно-программный комплекс технических средств «Безопасный город»
РСЧС	- единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций
США	- Соединенные Штаты Америки
ЕС	- Европейский Союз
ЭК	- экологический класс
ПДК м.р.	- предельно-допустимая максимальная разовая концентрация
ПДК с.с.	- предельно-допустимая среднесуточная концентрация
СО	- оксида углерода
SO ₂	- диоксид серы
C _x H _y	- нелетучие углеводороды
ЛОС	- летучие органические соединения
O ₃	- озон
HNO ₃	- азотная кислота
HNO ₂	- азотистая кислота

$PM_{2,5}$	- взвешенные вещества, содержащиеся в атмосферном воздухе (твердые частицы) с аэродинамическим диаметром частиц менее 2,5 мкм
PM_{10}	- взвешенные вещества, содержащиеся в атмосферном воздухе (твердые частицы) с аэродинамическим диаметром частиц менее 10 мкм
Fe^{2+} , Fe^{3+}	- ионы железа
ДВ	- доверительная вероятность
ДИ	- доверительный интервал
КС	- камера сгорания
МТ	- максимальная температура
БП	- бензо(α)пирен
КАД	- кольцевая автомобильная дорога
ЦД	- цена деления
КН	- каталитический нейтрализатор
НМУ	- неблагоприятные метеорологические условия
АСИЗВ	- автоматической станции измерения загрязнения воздуха
ИД	- интенсивность движения
авт/ч	- автомобилей в час

Словарь терминов

Чрезвычайная ситуация: это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [2].

Чрезвычайная ситуация локального характера: чрезвычайная ситуация в результате которой территория, на которой сложилась чрезвычайная ситуация и нарушены условия жизнедеятельности людей (зона чрезвычайной ситуации), не выходит за пределы территории объекта, при этом количество людей, погибших или получивших ущерб здоровью (количество пострадавших), составляет не более 10 человек либо размер ущерба окружающей природной среде и материальных потерь (размер материального ущерба) составляет не более 100 тыс. рублей [9].

Неблагоприятные метеорологические условия: это совокупность метеоусловий, вызывающих ухудшенное рассеивание выбросов вредных веществ в атмосферной среде и способствующих их накоплению в приземном слое атмосферы, к ним относятся штилевая, т.е. безветренная погода, температурная инверсия [182].

Чрезвычайное локальное загрязнение воздушной среды вблизи автодорог - чрезвычайная ситуация экологического характера, техногенная по своей природе, локальная, муниципальная или межмуниципальная по масштабу, возникшая на прилегающих к автомобильным магистралям территориях, связанная с чрезвычайным (экстремально высоким) загрязнением воздуха опасными веществами, выделяющимися с отработавшими газами двигателей, с превышением их максимальной разовой или среднесуточной предельно-допустимой концентрации.

Список литературы

1. Доклад министра Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий В.А. Пучкова «О долгосрочных перспективах развития системы МЧС России (МЧС-2030)» на заседании Экспертного совета МЧС России 30 октября 2012 года.

2. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" (с изменениями и дополнениями).

3. ГОСТ 22.0.03-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

4. ГОСТ 22.0.05-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

5. ГОСТ 22.0.04-97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.

6. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" // "Российская газета" от 12 января 2002 г. № 6.

7. Приказ Минприроды РФ от 06.02.1995 № 45 "Об утверждении "Временного порядка объявления территории зоной чрезвычайной экологической ситуации".

8. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, утвержденные Минприроды РФ 30 ноября 1992 г.

9. Постановление Правительства РФ от 21 мая 2007 г. № 304 "О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" С изменениями и дополнениями от: 17 мая 2011 г. // "Российская газета" от 26 мая 2007 г. № 111.

10. Шапошников А.С. Совершенствование управления рисками ЧС в мегаполисе на основе их мониторинга и прогнозирования // Диссертация на

соискание ученой степени кандидата наук. – СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2011 – 124 с.

11. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 (ред. от 14.04.2015) О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // "Российская газета" от 20 января 2004 № 7.

12. Приказ МЧС РФ от 04.03.2011 № 94 Об утверждении Положения о функциональной подсистеме мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (Зарегистрировано в Минюсте РФ 05.04.2011 N 20424) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти", 16 мая 2011 № 20

13. Распоряжение Правительства РФ от 03.12.2014 № 2446-р Об утверждении Концепции построения и развития аппаратно-программного комплекса "Безопасный город" // Официальный интернет-портал правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>, 11.12.2014

14. Временные единые требования к техническим параметрам сегментов аппаратно-программного комплекса «Безопасный город». Одобрены Межведомственной комиссии по вопросам, связанным с внедрением и развитием систем аппаратно-программного комплекса технических средств «Безопасный город» под руководством Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Д.О. Рогозина 23.12.2014 года.

15. O.V. Lozhkina, V.N. Lozhkin Effect of transport policies on air quality in big cities of the Russian Federation: past, present, future. Book of abstracts of the 9th International Conference on Air Quality – Science and Application, Garmish–Partenkirchen (Germany), 2014.

16. A. Jullien M. Dauvergne V. Cerezo A. Environmental assessment of road construction and maintenance policies using LCA // Transportation Research Part D: Transport and Environment. -2014. - V. 29. - p. 56–65.

17. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Контроль экологической безопасности транспортных средств. Контроль загрязнения атмосферы автомобильным

транспортом. Контроль экологической безопасности транспортных средств в условиях производства и эксплуатации. НПК "Атмосфера" при ГГО им. А.И. Воейкова, СПб., 2011. – 302 с.

18. H. M. ApSimon, T. Oxley. Scientific support in development of national and international policy in relation to air quality and transboundary air pollution. Centre for Environmental Policy of Imperial College London. - 2010. - 84 p.

19. R.M. Miranda, P.J. Pérez-Martínez.. Energy consumption and intensity of toll highway transport in Spain // Transportation Research Part D: Transport and Environment. -2014. - 27. - p. 1–5.

20. Ложкин В.Н., Мигулев С.Е., Ложкина О.В. Исследование эффективности управления экологической безопасностью городского транспорта в долгосрочной перспективе (на примере Санкт-Петербурга) // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 4. – С. 25-28.

21. Ложкин В.Н., Буренин Н.С. Современные экологические требования к автотранспорту в условиях производства и эксплуатации // Транспорт Российской Федерации. – 2005. – № 1. – С. 64-66.

22. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Количественная оценка выбросов поллютантов и парниковых газов автотранспортом по европейской методологии *COPERT*, адаптированной к условиям Санкт-Петербурга. Проблемы управления рисками в техносфере. - 2013. - № 4 (28). - С. 19-26.

23. Котиков Ю.Г., Ложкин В.Н. Транспортная энергетика: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 С.

24. G. M. Rowangould. A census of the US near-roadway population: Public health and environmental justice considerations // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2013. - V. 25. - p. 59–67.

25. D. Heist, V. Isakov, S. Perry, M. et all. Estimating near-road pollutant dispersion: A model inter-comparison // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2013. - V. 25. - p. 93-105.

26. B. Singh, A. H. Strømman. Environmental assessment of electrification of road transport in Norway: Scenarios and impacts // Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2013. - V. 25. - p. 106-111.

27. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Автомобильный транспорт и судьба биосферы - возможно ли избежать противостояния // Общество. Среда. Развитие. – 2011. - № 2. - с. 208-214.

28. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Перспективы сокращения экологического ущерба от автотранспорта в городах Российской Федерации на примере Санкт-Петербурга // Биосфера – 2011. - № 2. - с. 409-418.

29. Ложкина О.В., Ложкин В.Н., Новиков В.Р. Прогнозирование воздействия двигателей автомобилей на атмосферу городов на примере Санкт-Петербурга // Двигателестроение. - 2010. - № 4. - С. 19-21.

30. J. Strauss, L.-Moreno, D. Crouse et all Investigating the link between cyclist volumes and air pollution along bicycle facilities in a dense urban core // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - 2012. - V. 17. - p. 610–618.

31. Shiliang Liu, Li Deng, Qinghe Zhao, Stephen Daniel DeGloria, Shikui Dong. Effects of road network on vegetation pattern in Xishuangbanna, Yunnan Province, Southwest China // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - 2011. - V. 16. - p. 591-594.

32. X. Wang, H. Gao. Exposure to fine particle mass and number concentrations in urban transportation environments of New York City // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - 2011. - V. 16. - p. 384-391.

33. Y. Zhang, J. Lv, Qi Ying. Traffic assignment considering air quality // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - 2010. - V. 15. - p. 497-502.

34. Официальный интернет-сайт Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов. Режим доступа: www.epa.gov.

35. Официальный интернет-сайт Совета по стандартам воздушных ресурсов Правительства Калифорнии. Режим доступа: www.arb.ca.gov.

36. Официальный сайт Генерального Директората Европейской Комиссии по Окружающей среде. Режим доступа: <http://ec.europa.eu/environment/air/transport/index.htm>.

37. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005 г. N 609 «Об утверждении специального технического регламента "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ"».

38. Постановление Правительства РФ от 20 января 2012 г. N 2 "О внесении изменений в специальный технический регламент "О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ"».

39. Постановление Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2008 г. N 118 г. "Об утверждении технического регламента "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту"».

40. Постановлением Правительства Российской Федерации от 7 сентября 2011 г. N 748 "О внесении изменений в технический регламент "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту"».

41. "ТРАНСПОРТНАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации на период до 2030 года", утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734.

42. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Гавкалюк Б.В. Контроль экологической эффективности и пожарной безопасности топливно-каталитических систем автотранспорта применительно к условиям сервисного обслуживания // Техно-технологические проблемы сервиса». – 2014/ - №1 (27). - С. 13-17.

43. Ложкин В.Н., Мигулев С.Е., Ложкина О.В. Исследование эффективности управления экологической безопасностью городского транспорта в долгосрочной перспективе (на примере Санкт-Петербурга) // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 4. – С. 25-28.

44. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

45. Гигиенические нормативы ГН 2.1.6.1983-05 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» (дополнения и изменения 2 к ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».

46. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2010 году. Под редакцией Голубева Д.А., Сорокина Н.Д. – СПб.: ООО "Сезам-Принт", 2011. – 147 с.

47. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2011 году. Под редакцией Голубева Д.А., Сорокина Н.Д. – СПб.: ООО "Сезам-Принт", 2012. – 190 с.

48. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году/ Под редакцией Голубева Д.А., Сорокина Н.Д. – СПб.:ООО "Сезам-Принт", 2013. – 168 с.

49. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году: Государственный доклад. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 316 с.

50. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферных воздух городов и регионов Российской Федерации за 2009 год. Под редакцией Миляева В. Б. – СПб.: НИИ Атмосфера – 2009.

51. Миляев В.Б., Головина Н.М., Двинянина О.В., Крапивко Н.А. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух Санкт-Петербурга в 2012 году / Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2012 году // Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб.: ООО "Сезам-Принт", 2013. – 168 с.

52. Валединская О.Р. Экологическая химия азота. Оксиды и гидроксиды азота. Тайна степеней окисления // Химия. – 2003. – № 5.

53. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. – СПб.: Астерион, 2008. – 254 с.

54. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А., Ивлева Т.П., Махоткина Е.Л. Потепление как возможная причина повышения химической активности атмосферного воздуха городов. – СПб.: Труды ГГО им. Воейкова. – 2008. – Вып. 557. – с.159 – 183.

55. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А., Ивлева Т.П. Химическая активность атмосферы на территории России. – СПб.: Труды ГГО им. Воейкова. – 2009. – Вып. 559. – с.121 – 133.

56. Безуглая Э.Ю., Воробьева И.А., Полуэктова М.В., 2010. Исследование химических процессов в атмосфере по данным мониторинга в городах. – СПб.: Труды ГГО им. Воейкова. – 2010 – Вып. 561. – с.164 – 184.

57. Ложкин В.Н., Николаенко А.В., Салова Т.Ю., Ольшевский Ф.О. Образование и распространение оксидов азота при работе стационарных дизельных установок // Улучшение эффективных, экологических и ресурсных показателей энергетических установок сельскохозяйственных тракторов и автомобилей. – СПб.: сб. тр. СПбГАУ. – 1997.

58. H. Ishida, S. Kawasaki, Y. Mohri, H. Furuya, T. Kanayama. On-board and roadside monitoring of NO_x and SPM emission from vehicles. // J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. – V. 5. – P. 2398-2407.

59. Отраслевая методика нормирования выбросов окислов азота от газотранспортных предприятий с учетом трансформации NO в NO₂ в атмосфере. М. – 1999. – 48с.

60. I. Mavroidis, A. Chaloulakou. Long-term trends of primary and secondary NO₂ production in the Athens area. Variation of the NO₂/NO_x ratio // Atmospheric Environment. – 2011. – V. 45. – p. 6872-6879

61. I. Mavroidis, M. Ilia. Trends of NO_x, NO₂ and O₃ concentrations at three different types of air quality monitoring stations in Athens, Greece // Atmospheric Environment. – 2012. – V. 63. – p. 135-147.

62. A. Chaloulakou, I. Mavroidis, I. Gavriila. Compliance with the annual NO₂ air quality standard in Athens. Required NO_x levels and expected health implications // *Atmospheric Environment*. 2008. – V. 42. – p. 454–465.

63. P.R Hargreaves, A Leidi, H.J Grubb et al. Local and seasonal variations in atmospheric nitrogen dioxide levels at Rothamsted, UK, and relationships with meteorological conditions // *Atmospheric Environment*. – 2000. – V. 34. –p. 843–853.

64. S. Caballero, R. Esclapez, N. Galindo, E. Mantilla, J. Crespo. Use of a passive sampling network for the determination of urban NO₂ spatiotemporal variations // *Atmospheric Environment*. – 2012. – V. – p. 148–155

65. Yu-Kai Huang, Munkh-ErdeneLuvsan, EnkhjargalGombojavet all. Land use patterns and SO₂ and NO₂ pollution in Ulaanbaatar, Mongolia // *Environmental Research*. – 2013. – V. 124. p. 1–6.

66. R.D. Brook, B. Franklin, W. Cascio, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American heart association // *Circulation* 2004. - V. 109. p. 2655–2671.

67. R.D. Brook, S. Rajagopalan, C.A. Pope, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association // *Circulation*. - 2010. - V. 121. p. 2331–2378.

68. Z.J. Andersen, M. Hvidberg, S.S. Jensen, et al. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: a cohort study // *Am J. Respir. Crit. Care Med*. - 2011. - V. 183. - p. 455– 461.

69. O. Raaschou-Nielsen, H Bak, M Sørensen, et al. Air pollution from traffic and risk for lung cancer in three Danish cohorts // *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev*. - 2010.V. 19. p. 1284 –1291.

70. Демидова С.В., Орлова Г.П., Лим Т.Е., Шкляревич Н.А. Аэрополлютанты и заболеваемость населения Санкт-Петербурга болезнями органов дыхания в различных возрастных группах // *Сибирский мед. журнал*. - 2012. - № 2. с. 90-92.

71. Арестова Н.Е., Бойцова Е.В., Голобородько М.М., Богданова А.В., Орлова Г.П. Эпидемиологические и клинические особенности бронхиальной астмы у детей в городском и сельском регионах (на примере Санкт-Петербурга и Ленинградской области) // Хирургия. 2009. - №1(55) - сс. 105-111.
72. Лим Т. Е. Влияние транспортных загрязнений на здоровье человека // Экология человека. 2010. - № 1. - с. 4-9.
73. Фридман К.Б., Лим Т.Е., Шусталов С.Н. К вопросу гигиенической оценки транспортных загрязнений и влияния их на здоровье населения // Экология человека. - 2012. - № 06 - с. 43-47.
74. Andersen ZJ, Kristiansen LC, Andersen KK, Olsen TS, Hvidberg M, Jensen SS, et al. Stroke and long-term exposure to outdoor air pollution from nitrogen dioxide: a cohort study // Stroke. - 2012. -V. 43. - p. 320–3255.
75. R. Beelen, G. Hoek, P.A. van den Brandt, et al. Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study) // Environ. Health Perspect. - 2008. V. 116. - pp.196–202.
76. T. Yorifuji, S. Kashima , T. Tsuda, et al. Long-term exposure to traffic-related air pollution and the risk of death from hemorrhagic stroke and lung cancer in Shizuoka, Japan // Science of the Total Environment. 2013. - V. 443. pp. 397–402.
77. P.J. Villeneuve, J.Y.M. Johnson, D. Pasichnyk, et al. Short-term effects of ambient air pollution on stroke: Who is most vulnerable? // Science of the Total Environment. - 2012. V. 430. - pp. 193–201.
78. H. Kan, W. Huang, B. Chen, Ni Zhao. Impact of outdoor air pollution on cardiovascular health in Mainland China // CVD Prevention and Control. - 2009. - V. 4. p. 71–78.
79. Z. Qian, Q. He, H. M. Lin, et al. Short-term effects of gaseous pollutants on cause-specific mortality in Wuhan, China // J. Air Waste Manag. Assoc. - 2007. V. 57. - p. 785–793.
80. H. Kan, J. Jia, H. Kan. Acute stroke mortality and air pollution: new evidence from Shanghai, China // J. Occup. Health. - 2003. - V. 45. - p. 321–323.

81. Tak-sun Yu, H. Qiu, X. Wang et all. Synergy between particles and nitrogen dioxide on emergency hospital admissions for cardiac diseases in Hong Kong // International Journal of Cardiology. - 2013. - V.168(3). - p.2831-2836.

82. H. Michiels, I. Mayeres, L. I. Panis et all. PM_{2.5} and NO_x from traffic: Human health impacts, external costs and policy implications from the Belgian perspective // Transportation Research Part D: Transport and Environment. - 2012. - V. 17, p. 569–577.

83. N.L. Gilbert, M.S. Goldberg, J. R. Brook et all. The influence of highway traffic on ambient nitrogen dioxide concentrations beyond the immediate vicinity of highways // Atmospheric Environment. - 2007. - V.41. - p. 2670–2673.

84. A.L. Stuart, M. Zeager. An inequality study of ambient nitrogen dioxide and traffic levels near elementary schools in the Tampa area // Journal of Environmental Management. - 2011. V. 92. - p. 1923-1930

85. X. Zou, Z. Shen, T. Yuan et all. Shifted power-law relationship between NO₂ concentration and the distance from a highway: A new dispersion model based on the wind profile model // Atmospheric Environment. - 2006. - V. 40. - p. 8068–8073

86. Бондаренко Е.В., Ерохов Е.В. Образование окислов азота при сгорании моторных топлив // Вестник ОГУ. Транспортные системы. – 2004. – № 5. – С. 31–43.

87. Зельдович Я.Б., Садовников П.Я., Франк-Каменецкий Д.А. Окисление азота при горении. – М–Л.: Изд. АН СССР. – 1947. – 148 С.

88. Ложкин В.Н., Батурин С.А., Дьяченко Н.Х. Исследование мгновенных температур пламени в цилиндре дизеля на эксплуатационных режимах // Тепловыделение, теплообмен и теплонапряженность высокофорсированных ДВС, работа их на неустановившихся режимах: сб. тр. ЛПИ. – Л.: ЛПИ, 1976.

89. Ложкин В.Н., Демочка О.И. Способы и средства уменьшения токсичных выбросов с отработавшими газами дизельных двигателей // Сб. научн. трудов ЦНИИТА. – Л.: ЦНИИТА, 1986. – Вып. 85–86.

90. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Контроль экологической безопасности транспортных средств. Контроль загрязнения атмосферы автомобильным транспортом. – СПб.: НПК "Атмосфера", 2011. – 302 С.

91. В.Н. Ложкин, А.В. Николаенко, Т.Ю. Салова, Ф.О. Ольшевский. Образование и распространение оксидов азота при работе стационарных дизельных установок // Улучшение эффективных, экологических и ресурсных показателей энергетических установок сельскохозяйственных тракторов и автомобилей: сб. тр. СПбГАУ. - СПб.: СПбГАУ, 1997.

92. O. C. Akinyemi. A flame sheet model of combustion and NO formation in diesel engines. Massachusetts institute of technology. - 1997. - 106 p.

93. K. Murić. Modeling of NO_x formation in heavy duty engines. Lund University. - 2011. - 82 p.

94. Звонов В.А., Гиринович М.П. Исследование механизмов образования оксидов азота в условиях камеры сгорания дизеля // Двигатели внутреннего сгорания. - 2008. - 1. с. 29-33.

95. Fenimore C.P. Formation of nitric oxide in premixed hydrocarbon flames. // In proceedings of 13-th Symposium of Combustion. - 1971. - p. 373-380.

96. Miller J.A., Bowman C.T. Mechanism and modeling of nitride. Chemistry in Combustion. Prog. Energy Combustion Science, 1989 — v. 15.- p. 287-338.

97. Homer J.B., Sutton M.M. Nitric oxide formation and radical overshoot in premixed hydrogen flames // Combustion and Flames - 1973 - v. 20, № 1 - p. 71- 76.

98. Перечень методик, используемых в 2013 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ. — СПб: ОАО "НИИ Атмосфера". Режим доступа: <http://www.nii-atmosphere.ru>.

99. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. — М.: Автополис-плюс, 2008. — 80 с.

100. D. Gkatzoflias, Ch. Kouridis, L. Ntziachristos, Z. Samaras. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport. — <http://www.emisia.com>.

101. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. - СПб.: НИИ Атмосфера, 1999.
102. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга. - СПб.: НИИ Атмосфера, 1999 - 15 с
103. Котиков Ю.Г., Ложкин В.Н. Транспортная энергетика: учебное пособие / Под редакцией Ю.Г. Котикова. – М.: Академия, 2006.
104. Кутенев В.Ф., Звонов В.А., Корнилов Г.С. Научно-технические проблемы улучшения экологических показателей автотранспорта // Автомобильная промышленность. – 1998. - № 11. – С. 7-11.
105. R.S. Sokhi, H. Mao, S.T.G. Srimath et al. An integrated multi-model approach for air quality assessment: Development and evaluation of the OSCAR Air Quality Assessment System // Environmental Modelling & Software, 2008. – V. 23, Iss. 3. – pp. 268–281.
106. V. Singh, R. S. Sokhi, J. Kukkonen. PM_{2.5} concentrations in London for 2008 – A modeling analysis of contributions from road traffic // Journal of the Air & Waste Management Association. - 2014. – V. 64. - ,Iss. 5. – p. 509-518.
107. Lv Y. Huang, G.H. Li, Y.P., Yang Z.F., Sun W. A two-stage inexact joint-probabilistic programming method for air quality management under uncertainty // Journal of Environmental Management. - 2011. – V. 92. Iss. 3. – pp. 813-826.
108. Hatzopoulou M., Hao J.Y., Miller E.J. Simulating the impacts of household travel on greenhouse gas emissions, urban air quality, and population exposure // Transportation. - 2011. - 38:871–887.
109. Hatzopoulou M., Miller E.J., B. Santos. Integrating Vehicle Emission Modeling with Activity-Based Travel Demand Modeling: Case Study of the Greater Toronto, Canada, Area // Transportation Research Record. – 2007. - V. 2011. - pp. 29-39.
110. Misra A., Roorda M.J., MacLean H.L. An integrated modelling approach to estimate urban traffic emissions. Atmospheric Environment, 2011. – V. 45. – pp. 81-91.

111. F. Costabile, I. Allegrini. A new approach to link transport emissions and air quality: An intelligent transport system based on the control of traffic air pollution. *Environmental Modelling & Software*, 2008. – V.23. – Iss. - 3. – pp. 258–267.

112. Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Количественная оценка выбросов поллютантов и парниковых газов автотранспортом по европейской методологии *COPERT*, адаптированной к условиям Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере.- 2013. - №4 (22) – с. 51-60.

113. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов // Утверждена Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору, Письмо № 70К-46/853 от 07.12.2006. - М.: НИИАТ, 2006. - 55 с.

114. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга // Утверждена распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности № 309-р от 8 декабря 2005 года. - СПб.: НИИ "Атмосфера", 2005. - с. 208-214.

115. Ложкина О.В., Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Двинянина О.В., Головина Н.М. Практика расчетного мониторинга и прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха городов выбросами автотранспорта на примере С.-Петербурга. Сборник научных трудов научно-практической конференции "Загрязнение атмосферы городов". Санкт-Петербург, 2013. - С. 127-129.

116. Новиков Л.А. Основные направления создания малотоксичных транспортных двигателей // Двигателестроение. - 2002. - № 2. - С. 23-27.

117. Марченко В.С., Ложкина О.В., Новиков В.Р. Мониторинг «экстремального» воздействия автомобильного транспорта на городское население по показателям индивидуального санитарно-гигиенического риска // Проблемы управления рисками в техносфере. - 2011. - № 1 (17). - С. 97-106.

118. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения расчетов загрязнения атмосферы городов // Утверждена приказом Госкомэкологии России № 66 от 16 февраля 1999 года.

119. Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Полуэктова М.М. и др. Обоснование некоторых перспективных направлений исследований в области контроля загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (36), - СПб.: НПК «Атмосфера», 2007, с.5-27.

120. Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. К вопросу о расчетах загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта // журнал «Экология урбанизированных территорий», ИД «Камертон». - М., 2008, №3 с. 103-109.

121. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В., Хватов В.Ф. Анализ влияния выбросов автотранспорта на уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи Московского и Невского проспектов в 1996-2006 гг. // Вопросы охраны атмосферы от загрязнения: Информационный бюллетень №2 (36), НПК «Атмосфера», - СПб., 2007, с.38-52.

122. Полуэктова М.М., Волкодаева М.В. Вклады различных категорий автотранспорта в уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи автомагистралей г. Санкт-Петербурга в 1993г. и 2003 г. // Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф., – СПб.: СПбГАУ, 2006, с.128-135.

123. Сорокин Н.Д. Система мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга // Доклад на IV Международной научно-практической конференции "Автотранспорт: от экологической политики до повседневной практики", VIII Международный экологический форум. - Санкт-Петербург, 2008.

124. V.N. Lozhkin, O.V. Lozhkina, A.S. Usakov. Use of K-Theory in Geographic Information Investigations of Critical-Level Pollution of Atmosphere in the Vicinity of Motor Roads // World Applied Sciences Journal (Problems of Architecture and Construction). - 2013. - V. 23. - p. 96-100.

125. Волкодаева М.В. Научно-методические основы оценки воздействия автотранспорта на атмосферный воздух // Диссертация на соискание ученой степени доктора наук. - СПб.: СЗТУ, 2009. - 283 с.

126. Полуэктова М.М. Метод оценки загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом с использованием геоинформационных систем // Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. - СПб.: ГГО им. Воейкова, 2009. - 165 с.

127. Алиев С.А. Инвентаризации выбросов от стационарных и передвижных источников в Азербайджане // Доклад на научно-практическом семинаре "Инвентаризация выбросов". - Кишинев, 2012. - www.airgovernance.eu.org.

128. Общесоюзный нормативный документ Госкомгидромета СССР (ОНД-86). Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л., Гидрометеиздат, 1987 г. – 93 с.

129. Официальный сайт фирмы "Интеграл". Режим доступа: www.integral.ru.

130. Луканин В.Н., Трофименко Ю.В. Промышленно-транспортная экология // Под ред. В.Н. Луканина. – М.: Высш. Шк., 2001. – 273 с.

131. P.G. Boulter, I.S. McCrae, J.Green. Primary NO₂ emissions from road vehicles in the Hatfield and Bell common tunnels. – Transport Research laboratory, UK. – 2007. – 58 p.

132. R. Hagman, K.I. Gjerstad, A.H. Amundsen. NO₂ emission from the fleet of vehicles in major Norwegian cities.Challenges and possibilities towards 2025. – TOI Report 1168/2011. Institute of Transport Economics – Norway.- 2011, - 5 P.

133. H. Ishida, S. Kawasaki, Y. Mohri, H. Furuya, T. Kanayama.On-board and roadside monitoring of NO_x and SPM emission from vehicles. // J. of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2003. – V. 5. – p. 2398-2407.

134. S. Latham, S. Kollamthodi., P.G. Boulter, P.M. Nelson, A.J. Hichman. Assessment of primary NO₂ emissions, hydrocarbon speciation and particulate sizing on a range of road vehicles. – TSE Division, Highways Agency. – 2001. - 100 p.

135. H. Ward, S. Robertson, R. Allosp. Managing speed of traffic on European roads: non-accident external and internal effects of vehicle use and how these depends

on speed // 9th International Conference “Road Safety in Europe”. - Germany, 1998. – 12 p.

136. X. Yao, N.T. Lau, C.K. Chan, M. Fang. The use of tunnel concentration profile data to determine the ratio of NO_2/NO_x directly emitted from vehicles. // Atmos. Chem. Phys. Discuss, - 2005. – V. 5. – p. 12723-12740.

137. Reducing NO_x emissions on the road. Proceedings of the European Conference of Ministers of Transport. – Dublin. – 2007. – 51 p.

138. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Оникул Р.И. Численное исследование атмосферной диффузии при нормальных и аномальных условиях стратификации. – Труды ГГО им. А.И. Воейкова, 1964. - №. 158. - с. 22—32.

139. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Чичерин С.С. Теоретические основы и методы расчетов поля среднегодовых концентраций примеси от промышленных источников. Труды ГГО им. А.И. Воейкова, -1984. - № 479. - с. 3.

140. Genikhovich E.L., Gracheva I.G., Khurshudyan L.H., Groisman P.Ya. New Russian regulatory dispersion model ‘MEAN’ for calculation of mean annual concentrations and its meteorological pre-processor. International Journal of Environment & Pollution. - 2000. - V. 14. - № 1-6. p. 443-452.

141. C. Willmott. On the validation of models. Physical Geography. – 1981. - V. 2. - Is. 2. - pp. 184-194.

142. Genikhovich E.L., Schiermeier F.A. Comparison of united states and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications. Atmospheric Environment. 1995. V. 29. № 17. pp. 2375-2385.

143. P. Benson. CALINE4 – A dispersion model for predicting air pollutant concentrations near roadways. FHWA/CA/TL-84/15, California Department of Transportation, Sacramento, CA.- 1984.

144. S. Wahington, R. Guensler, D. Sperling. Modelling IVHS EmissionImpact Volume II: Assessment of the CALINE 4 Line Source Dispersion Model. California PATH Working Paper UCB-ITS-PWP-94-11. – 1994.

145. J. Härkönen, E. Valkonen, J. Kukkonen, E. Rantakrans, L. Jalkanen and K. Lahtinen. An operational dispersion model for predicting pollution from a road // *International Journal of Environment and Pollution*, - 1995. - Vol. 5. - pp. 602 - 610.

146. R.S. Sokhi, H. Mao, S.T.G. Srimath, S. Fan, N. Kitwiroon, L. Luhana, J. Kukkonen, M. Haakana, K. D. van den Hout, P. Boulter, I. S. MacCrae, S. Larsen, K. I. Grjerstad, R. San Jose, J. Bartzis, P. Neofytou, P. van den Breemer, S. Neville, A. Kousa, B. M. Cortes and I. Myrtveit, An integrated multi-model approach for air quality assessment: development and evaluation of the OSCAR air quality assessment system. *Environmental Modelling and Software*. - 2007.

147. S.B. Pope Lagrangian PDF methods for turbulent flows // *An. Rev. Fluid Mech.* - 1994. V .26. pp. 24 - 63.

148. M. Uliasz, R.A. Stocker and R.A. Pielke. Regional modelling of air pollution transport in the south-western USA. (In:) Zannetti P. (ed.), *Environmental Modelling vol. III Comput. Mech. Public.*, Southampton, 1996.

149. М.Е. Берлянд, Е.Л. Генихович, Р.И. Оникул. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников. - *Метеорология и гидрология*. - 1990. - № 5. - с. 5-16.

150. Genikhovich E., Gracheva I., Ryzhakova A., Sofiev M., Vira J., Prank M. CTM: Numerical recipes and their implementations. *NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. - 2013. - V. 137. - p. 425-428.

151. Genikhovich E.L., Ziv A.D., Iakovleva E.A., Palmgren F., Berkowicz R. Joint analysis of air pollution in street canyons in st. petersburg and copenhagen. *Atmospheric Environment*. - 2005. - V. 39. – p. 2747-2757.

152. Автомобильный рынок России 2004. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2004. - 208 с.

153. Автомобильный рынок России 2005. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2005. - 192 с.

154. Автомобильный рынок России 2006. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2006. - 190 с.

155. Автомобильный рынок России 2007. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2007. - 208 с.
156. Автомобильный рынок России 2008. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2008. - 214 с.
157. Автомобильный рынок России 2009. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2009. - 209 с.
158. Автомобильный рынок России 2010. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2010. - 218 с.
159. Автомобильный рынок России 2011. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2011. - 220 с.
160. Автомобильный рынок России 2012. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2012. - 256 с.
161. Автомобильный рынок России 2013. Ежегодный справочник аналитического агентства «Автостат». – М., 2013. - 224 с.
162. Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Ложкина О.В., Марченко В.С. Об оценке удельных выбросов загрязняющих атмосферу веществ автомобильным транспортом // Атмосфера. – 2011. - №2. – с. 37-44.
163. Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Марченко В.С. Бортовой мониторинг удельных выбросов NO_x , выделяющихся с отработавшими газами легкового автотранспорта, на автодорогах Санкт-Петербурга (статья). Вестник гражданских инженеров. – 2012. - № 5. (34) - С.195-198.
164. Ложкина О.В., Марченко В.С., Новиков В.Р., Ложкин В.Н. Оценка удельных выбросов окислов азота легковым автотранспортом // Двигателестроение. - 2012. - № 4. - С. 35-41.
165. Марченко В.С., Ложкина О.В., Шкитронов М.Е. Использование метода анализа размерностей при оценке удельных пробеговых выбросов оксидов азота легковым автотранспортом // Вестник СПб У ГПС МЧС России. - 2015. - № 1, - С. 12-17.
166. Бриджмен П. Анализ размерностей. - Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2001, - 148.

167. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1967.
168. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Издательство "Энергоатомиздат", Ленинград, 1991. – 304 с.
169. Марченко В.С., Ложкина О.В., Сорокина О.В. Постановка и результаты численных исследований возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автодорог на примере Санкт-Петербурга // Вестник СПб У ГПС МЧС России. - 2014. - № 4, - С. 1-7.
170. Удалов С. Доля дизельных автомобилей растет. Режим доступа: http://news.auto.ru/news/category/day_news/15426_dolya_dizelnih_avtomobiley_rastet/.
171. Cecile Michaut. Diesel : à quand la fin de l'usine à gaz ? // Science etAvenir. - 12 Septembre 2013.
172. Плеханов А.В. Математико-статистические методы обработки информации с применением программы SPSS: Практикум. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 96 с.
173. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. Главная редакция физико-математической литературы издательства "Наука". 1971. – 576 стр. с илл.
174. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. – СПб.: ОАО "НИИ Атмосфера". – 2010.
175. Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга // Утверждена распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности правительства Санкт-Петербурга от 17.02.2012 N 23-р.
176. Марченко В.С., Ложкин В.Н., Ложкина О.В., Сорокина О.В. Совершенствование методики оценки и прогнозирования возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха оксидами азота вблизи автодорог // Вестник гражданских инженеров – 2015. – № 2(49) – С.149–154.

177. Приказ заместителя мэра Санкт-Петербурга по управлению городским хозяйством от 16.03.1994 N 104 - "Об организации движения транспорта в Санкт-Петербурге".

178. Ложкин В.Н., Буренин Н.С., Лукьянов С.В., Ложкина О.В. Результаты апробирования методики экспериментально-расчетного исследования воздействия автотранспорта на примере кольцевой автомагистрали Санкт-Петербурга // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – № 4 (29). – С. 117–122.

179. Лукьянов С.В., Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Экспериментально-аналитические исследования загрязнения атмосферы вблизи КАД Санкт-Петербурга // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2012. – № 2 (20). – С. 7–15.

180. Лукьянов С.В. Методика оценки экстремального загрязнения воздуха в окрестности автомагистрали // Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук. - СПб.: СПбГАСУ, 2012. – 146 с.

181. Из истории Кольцевой автомобильной дороги Санкт-Петербурга // Официальный сайт Государственного учреждения "Дирекция по строительству транспортного обхода города Санкт-Петербург Министерства транспорта Российской Федерации".

182. РД 52.04.52-85. Методические указания. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях.

183. Simon Busch. The world's most polluted city is... – Режим доступа: <http://edition.cnn.com/2014/01/30/travel/most-polluted-city/>.

184. Неблагоприятные метеоусловия повлияли на качество воздуха. - Режим доступа: <http://gov.spb.ru/gov/otrasl/ecology/news/29695/>.

185. Архив погоды в Санкт-Петербурге. Режим доступа: <http://www.eurometeo.ru/russia/sankt-peterburg/archive/201306/>.

186. Состояние окружающей среды: Экологический портал Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга - Режим доступа: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=23>.

Приложение 1. Экологические стандарты Евро 1 - Евро 6 для легковых автомобилей

Экологический стандарт	Оксид углерода (CO)	Углеводороды (HC)	Летучие органические вещества	Оксиды азота (NO _x)	HC+NO _x	Взвешенные частицы (PM)
Для дизельного двигателя						
Евро-1	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	0.14 (0.18)
Евро-2	1.0	-	-	-	0.7	0.08
Евро-3	0.64	-	-	0.50	0.56	0.05
Евро-4	0.50	-	-	0.25	0.30	0.025
Евро-5	0.500	-	-	0.180	0.230	0.005
Евро-6	0.500	-	-	0.080	0.170	0.005
Для бензинового двигателя						
Евро-1	2.72 (3.16)	-	-	-	0.97 (1.13)	-
Евро-2	2.2	-	-	-	0.5	-
Евро-3	2.3	0.20	-	0.15	-	-
Евро-4	1.0	0.10	-	0.08	-	-
Евро-5	1.000	0.100	0.068	0.060	-	0.005**
Евро-6	1.000	0.100	0.068	0.060	-	0.005**

Приложение 2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [44, 45]

№ по ГН 2.1.6.1338-03	Вещества	Формула	Величина ПДК (мг/м ³)		Лимитирующий показатель вредности	Класс опасности
			максимальная разовая	среднесуточная		
4	Азота диоксид	NO ₂	0,2	0,04	рефл.-рез.	3
6	Азот (II) оксид	NO	0,4	0,06	рефл.	3
28	Аммиак	NH ₃	0,2	0,04	рефл.-рез.	4
48	Бенз/а/пирен	C ₂₀ H ₁₂	-	0,1 мкг / 100 м ³	рез.	1
109	Взвешенные вещества*			0,5	0,15	рез.
Доп. № 8	Взвешенные частицы PM ₁₀ /99 процентиль	-	-	0,3	0,06*	рез.
Доп. № 8	Взвешенные частицы PM _{2,5} / 99 процентиль	-	-	0,16	0,035*	рез.
387	Озон	O ₃	0,16	0,03	рез.	1
460	Свинец	Pb	0,001	0,0003	рез.	1
463	Сера диоксид	SO ₂	0,5	0,05	рефл-рез.	3
521	Углерод оксид	CO	5	3	рез.	4

Примечание: * - Недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов.

Приложение 3. Показатели (нормативы) для характеристики качества атмосферного воздуха, установленные директивами ЕС

Загрязняющее вещество	Показатели, установленные директивами ЕС			
	Период осреднения	Нормативы и поставленные цели по качеству воздуха*	Срок достижения предельно доп. значения	Данные: мин. объем и погрешность (неопределенность)
Диоксид азота	1 ч.	Концентрация 200 мкг/м ³ не должна быть превышена более 18 раз в течение календарного года	01.01.2010 (ПДП = 0 % к указанному сроку) (2001 год)	90% 15%
	1 год	40 мкг/м ³		
	1 год	30 мкг/м ³ (защита растений)		
Диоксид серы	1 час	Концентрация 350 мкг/м ³ не должна быть превышена более 24 раз в году (ПДП =150 мкг/м ³)	В силе с 01.01.2005 (2001 год)	90% 15%
	24 часа	Концентрация 125 мкг/м ³ не должна быть превышена более 3 раз в году		
	1 год	20 мкг/м ³ (защита растений)		
Взвешенные частицы до 10 мкм (PM 10)	24 часа	Концентрация 50 мкг/м ³ не должна быть превышена более 35 раз в течение календарного года (ПДП=50%)	В силе с 01.01.2005	90% 25%
	1 год	40 мкг/м ³ (ПДП =20 %)		
Взвешенные частицы до 2,5 мкм (PM 2,5)	1 год	Целевое значение 25 мкг/м ³	В силе с 01.01.2010	90% 25%
		Предельное значение 25 мкг/м ³ (ПДП = 0% к 01.01.2015)		
Оксид углерода	8 ч.	Максимумы из осредненных 8 ч. значений за сутки (не должны превышать 10 мг/м ³) (ПДП = 60%)	01.01.2005	90% 15%

* Если не указано отдельно — касаются здоровья человека. ПДП — предел допустимого превышения.

Приложение 4. Перечень методик, использующихся для расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов от автотранспортных средств [98]

Методика	Разработчик
Методика определения массы выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух автотранспортными средствами. М., 1993	Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)
Методика расчета выбросов в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях. М., 1997	Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)
Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. СПб., 1999	Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха (ОАО «НИИ Атмосфера»)
Методика определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга, СПб., 2005	Разработана ОАО «НИИ Атмосфера», утверждена распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности № 309-р от 8 декабря 2005 года
Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. М., 2006	Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)
Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух. М., 2008 <i>Методика разработана взамен «Методики определения массы выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух», утвержденной Минтрансом России 02.06.1993 г.</i>	Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»)

Приложение 5. Значения пробеговых выбросов M_{L1} (г/км) для различных групп автомобилей [114]

Наименование группы Автомобилей	№	Выброс, г/км						
		CO	NO _x (по NO ₂)	CH	сажа	SO ₂	Формальдегид	Бенз-(а)пирен
Легковые:								
отечественные	Io	5,0	1,3	1,1	0,03	0,03	0,005	$0,4 \cdot 10^{-6}$
зарубежные	Iз	2,0	0,7	0,4	0,02	0,03	0,002	$0,2 \cdot 10^{-6}$
Микроавтобусы и автофургоны	II	12,0	2,0	2,5	0,08	0,06	0,011	$0,8 \cdot 10^{-6}$
Автобусы бензиновые	III	35,0	5,2	8,5	-	0,04	0,04	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Автобусы дизельные	IV	7,0	6,0	5,0	0,3	0,07	0,025	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Грузовые бензиновые свыше 3,5т	V	60,0	5,2	10,0	-	0,05	0,05	$4,0 \cdot 10^{-6}$
Грузовые дизельные до 12т.	VI	9,0	7,0	5,5	0,4	0,1	0,025	$2,0 \cdot 10^{-6}$
Грузовые дизельные свыше 12т.	VII	12,0	8,0	6,5	0,5	0,12	0,03	$2,4 \cdot 10^{-6}$

Приложение 6. Значения удельных выбросов NO_x исследованных АТС при различных скоростях движения

	Марка АТС		Скорость движения, км/ч												Суммарная погрешность расчета δZ , %
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
1	ВАЗ 2101	Выбросы NO _x , г/км	1,4057	0,4706	0,6443	0,4602	0,7363	0,8339	0,7023	0,7766	1,1017	1,2584	1,3311	1,6162	5,1
2	ВАЗ 21093	Выбросы NO _x , г/км	0,2039	0,6377	1,5833	0,6232	1,2396	1,0195	0,9712	1,0113	1,0064	2,0777	2,1450	2,2691	5,1
3	Mitsubishi Lancer IV	Выбросы NO _x , г/км	0,2440	0,2265	0,2182	0,1946	0,1900	0,1527	0,1514	0,1590	0,1620	0,2801	0,3012	0,3422	5,9
4	Skoda Felicia II	Выбросы NO _x , г/км	0,3443	0,3030	0,2182	0,1994	0,1586	0,1592	0,2219	0,1599	0,3881	0,6711	0,8817	0,9018	5,9
5	Chevrolet Lacetti	Выбросы NO _x , г/км	0,0067	0,0073	0,0191	0,0318	0,0385	0,0160	0,0203	0,0732	0,0418	0,0151	0,0227	0,0195	8,1
6	Huyndai Elantra	Выбросы NO _x , г/км	0,0238	0,0084	0,0074	0,0226	0,0198	0,0111	0,0122	0,0132	0,0062	0,0333	0,0365	0,0511	5,9
7	Volkswagen Tiguan	Выбросы NO _x , г/км	0,0956	0,0478	0,0266	0,0159	0,0118	0,0150	0,0023	0,0023	0,0022	0,0134	0,0185	0,0506	5,3
8	Nissan Qashqai	Выбросы NO _x , г/км	0,1026	0,0118	0,0086	0,0160	0,0064	0,0045	0,0137	0,0060	0,0171	0,0363	0,0700	0,0935	5,1
9	Nissan Qashqai +2	Выбросы NO _x , г/км	0,0353	0,0064	0,0342	0,0059	0,0047	0,0022	0,0107	0,0061	0,0083	0,0192	0,0583	0,0880	5,3
10	Land Rover Discovery 3 (1)	Выбросы NO _x , г/км	1,0773	0,7273	0,5614	0,4943	0,4538	0,6448	0,9624	0,8257	1,0979	0,8347	0,7682	0,8248	5,3
11	Land Rover Discovery 3 (2)	Выбросы NO _x , г/км	1,0054	0,7348	0,5624	0,5414	0,4829	0,6201	0,9713	0,9722	0,8072	0,7948	0,7881	0,8335	5,3

Приложение 7. Полевой журнал

ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ

обследования характеристик движущегося автотранспортного потока

(Название автодороги, направление движения)

(Ширина проезжей части, количество полос движения)

Характеристика прилегающей застройки (этажность зданий, высота, плотность застройки)

Дата	Время	Число автомобилей по группам					Скорость движения потока, км/ч		
		Л	АМ	$\Gamma_{\leq 12}$	$\Gamma_{> 12}$	$A_{> 3,5}$	Легко вые	Грузо- вые	Автобусы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1) – легковые автомобили (Л);

2) – автофургоны и микроавтобусы до 3,5 т (АМ);

3) – грузовые автомобили от 3.5 до 12 т ($\Gamma_{\leq 12}$);

4) – грузовые автомобили свыше 12 т ($\Gamma_{> 12}$);

5) – автобусы свыше 3.5 т ($A_{> 3,5}$).

Приложение 8. Акты внедрения



НИИ АТМОСФЕРА

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО “Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха” АО “НИИ Атмосфера”

194021, г.Санкт-Петербург, ул.Карбышева, 7, тел./факс: (812) 297-8662
E-mail: info@nii-atmosphere.ru, http://www.nii-atmosphere.ru
ОКПО: 23126426, ОГРН: 1097847184555, ИНН/КПП: 7802474128 / 780201001

Исх 07-2-63/15-0 от 16.02 2015 г.

На № _____ от _____ 2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор АО «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха»



Левен С.Э.

16 » 02 2015 г.

АКТ

об использовании результатов исследования,
полученных в диссертации В.С. Марченко на тему: «Методика оценки чрезвычайного локального загрязнения оксидами азота приземной воздушной среды вблизи автодорог» по специальности 05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт)

Результаты диссертационного исследования Марченко Василия Сергеевича на тему «Методика оценки чрезвычайного локального загрязнения оксидами азота приземной воздушной среды вблизи автодорог» были использованы при подготовке «Методики определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов», разработанной ОАО «НИИ Атмосфера», Санкт-Петербург, 2010 г., в части уточнения значений удельных пробеговых выбросов NO_x с отработавшими газами легковых автомобилей в зависимости от средней скорости их движения в автотранспортном потоке.

Начальник лаборатории методологии нормирования выбросов в атмосферу, Заместитель начальника отдела методических основ нормирования и установления технических нормативов выбросов, к.г.н.

Н.С. Буренин

" 16 " 02 2015 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по учебной работе, доктор педагогических наук, профессор

Ю.Г. Баскин

« 19 » 2015 г.

АКТ

о внедрении результатов исследования, полученных в диссертации В.С. Марченко на тему: «Методика оценки чрезвычайного локального загрязнения оксидами азота приземной воздушной среды вблизи автодорог» по специальности 05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях (транспорт)

в учебный процесс Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России.

Комиссия в составе:

председателя:

начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента, полковника внутренней службы Марченко Михаила Анатольевича;

членов комиссии:

заместителя начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента, подполковника внутренней службы Королевой Людмилы Анатольевны;

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата педагогических наук, доцента, подполковника внутренней службы Ивановой Елены Сергеевны;

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, подполковника внутренней службы Филановского Александра Марковича

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук Скрипка Александра Владимировича настоящим подтверждает, что результаты диссертационного исследования Марченко Василия Сергеевича на тему «Методика комплексной оценки возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения приземной воздушной среды вблизи автодорог оксидами азота» внедрены в учебный процесс кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России.

Результатами диссертационного исследования являются:

1. Методика бортового мониторинга NO_x в отработавших газах автомобилей, эксплуатируемых в городских условиях, обоснование выбора категории легковых автотранспортных средств для проведения экспериментального исследования на основании изучения динамики изменения структуры автопарка Санкт-Петербурга в 2003-2012 гг.

2. Обоснование значений удельных пробеговых выбросов NO_x для легковых автотранспортных средств, установление функциональной зависимости фактора

эмиссии NO_x от скорости и определение значений коэффициента, учитывающего зависимость фактора эмиссии NO_x от скорости движения.

3. Обоснование учетных категорий автотранспортных средств для оценки и прогнозирования возникновения и проявления чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автомагистралей с неблагоприятными градостроительными характеристиками в часы максимальной транспортной нагрузки на основании проведенных натурных обследований транспортных потоков в Санкт-Петербурге.

4. Результаты расчетной оценки загрязнения атмосферного воздуха NO_x вблизи автомагистралей Санкт-Петербурга, определение условий и закономерностей возникновения локальных чрезвычайных ситуаций, связанных с формированием опасно высоких приземных концентраций NO_2 .

Результаты 1 - 4 внедрены в тему 5 «Испытания техники на надежность и безопасность» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальность 280104.65 - «Пожарная безопасность»).

Результат 4 внедрен в тему 6 «Классификация чрезвычайных ситуаций, аварий и катастроф. Основные понятия и определения», в тему 7 «Причины возникновения чрезвычайных ситуаций в техносфере, на промышленных предприятиях и транспорте» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальность 280104.65 - «Пожарная безопасность»).

Результаты 3, 4 внедрены в тему 8 «Прогнозирование чрезвычайных ситуаций, аварий, катастроф и последствий их негативного воздействия» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальность 280104.65 - «Пожарная безопасность»).

Результаты 1, 2 внедрены в тему 14 «Проверка и диагностирование автомобильного транспорта» дисциплины «Устройство и эксплуатация транспортных средств» (специальность 030502.65 - «Судебная экспертиза»).

Председатель комиссии:
начальник кафедры ПАСТИАХ
кандидат технических наук, доцент,
полковник внутренней службы

М.А. Марченко

Члены комиссии:
заместитель начальника кафедры ПАСТИАХ
кандидат технических наук, доцент,
подполковник внутренней службы

Л.А. Королева

доцент кафедры ПАСТИАХ
кандидат педагогических наук, доцент,
подполковник внутренней службы

Е.С. Иванова

доцент кафедры ПАСТИАХ
кандидат технических наук,
подполковник внутренней службы

А.М. Филановский

доцент кафедры ПАСТИАХ
кандидат технических наук

А.В. Скрипка

« 19 » января 2015 г.